



**UNIVERSIDAD MICHOACÁNA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y FORESTALES

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

ÁREA TEMÁTICA: FISIOLÓGÍA Y GENÉTICA VEGETAL

TESIS:

ESTUDIO DE LA VARIACIÓN GENÉTICA EN FAMILIAS DE *Agave cupreata*

TREL. & BERGER

Presenta:

BIÓL. ADYLENE AVILA BAUTISTA

Como requisito para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS EN EL ÁREA DE FISIOLÓGÍA Y
GENÉTICA VEGETAL**

Asesor:

Dr. Alejandro Martínez Palacios



Dr. Nahum Modesto Sánchez Vargas

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS Y FORESTALES**

Morelia Michoacán febrero de 2019



Ciencias
Biológicas

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

DR. LUIS FELIPE MENDOZA CUENCA
COORDINADOR GENERAL DEL PROGRAMA INSTITUCIONAL DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
PRESENTE

Por este conducto nos permitimos comunicarle que después de haber revisado el manuscrito final de la Tesis Titulada: "ESTUDIO DE LA VARIACIÓN GENÉTICA EN FAMILIAS DE *Agave cupreata* TREL. & BERGER" presentado por la Biol. Adylene Ávila Bautista con Número de Matrícula 0714373G, consideramos que reúne los requisitos suficientes para ser publicado y defendido en Examen de Grado de Maestra en Ciencias.

Sin otro particular por el momento, reiteramos a usted un cordial saludo.

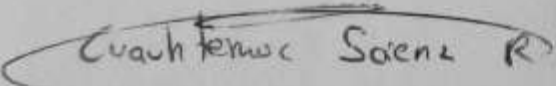
ATENTAMENTE

Morelia, Michoacán, a 11 de febrero de 2020

COMITÉ SINODAL


Dr. Alejandro Martínez Palacios
Director de Tesis


Dr. Nahúm Modesto Sánchez Vargas
Co Director


Dr. Cuauhtémoc Sáenz Romero


Dra. Selene Ramos Ortiz


Dra. Abril Munro Rojas



PROGRAMA INSTITUCIONAL
DE MAESTRÍA EN
CIENCIAS BIOLÓGICAS

61446
15/02/2020



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y FORESTALES

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

ÁREA TEMÁTICA: FISIOLÓGÍA Y GENÉTICA VEGETAL

TESIS:

ESTUDIO DE LA VARIACIÓN GENÉTICA EN FAMILIAS DE *Agave cupreata*

TREL. & BERGER

Presenta:

BIÓL. ADYLENE AVILA BAUTISTA

Como requisito para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS EN EL ÁREA DE FISIOLÓGÍA Y
GENÉTICA VEGETAL**

Asesor:

Dr. Alejandro Martínez Palacios

Co-Asesor:

Dr. Nahum Modesto Sánchez Vargas

Morelia Michoacán febrero de 2019



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo – Coordinación de Investigaciones Científicas, SAGARPA y al Consejo Nacional De Ciencia y Tecnología (CONACYT), quienes apoyaron la realización de este proyecto.

Al Doctor Alejandro Martínez Palacios y al Doctor Nahum M. Sánchez Vargas, quienes me han apoyado desde el comienzo de este camino, por su paciencia y tiempo dedicado para la realización de este proyecto.

A la Maestra Abril Munro Rojas y a la Doctora Selene Ramos Ortíz quienes me apoyaron dedicándome su tiempo, conocimiento; que sin sus consejos y apoyo el camino hubiese sido más difícil.

Al Doctor Cuauhtémoc Sáenz Romero, que enriqueció este proyecto con sus observaciones y propuestas.

A todos ellos, mi mesa sinodal que me han acompañado durante estos dos años y han estado al pendiente de los avances de éste, gracias por las clases que enriquecieron mi conocimiento, por su paciencia, dedicación, gracias por todo el apoyo brindado y que, gracias a ellos, esto fue posible.

Mi madre Elvira Bautista Avila y a mi padre Salvador Avila Bautista quienes me dieron la vida y parte de su vida ya que, sin eso, hoy no estaría aquí.

A mi familia, mis hijos José Salvador y Katniss Adylene quienes, a pesar de su corta edad, aportaron su granito de arena brindándome su entendimiento y cariño, en esta etapa.

A mi esposo Juan Carlos González Cortés quien me apoyo e insistió para que diera el primer paso en este camino.

A mis hermanas Deyanira, Floricel e Isabel Avila Bautista, que han estado conmigo desde mi infancia y que son ejemplo de vida para mí.

A mis hermanos Salvador, Diego Armando, Néstor Miguel y Carlos Danic Avila Bautista, quienes, a pesar de ser menores, me han dado inspiración, para superar mis límites.

A mis compañeros de maestría, especialmente a Cecilia Zamora Sánchez, Esmeralda Navarro Miranda, Juan Carlos Rico Aguilar y David Eduardo Dávila Molina, por estar ahí, a pesar de que nuestras ocupaciones, no nos mantuvieron cerca, sabía que estaban cuando los necesitaba.

Al mejor equipo de trabajo de campo que he tenido y que me apoyaron durante este camino:

Linda Yajahira Toledo Esquivel, Hilda Elizabeth León Soto, Karina Andrea Cervantes Martínez, Karina Gabriela Chávez Arreola, Nestor Daniel Manríquez Méndez, Saira Yared Valentín Estrada, María Teresa Molinero Medina, Essooh Aíme Cesaire Elekou, Carlos Aguirre Espinoza, Juan Alvarado Reyes, Daniela Ramírez Campos, Alexa Belen Flores Zenteno, Silvia Alicia Cerda Guzmán, Sandra, Sebastián Vargas Rumbo, Arturo. Gracia a todos ellos y ellas por apoyarme durante las largas jornadas en campo, desde la extracción de plantas, el traslado, la instalación de las plantaciones y las mediciones.

A Patricia Liliana Cerritos Barriga y Margarita Esquivel de posgrado, quienes siempre fueron tan amables de apoyarnos en los trámites.

A la Coordinadora del Área de Fisiología y Genética Vegetal la Doctora Carmen Rocha que nos orientó durante el proceso, nos apoyó durante el trayecto y culminación de este proyecto.

A los productores que nos han apoyado y nos dieron la confianza para trabajar en sus parcelas: el Ingeniero Raúl Cortés Cortés dueño de la plantación en Charo y el Ingeniero José Guadalupe Pérez Toledo, dueño de la plantación en Tzitzio.

Y, por último, pero de manera significativa, a la Bióloga Julia Inocencia Cortés Sereno quien me apoyo durante una parte crucial del proyecto y que, a pesar de la presión, las desveladas, las madrugadas, el cansancio y del duro trabajo nunca desistió y hasta el último momento estuvo apoyándonos con el trabajo de laboratorio, correspondiente al tercer capítulo de este proyecto; gracias porque sin tu ayuda, no lo habríamos terminado en el tiempo establecido.

“Gracias a todos y cada uno de ustedes, ya que este trabajo no solo fue mío, también es parte de ustedes que dejan su huella plasmada en este trabajo”.

DEDICATORIA

A Dios, porque la fe en él nos mueve a ser mejores personas cada día.

A mi hijo Salvador Rosas Avila y mi hija Katniss Adylene González Avila, quienes me ha dado la inspiración y fuerza para seguir en este camino, son el motor que me mantiene andando.

A mi marido Juan Carlos González Cortés que me apoyo para dar este paso tan importante en mi vida y que, con sus consejos y paciencia, me permitió no desistir y dar un buen término a mi camino.

A mi madre Elvira Bautista Avila y mi padre Salvador Avila Bautista, que son ejemplo de superación y de perseverancia.

A mis hermanas y hermanos Deyanira, Floricel, Isabel, Salvador, Diego Armando, Néstor Miguel, Carlos Danic Avila Bautista, quienes han sido mis compañeros de vida.

Al Doctor Carlos Alberto Ramírez Mandujano que me introdujo en el conocimiento del mejoramiento genético y que gracias a él me mantengo en este camino.

A la Bióloga Julia Inocencia Cortés Sereno quien se convirtió en parte de mi familia, que me brindó su apoyo y me demostró lo que es ser una amiga en los momentos más difíciles de este proyecto.

Al Doctor Alejandro Martínez Palacios, mi Asesor, quien me incluyó en este maravilloso proyecto y me acompañó en cada paso, a pesar de las largas jornadas de trabajo en campo y del cansancio siempre nos acompañó a realizar las mediciones.

Al Doctor Nahum M. Sánchez Vargas mi Co-asesor, quien me apoyó durante todos los análisis estadísticos y a pesar de tener muchas actividades, siempre hizo un huequito para despejar dudas y trabajar las bases de datos.



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
I.-RESUMEN GENERAL	xiv
II.- SUMMARY	xv
III.- INTRODUCCIÓN GENERAL	1
ANTECEDENTES	2
Distribución geográfica de la subfamilia Agavoideae.	2
Importancia económica del <i>Agave</i>	3
Mezcal.	3
Descripción taxonómica de <i>Agave cupreata</i>	4
Clasificación taxonómica.	4
Reproducción.	4
Morfología y fisiología de los Agaves.	5
Grados Brix.	5
Mejoramiento genético.	6
Heredabilidad	8
IV.- HIPÓTESIS.	9
V.- OBJETIVO GENERAL.	10
Objetivos particulares.	10
VI.- RESULTADOS.	11
CAPÍTULO I.- EVALUACIÓN DE PLANTAS DE MEDIOS HERMANOS DE 24 FAMILIAS DE <i>Agave cupreata</i> TREL. & BERGER EN DOS FECHAS CONTRASTANTES, EN CONDICIONES DE JARDÍN COMÚN.	12
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
1.1. INTRODUCCIÓN	14
1.2. JUSTIFICACIÓN	17
1.3. HIPÓTESIS	18
1.4. OBJETIVOS	19

1.4.1. Objetivo general	19
1.4.2. Objetivos particulares	19
1.5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	20
1.6. MATERIALES Y MÉTODOS	21
1.6.1. Material biológico.....	21
1.6.2. Diseño experimental	21
1.6.3. Variables medidas.....	21
1.6.4. Análisis de datos.....	22
1.6.4.1. Heredabilidad	22
1.7. RESULTADOS	23
1.7.1. Características del jardín común.....	23
1.7.1.1. Suelo	23
1.7.2. Resultados del análisis estadístico de las mediciones de variables por fecha y entre fechas.....	24
1.7.3 Heredabilidad	28
1.8. DISCUSIÓN	29
1.9. CONCLUSIONES.....	31
1.10. BIBLIOGRAFÍA	32
CAPÍTULO II.- SELECCIÓN DE INDIVIDUOS DE <i>Agave cupreata</i> TREL. & BERGER EN DOS PLANTACIONES CON FINES DE PRODUCCIÓN DE MEZCAL.....	35
RESUMEN	35
ABSTRACT.....	36
2.1. INTRODUCCIÓN	37
2.2. JUSTIFICACIÓN	40
2.3. HIPÓTESIS	41
2.4. OBJETIVOS.....	42
2.4.1. Objetivo general	42
2.4.2. Objetivos específicos	42
2.5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	43
2.6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	43
2.6.1. Material biológico.....	44
2.7. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	44
2.8. MEDICIONES.....	45

2.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	46
2.9.1. Modelo estadístico	46
2.9.1.1. Heredabilidad	46
2.10. RESULTADOS	48
2.10.1. Resultados de análisis de suelo realizados a los dos sitios de plantación	48
2.10.2. Resultados obtenidos del sub-ensayo uno, con 24 familias en seis bloques, en las cuatro fechas de medición.	49
2.10.3. Valores de heredabilidad obtenidos de las cuatro variables en el sub- ensayo uno, en 6 bloques con 24 familias, en cuatro fechas de medición. ...	55
2.10.4. Resultados obtenidos de las variables en el sub-ensayo dos, en 13 bloques con 22 familias, en cuatro fechas de medición.	57
2.10.5. Valores de heredabilidad obtenidos durante cuatro fechas de medición en el ensayo dos.	63
2.10.6. Resultados obtenidos del Incremento de las variables en el sub- ensayo uno, en seis bloques, con 24 familias durante cuatro periodos de evaluación.	65
2.10.6.1. Valores de heredabilidad en sentido estricto de Incremento de variables, obtenidos en el ensayo uno, en seis bloques con 24 familias durante cuatro periodos.....	71
2.10.7. Resultados obtenidos del Incremento de las variables en el ensayo dos, de 13 bloques, con 22 familias, durante cuatro periodos de evaluación.73	
2.10.7.1. Valores de heredabilidad del Incremento de las variables, obtenidos sub- ensayo dos, de trece bloques con 22 familias, durante cuatro periodos. 	78
2.10.8. Correlaciones entre variables medidas durante las cuatro fechas de medición.	81
2.11. DISCUSIÓN	82
2.12. CONCLUSIONES	85
2.13. BIBLIOGRAFÍA	86
CAPÍTULO III. EVALUACIÓN DE CONTENIDO DE AZÚCAR (°BX) Y SELECCIÓN DE FAMILIAS DE MEDIOS HERMANOS DE <i>Agave cupreata</i> TREL. & BERGER.....	90
RESUMEN	90
ABSTRACT	91
3.1. INTRODUCCIÓN	92
3. 2. JUSTIFICACIÓN.	95

3.3. HIPÓTESIS.	96
3.4. OBJETIVOS.	96
3.4.1. Objetivo general.	96
3.4.2. Objetivos particulares.	96
3.5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.	97
3.6. MATERIALES Y MÉTODOS.	98
3.6.1. Material biológico.	98
3.6.2. Diseño experimental.	98
3.6.3. Obtención de Grados Brix.	98
3.6.3.1. Material.	98
3.6.3.2. Método de extracción de grados Brix (°Bx).	99
3.6.3.3. Análisis estadísticos.	102
3.6.3.4. Modelo estadístico.	102
3.6.3.4.1. Cálculo de parámetros genéticos.....	102
3.7. RESULTADOS.	104
3.7.1. Grados Brix.	104
3.7.1.1. Concentración de grados brix en hojas por Distancias-Niveles-Orientación.	104
3.7.1.2. Resultados del análisis de la concentración de grados Brix (°Bx) en tallos.	108
3.7.1.3. Heredabilidad en sentido estricto (h^2) en grados brix (°Bx) de tallo.	109
3.7.1.4. Resultados del análisis de varianza en variables de crecimiento. ...	110
3.8. DISCUSIÓN.	112
3.9. CONCLUSIÓN	116
3.10. BIBLIOGRAFÍA	117
VII.-DISCUSIÓN GENERAL.....	120
VIII.- CONCLUSIÓN GENERAL.....	123
IX.-PERSPECTIVAS Y/O RECOMENDACIONES.	124
X.-BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA	126
ANEXOS	129

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1 Procedencias de las semillas de <i>Agave cupreata</i> utilizadas para producir la planta en el estado de Michoacán, México.....	21
Cuadro 1.2. Propiedades físicas y químicas del suelo de Arroyo Colorado.....	23
Cuadro 1.3. Estadísticas descriptivas de las variables medidas obtenidas en un ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de jardín común en Morelia, Michoacán.....	24
Cuadro 1.4. Probabilidades obtenidas en el análisis de varianza de un ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de jardín común en Morelia, Michoacán.	25
Cuadro 1.5. Aportación de la varianza de los componentes a la varianza total, en porcentajes, de las variables medidas en un ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de jardín común en Morelia, Michoacán.....	25
Cuadro 1.6. Jerarquización de medias de familias en dos fechas de medición, de las variables en un ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de jardín común en Morelia, Michoacán.....	27
Cuadro 2.1. Resultados de los análisis al suelo en Charo, donde se instaló la plantación del señor Raúl Cortés.....	48
Cuadro 2.2. Resultados de los análisis al suelo en Tzitzio, donde se instaló la plantación del señor José Guadalupe.....	49
Cuadro 2.3. Estadísticas descriptivas de las variables medidas obtenidas en el sub-ensayo 1 de progenies de 24 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de campo en dos sitios diferentes de Michoacán.....	50
Cuadro 2.4. Significancias de cuatro variables de crecimiento obtenidas del análisis de varianza conjunto de dos sitios de plantación (Charo y Tzitzio) en Michoacán, en donde se estableció un sub-ensayo 1 de progenies, con 24 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i>	51
Cuadro 2.5. Significancias de los análisis de varianza de las variables de crecimiento de plantas del sub-ensayo 1 de progenies, de 24 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de campo en dos sitios diferentes de Michoacán.....	52
Cuadro 2.6. Componentes de la varianza en términos porcentuales y heredabilidades de las variables de crecimiento del sub-ensayo 1 de progenies de 24 familias de	

medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de campo en dos sitios diferentes de Michoacán.....	53
Cuadro 2.7. Estadísticas descriptivas de las variables medidas obtenidas en un ensayo de progenies de 22 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de campo en dos sitios diferentes de Michoacán.....	58
Cuadro 2.8. Significancias de cuatro variables de crecimiento obtenidas del análisis de varianza conjunto de dos sitios de plantación (Charo y Tzitzio) en Michoacán, en donde se estableció un ensayo de progenies con 22 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i>	59
Cuadro 2.9. Significancias de los análisis de varianza de las variables de crecimiento de un ensayo de progenies de 22 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de campo en dos sitios diferentes de Michoacán.....	60
Cuadro 2.10. Componentes de la varianza en términos porcentuales y heredabilidades de las variables de crecimiento de un ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de campo en dos sitios diferentes de Michoacán.....	61
Cuadro 2.11. Estadísticas descriptivas del incremento de las variables medidas, obtenidas en el sub-ensayo 1 de progenies de 24 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de campo en dos sitios diferentes de Michoacán.....	66
Cuadro 2.12 Significancias del Incremento de las cuatro variables medidas, obtenidas del análisis de varianza conjunto de dos sitios de plantación (Charo y Tzitzio) en Michoacán, en donde se estableció un sub-ensayo 1 de progenies, con 24 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i>	67
Cuadro 2.13. Significancias de los análisis de varianza del Incremento de las cuatro variables medidas en plantas del sub-ensayo 1 de progenies, de 24 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de campo en dos sitios diferentes de Michoacán.....	69
Cuadro 2.14. Componentes de la varianza en términos porcentuales y heredabilidades de las variables de crecimiento de un ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de campo en dos sitios diferentes de Michoacán.....	70
Cuadro 2.15. Estadísticas descriptivas de Incremento de las variables, obtenidas en un ensayo de progenies de 22 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de campo en dos sitios diferentes de Michoacán.....	74
Cuadro 2.16. Significancias de Incremento de cuatro variables obtenidas del análisis de varianza conjunto de dos sitios de plantación (Charo y Tzitzio) en Michoacán, en	

donde se estableció un ensayo de progenies con 22 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> .	75
Cuadro 2.17. Significancias de los análisis de varianza de Incremento de las variables de crecimiento de un ensayo de progenies de 22 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de campo en dos sitios diferentes de Michoacán.	76
Cuadro 2.18. Componentes de la varianza en términos porcentuales y heredabilidades de Incremento de las variables de un ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de campo en dos sitios diferentes de Michoacán.	77
Cuadro 2.19. Correlaciones de Pearson para las variables en las diferentes fechas de medición, de dos ensayos de progenies de familias de <i>Agave cupreata</i> Trel & Berger, durante cuatro fechas de medición en los municipios de Tzitzio y Charo.	81
Cuadro 3.1. Respuesta de grados brix (°Bx) de las interacciones orientación, nivel y distancia (cm) de disco basal (1-3 cm) en hojas de <i>Agave cupreata</i> de 23 familias establecidas en jardín común.	105
Cuadro 3.2. Jerarquía de medias de familias por niveles de hoja durante el análisis de las variables en °Bx de un ensayo de progenies de 23 familias de <i>Agave cupreata</i> Trel. & Berger, en el periodo febrero-abril 2019, en la localidad de Arroyo colorado, municipio de Morelia.	106
Cuadro 3.3. Jerarquía de medias de familias por distancia (cm) en °Bx de un ensayo de progenies de 23 familias de <i>Agave cupreata</i> Trel. & Berger en el periodo febrero-abril 2019 en la localidad Arroyo Colorado, municipio de Morelia.	107
Cuadro 3.4. Ranking genético en niveles de tallo, de °Bx en familias en un ensayo de progenies de 23 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> Trel. & Berger en el jardín común de Arroyo colorado, municipio de Morelia.	108
Cuadro 3.5. Jerarquía de medias de familia en variables de crecimiento de un ensayo de progenies de 23 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> Trel. & Berger en jardín común, durante el periodo febrero-abril 2019, en Arroyo Colorado, municipio de Morelia, Michoacán.	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estrategia de mejoramiento genético para <i>Agave cupreata</i> (Sánchez-Vargas et al., 2015).....	7
Figura 1.1. Ensayo de progenies en condiciones jardín común de <i>Agave cupreata</i> Trel. & Berger, en Arroyo Colorado, Morelia, Michoacán.....	20
Figura 1.2 Valores de heredabilidad a nivel individual (h^2_i) y de medias de familias (h^2_f) obtenidos para altura y diámetro en dos fechas de medición de un ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de jardín común en Morelia, Michoacán.....	28
Figura 2.1a. Sitio de plantación de dos ensayos de progenies de 22 y 24 familias de <i>Agave cupreata</i> Trel. & Berger, en el municipio de Charo (Sitio 1).....	43.
Figura 2.1b. Sitio de plantación de dos ensayos de progenies de 22 y 24 familias de <i>Agave cupreata</i> Trel. & Berger, en el municipio de Tzitzio (Sitio 2).....	43
Figura 2.2 Medias generales para las variables de 24 familias de <i>Agave cupreata</i> en un sub-ensayo de progenies en los municipios de Charo (azul) y Tzitzio (rojo), durante cuatro fechas de medición.....	54
Figura 2.3. Heredabilidades obtenidas en dos ensayos de progenies de 24 familias de <i>Agave cupreata</i> Trel. & Berger en los municipios de Charo y Tzitzio durante el periodo de lluvias en el mes de agosto del 2018.....	55
Figura 2.4. Heredabilidades obtenidas en dos ensayos de progenies de 24 familias de <i>Agave cupreata</i> Trel. & Berger en los municipios de Charo y Tzitzio posterior al periodo de lluvias en el mes de noviembre del 2018.....	56
Figura 2.5. Heredabilidades obtenidas en dos ensayos de progenies de 24 familias de <i>Agave cupreata</i> Trel. & Berger en los municipios de Charo y Tzitzio; previo al periodo de lluvias en el mes de abril del 2019.....	56
Figura 2.6. Heredabilidades obtenidas en dos ensayos de progenies de 24 familias de <i>Agave cupreata</i> Trel. & Berger en los municipios de Charo y Tzitzio; durante el periodo de lluvias en el mes de agosto del 2019.....	57
Figura 2.7. Medias generales para las variables de 22 familias de <i>Agave cupreata</i> en dos ensayos de progenies en los municipios de Charo (azul) y Tzitzio (rojo), en cuatro fechas de medición.....	62
Figura 2.8. Heredabilidades obtenidas en dos ensayos de progenies de 22 familias de <i>Agave cupreata</i> en los municipios de Charo y Tzitzio; durante el periodo de lluvias en el mes de agosto del 2018.....	63

Figura 2.9. Heredabilidades obtenidas en dos ensayos de progenies de 22 familias de <i>Agave cupreata</i> en los municipios de Charo y Tzitzio; posterior al periodo de lluvias en el mes de noviembre del 2018.....	64
Figura 2.10. Heredabilidades obtenidas en dos ensayos de progenies de 22 familias de <i>Agave cupreata</i> en los municipios de Charo y Tzitzio; previo al periodo de lluvias en el mes de abril del 2019.....	64
Figura 2.11. Heredabilidades obtenidas en dos ensayos de progenies de 22 familias de <i>Agave cupreata</i> en los municipios de Charo y Tzitzio; durante el periodo de lluvias en el mes de agosto del 2019.....	65
Figura 2.12. Heredabilidades obtenidas en el Incremento de las variables de dos ensayos de progenies de 24 familias de <i>Agave cupreata</i> Trel. & Berger, en los municipios de Charo y Tzitzio durante el periodo agosto-noviembre 2018.....	71
Figura 2.13. Heredabilidades obtenidas en el Incremento de las variables de dos ensayos de progenies de 24 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> Trel. & Berger en los municipios de Charo y Tzitzio, en el periodo noviembre 2018-abril 2019.....	72
Figura 2.14. Heredabilidades obtenidas en el crecimiento de las variables de dos ensayos de progenies de 24 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> Trel. & Berger en los municipios de Charo y Tzitzio, en el periodo abril-agosto 2019.....	72
Figura 2.15. Heredabilidades obtenidas en el crecimiento de las variables de dos ensayos de progenies de 24 familias de <i>Agave cupreata</i> Trel. & Berger, en los municipios de Charo y Tzitzio, al año de ser instaladas.....	73
Figura 2.16. Heredabilidades obtenidas en el Incremento de las variables un sub-ensayo de 22 familias de <i>Agave cupreata</i> Trel. & Berger, en los municipios de Charo y Tzitzio, durante el periodo agosto-noviembre 2018.	79
Figura 2.17. Heredabilidades obtenidas en el Incremento de las variables, de un sub-ensayo 22 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> Trel. & Berger en los municipios de Charo y Tzitzio durante el periodo noviembre 2018-abril 2019.....	79
Figura 2.18. Heredabilidades obtenidas en el Incremento de las variables de un sub ensayo de 22 familias de <i>Agave cupreata</i> Trel. & Berger, en los municipios de Charo y Tzitzio, durante el periodo abril-agosto 2019.....	80
Figura 2.19. Heredabilidades obtenidas en el Incremento de las variables de un sub ensayo de 22 familias de <i>Agave cupreata</i> Trel. & Berger, en los municipios de Charo y Tzitzio, durante el periodo anual agosto 2018-2019.....	80

Figura 3.1. Ensayo de progenies para evaluar grados Brix (°Bx) en condiciones jardín común de <i>Agave cupreata</i> Trel. & Berger, en Arroyo Colorado, Morelia, Michoacán.....	97
Figura 3.2. Orientaciones de medición de grados brix en hojas de plantas en un ensayo de progenies de 23 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> Trel. & Berger, establecidas en la comunidad de Arrollo colorado, municipio de Morelia, Michoacán.....	99
Figura 3.3. Niveles de medición de grados brix en hojas (a) y tallo (b) de plantas, en un ensayo de progenies de 23 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> Trel. & Berger, establecidas en la comunidad de Arrollo colorado, municipio de Morelia, Michoacán.....	100
Figura 3.4. Distancias de los segmentos de medición de grados brix en las hojas de plantas, en un ensayo de progenies de 23 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> Trel & Berger en condiciones de jardín común, en Arroyo Colorado, Municipio de Morelia, Michoacán.....	101
Figura 3.5 Valores de heredabilidad de familia obtenidos en el análisis de °Bx en niveles de tallo, de un ensayo de progenies de 23 familias de <i>Agave cupreata</i> Trel., & Berger en jardín común de Arroyo colorado, en el municipio de Morelia.....	109

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa del sitio uno, “Plantación Charo”, perteneciente al Señor Raúl Cortes.	129
Anexo 2. Mapa del Sitio dos “Plantación Tzitzio”, perteneciente al señor José Guadalupe.....	130 130
Anexo 3. Jerarquización de medias de familias en cuatro fechas de medición, de ALTURA en un sub-ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.	131
Anexo 4. Jerarquización de medias de familias en cuatro fechas de medición, de DIÁMETRO en un sub-ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.....	132
Anexo 5. Jerarquización de medias de familias en cuatro fechas de medición, de LARGO DE HOJA en un ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.....	133
Anexo 6. Jerarquización de medias de familias en cuatro fechas de medición, de ANCHO DE HOJA en un ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.....	134
Anexo 7. Jerarquización de medias de familias en cuatro fechas de medición, de ALTURA en un ensayo de progenies de 22 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.	135
Anexo 8. Jerarquización de medias de familias en cuatro fechas de medición, de DIÁMETRO en un ensayo de progenies de 22 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.	136
Anexo 9. Jerarquización de medias de familias en cuatro fechas de medición, de LARGO DE HOJA en un ensayo de progenies de 22 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.....	137
Anexo 10. Jerarquización de medias de familias en cuatro fechas de medición, de ANCHO DE HOJA en un ensayo de progenies de 22 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.....	138

Anexo 11. Jerarquización de medias de familias en cuatro periodos de INCREMENTO DE ALTURA en un sub-ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.....	139
Anexo 12. Jerarquización de medias de familias en cuatro periodos de INCREMENTO DE DIÁMETRO en un sub-ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.....	140
Anexo 13. Jerarquización de medias de familias en cuatro periodos de INCREMENTO DE LARGO DE HOJA en un sub-ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.	141
Anexo 14. Jerarquización de medias de familias en cuatro periodos de INCREMENTO DE ANCHO DE HOJA en un sub-ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.	142
Anexo 15. Jerarquización de medias de familias en cuatro periodos de INCREMENTO DE ALTURA en un sub-ensayo de progenies de 22 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.....	143
Anexo 16. Jerarquización de medias de familias en cuatro periodos de INCREMENTO DE DIÁMETRO en un sub-ensayo de progenies de 22 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.....	144
Anexo 17. Jerarquización de medias de familias en cuatro periodos de INCREMENTO DE LARGO DE HOJA en un sub-ensayo de progenies de 22 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.	145
Anexo 18. Jerarquización de medias de familias en cuatro periodos de INCREMENTO DE ANCHO DE HOJA en un sub-ensayo de progenies de 22 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.	146
Anexo 19. Método de extracción de °Bx.	147
Anexo 20. Corrida estadística de las combinaciones de las variables en el análisis de varianza de grados Brix (°Bx).....	148
Anexo 21. Valores de significancia y heredabilidades, obtenidas en las variables Orientación-Nivel-Distancia, en un ensayo de progenies en condiciones de jardín común.	149
Anexo 22. Medias generales de Orientación ($P \geq 0.05$) en cuanto a producción de °Bx en hojas de agave, de un ensayo de progenies de 23 familias de <i>Agave cupreata</i> Trel.	

& Berger, en condiciones de jardín común, en Arroyo colorado, municipio de Morelia.	150
Anexo 23. Medias generales de Nivel, en cuanto a producción de °Bx en hojas de agave, de un ensayo de progenies de 23 familias de <i>Agave cupreata</i> Trel. & Berger, en condiciones de jardín común, en Arroyo colorado, municipio de Morelia.	151
Anexo 24. Medias generales de distancias, en cuanto a producción de °Bx en hojas de agave, de un ensayo de progenies de 23 familias de <i>Agave cupreata</i> Trel. & Berger, en condiciones de jardín común, en Arroyo colorado, municipio de Morelia.	152
Anexo 25. Valores de significancia y heredabilidades, obtenidas en las variables Niveles-Orientación-Distancia, por punto de muestra de °Bx, en un ensayo de progenies de 23 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> en condiciones de jardín común, en Arroyo Colorado, Morelia, Michoacán.....	153
Anexo 26. Medias de familias destacadas en el análisis de las variables Niveles-Orientación-Distancia (Tukey $P \leq 0.05$), en un ensayo de progenies de 23 familias de medios hermanos de <i>Agave cupreata</i> en condiciones de jardín común, en Arroyo Colorado, Morelia, Michoacán.....	154
Anexo 27. Medias de familias con mayor cantidad de °Bx de acuerdo con Tukey ($P < 0.05$), obtenidas en las variables Orientación-Nivel-Distancia en un ensayo de progenies en condiciones de jardín común.	155
Anexo 28. Fotografía del ensayo instalado completamente al azar de 23 familias de <i>Agave cupreata</i> Trel. & Berger, analizadas en producción de °Bx, durante el ensayo correspondiente al capítulo 3.	156
Anexo 29. Fotografías de las hojas de 23 de 24 familias analizadas durante el estudio, obtenidas de su estadio en condiciones de jardín común, donde se observan las distintas morfologías, de las hojas de cada familia.	157
Anexo 30. Área de hojas de 23 familias, obtenidas con image J, donde se observan familias que superan la media general con un área por encima del resto.....	158
Anexo 31. Constancias de participación en foros, simposiums, coloquios y talleres, realizados.....	159

I.-RESUMEN GENERAL

Michoacán ocupa el cuarto lugar en producción de mezcal, sin embargo, no existe un manejo sustentable de plantaciones comerciales, lo que ha ocasionado que los productores continúen dependiendo de las poblaciones silvestres, siendo *Agave cupreata* la especie que se ha visto más afectada en el estado. Por ello se realizó un estudio con el objetivo de evaluar la variación genética en variables cuantitativas de crecimiento en 24 familias de medios hermanos de *A. cupreata* Trel. & Berger. Se comparó la altura y el diámetro en dos fechas contrastantes: noviembre de 2017 (posterior a las lluvias) y abril 2018 (temporada de estiaje), en condiciones de jardín común, en donde se encontraron diferencias significativas entre familias y entre temporadas, siendo la evaluación de abril donde se mostró una mayor variación entre familias, que se reflejó en heredabilidades más altas, a pesar de haber crecido en una zona altitudinal superior a la requerida por la especie. En un segundo estudio, las mismas familias se establecieron en campo en dos sitios diferentes: Charo y Tzitzio; en cada sitio se probaron simultáneamente dos ensayos: uno (ensayo uno) con 24 familias dispuestas en seis bloques, y el otro (ensayo dos) con 22 familias dispuestas en 13 bloques. Ambos sitios se evaluaron en tres fechas distintas durante un año. En general, las familias en Charo respondieron de manera más favorable que las de Tzitzio con mayores valores de heredabilidad en altura, diámetro y largo de hoja, y en diámetro en Tzitzio, aunque no se encontró interacción genotipo×ambiente. Se evaluó la concentración de grados brix (°Bx) en hojas y tallo, de 23 familias crecidas en jardín común en Arroyo Colorado para determinar la parte de la planta en la que había mayor concentración se azúcares. En una hoja se tomaron 10 muestras, una cada centímetro, teniendo 10 posiciones, desde la base de la hoja (posición 1) en dirección a la espina (posición 10), en las que se midieron los °Bx. Se midió una hoja para cada orientación (Norte, Sur, Este, Oeste) y para cada nivel o altura de la planta (alta, media, baja), adicionalmente se midió la altura, el diámetro, y el largo y ancho de hoja. Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre niveles de hoja y entre distancias de hoja, pero no entre orientaciones. Sin embargo, se observó una mayor concentración en las hojas del nivel medio y alto, y en las posiciones 1 y 2. Se identificaron familias sobresalientes en jardín común y en campo. Para el caso de azúcar, analizado en jardín común la concentración de °Bx, los resultados indican diferencias entre familias, por lo tanto, las variables evaluadas tienen control genético y son susceptibles de mejoramiento genético.

Palabras clave: *Agave cupreata*, heredabilidad, jardín común, plantaciones, grados Brix, crecimiento.

II.- SUMARY

Michoacán ranks fourth in mezcal production, nevertheless, commercial plantations do not have sustainable management, what has caused producers to continue to depend on wild populations, *Agave cupreata* being the species that has been most affected in the state. Therefore, a study was carried out with the objective of evaluating the genetic variation in quantitative growth variables in 24 families of half-siblings of *A. cupreata* Trel. & Berger. The height and diameter were compared on two contrasting dates: November 2017 (after the rains) and April 2018 (dry season), in common garden conditions, where significant differences were found between families and between seasons, being the April evaluation where there was a greater variation between families, which was reflected in higher heritability, in spite of having grown in an altitudinal area higher than that required by the species. In a second study, the same families settled in the countryside at two different sites: Charo and Tzitzio; two trials were tested simultaneously at each site: One (essay one) with 24 families arranged in six blocks, and the other (essay two) with 22 families arranged in 13 blocks. Both sites were evaluated on four different dates during a year. Generally, the families in Charo responded more favorably than those in Tzitzio, with higher heritability values in height, diameter and leaf length, and in diameter in Tzitzio, although no genotype $\times$ environment interaction was found. The concentration of brix degrees ($^{\circ}$ Bx) in leaves and stem of 23 families grown in a common garden in Arroyo Colorado was evaluated to determine the part of the plant with the highest concentration of sugars. On one sheet 10 samples were taken, one every centimeter, having 10 positions, from the base of the blade (position 1) in the direction of the thorn (position 10), in which the $^{\circ}$ Bx were measured. A leaf was measured for each orientation (North, South, East, West) and for each level or height of the plant (high, medium, low), in addition the height, diameter, length and width of the leaf were measured. Significant differences ($P \leq 0.05$) were found between leaf levels and between leaf distances, but not between orientations. However, a higher concentration was observed in the leaves of the medium and high level (1 and 2). Outstanding families were identified in the field and in the common garden. In the case of sugar analyzed, in a common garden the concentration of $^{\circ}$ Bx, the results indicate differences between families, therefore, the variables evaluated have genetic control and are susceptible to genetic improvement.

Keywords: *Agave cupreata*, heritability, common garden, plantations, Brix grades, growth.

III.- INTRODUCCIÓN GENERAL

Diversas especies del género *Agave* (son utilizadas en la destilación alcohólica para la elaboración de mezcal, en Michoacán, México (*Agave inaequidens*, *A. angustifolia*, *A. tequilana*, *A. americana* y *A. cupreata*, Martínez-Castro *et al.*, 2015). Plantas silvestres de *A. cupreata* que han sido explotadas por aproximadamente 400 años y que en las últimas décadas los gobiernos han participado con apoyos económicos a mezcaleros de estas comunidades de bajos recursos para mejorar la industrialización de la destilación y es hasta el 2012 que se le asigna al estado la denominación de origen (Martínez-Castro *et al.*, 2015). A inicio de la década pasada, se establecen las primeras plantaciones de dos de las especies más utilizadas en la elaboración de mezcal en el Estado, *Agave cupreata* y *A. inaequidens* (Martínez-Castro *et al.*, 2015), sin embargo, esto no ha sido suficiente y existe un desabasto e incremento en la demanda de plantas lo que ha ocasionado que se continúe con la recolección de semillas y de plantas silvestres, acelerando el riesgo de pérdida de *A. cupreata* en el Estado.

A pesar de lo alterado de sus poblaciones silvestres, *A. cupreata* registra alta variación genética ($H_e=0.467$) (Martínez-Palacios *et al.*, 2011), posiblemente debido a que solo se reproduce por semilla y a la falta de autopolinización, lo cual ocasiona que el uso de éstas en plantaciones registre alta heterogeneidad de caracteres morfológicos y de tallas, lo cual muestra la necesidad del uso de programas de selección y mejoramiento genético. El uso de programas de selección a través de caracteres cuantitativos ha sido ampliamente usado en especies arbóreas particularmente en *Pinus* spp. (Cambrón-Sandoval *et al.*, 2013; Escobar *et al.*, 2018; Sánchez-Vargas *et al.*, 2014). La región mezcalera está demandando mayor calidad y cantidad de plantas que permitan incrementar la producción y reducir gastos, por lo tanto, es necesario desarrollar trabajos de selección de genotipos superiores, particularmente cuando *A. cupreata* requiere de 7 a 12 años de desarrollo en campo hasta alcanzar la floración (Illsey *et al.*, 2009).

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el crecimiento de 24 familias de medios hermanos en condiciones de jardín común y plantaciones de campo, así

como la concentración de grados brix (°Bx) de 23 de las 24 familias en condiciones de jardín, que permitió proponer durante este estudio un grupo de familias, que permitirán a los productores mejorar plantaciones con fines comerciales, evitando la extracción de plantas de poblaciones silvestres.

ANTECEDENTES

Los agaves son plantas adaptadas a vivir en condiciones ambientales desfavorables (zonas áridas y semiáridas), esto debido en gran parte al desarrollo de un metabolismo de adaptación de las ácido crasuláceas (por sus siglas en inglés CAM: Crassulacean Acid Metabolism), en respuesta al ambiente y que les permite adaptarse a esos ambientes (García-Mendoza, 2007).

Las especies de agave se reproducen mayormente de manera asexual y muy pocos de forma sexual; polinizados principalmente por murciélagos e insectos, existiendo especies sémelparos (se reproducen una vez y mueren), itéroparas (solo muere la roseta que se reproduce) (García-Mendoza, 2007).

Su importancia en la actualidad es comparable con el chile, el maíz y el nopal como iconos nacionales en el mundo (García-Mendoza *et al*, 2004). Aun así, se han realizados pocos trabajos en la clasificación taxonómica, siendo el trabajo más sobresaliente el realizado por Gentry (1982), quien divide las especies en dos subgéneros considerando la morfología de las inflorescencias: *Littaea* y *Agave*; separándolos a su vez en secciones: el subgénero *Littaea* con ocho secciones de aproximadamente 54 especies y el subgénero *Agave* con doce secciones de aproximadamente 136 especies, contemplando la mayor parte de las especies de América del Norte.

Distribución geográfica de la subfamilia Agavoideae.

Surgida hace aproximadamente 15 millones de años, con una distribución endémica de América (Gentry, 1982). Su distribución consta desde el sur de Canadá, México, Centroamérica, norte de Sudamérica e islas del Caribe; siendo México el centro de mayor riqueza y diversidad, donde se hallan 217 especies y 258 taxa, considerando las categorías infraespecíficas; representando el 75% del total de las especies de la

familia; reconociendo 12 especies más, de redescubrimientos o descripción de nuevos taxa, así como, ocho taxa que no se han localizado en vida silvestre y atribuidos nativos en México y 19 especies cultivadas (García-Mendoza y Galván 1995).

El subgénero *Agave* se conforma de 103 especies y se distribuye con mayor presencia en la república, encontrando la mayor variedad en el valle de Tehuacán. Además, las especies presentan un alto grado de endemismo (69 %) debido a la heterogeneidad del territorio y a las propiedades intrínsecas de los taxones (García-Mendoza 2007).

Importancia económica del Agave.

Desde épocas prehispánicas, hasta la actualidad el uso de los agaves ha mantenido una presencia en niveles de importancia, en al ámbito agrícola, alimenticio, destilados y fermentados, así como forrajeros, medicinal, ornamental e industrial (García-Herrera, 2010). La importancia del *Agave* se presume desde el año 239 de nuestra era durante el florecimiento azteca, para la elaboración de bebidas espirituosas en la realización de rituales (Goncalves de Lima, 1956). Los agaves son utilizados principalmente para la producción pulque, mezcal, tequila y gusanos de maguey (Castro-Díaz y Guerrero-Beltrán, 2013). Siendo de gran importancia económica en el país actualmente para la producción de bebidas ancestrales de importancia a nivel internacional; el tequila y el mezcal los de mayor importancia (Castro-Díaz y Guerrero-Beltrán, 2013).

Mezcal.

“Mezcal” del Nahuatl “*mexcalli*” que significa agave horneado, es una bebida alcohólica destilada originaria de áreas rurales de México; el mezcal es un líquido incoloro de olor y sabor original, excepto cuando se añeja o se adhieren algunos productos naturales que cambien su sabor (aquellos permitidos por las normas de mezcal) (Pérez-Hernández *et al.*, 2016). Se obtiene de la destilación alcohólica directamente de azúcares presentes en las cabezas maduras de agave, previamente cocidas y fermentadas, existiendo varios tipos de mezcal dependiendo de su origen y preparación (NOM-070-SCFI-1994). Plantas que son cosechadas entre los 10 y 25 años en especies grandes y de 4 y 5 años a las especies pequeñas (García-Mendoza, 2007). A pesar de presentar sus inicios en el siglo XVI su crecimiento ha sido muy lento al grado de elaborarse de manera ilegal (Colunga-García y Zizumbo-Villarreal, 2007).

En la actualidad la demanda del destilado va en aumento tanto a nivel nacional, como internacional siendo, la bebida espirituosa de mayor importancia en el país (Consejo Regulador del Mezcal, 2018).

Descripción taxonómica de *Agave cupreata*.

Agave cupreata, "papalometl" del náhuatl, agave mariposa o "maguey papalote"(Aguirre-Dugua y Eguiarte, 2013). Presenta una forma de roseta, caulescente (tallo bien desarrollado y se distingue muy bien de la raíz), de talla mediana con color verde brillante, hojas carnosas, lanceoladas con una longitud de 40-80 y ancho de 18-20 cm, ligeramente cóncavas en la base, con el margen crenado, mamilado, de espinas agudas. dimórficas, aplanadas, de color cobrizo de 10-15mm separadas 3-6 cm, panícula de 4-7 m de altura, ancha, de flores amarillas y tubulares, de fruto grande, con numerosas semillas, de 55 a 60 mm de largo, en inflorescencias llamadas escapos, que florecen durante los meses de septiembre a diciembre (Gentry, 1982).

Clasificación taxonómica.

Posición taxonómica de *A. cupreata* Trel. & Berger sistema de clasificación APG III (Angiosperm Phylogeny Group):

Reino:Plantae

División: Angiospermae

Clase: Liliopsida

Orden: Asparagales Link.

Familia: Asparagaceae Juss

Subfamilia: Agavoideae

Género: *Agave* L.

Especie: *Agave Cupreata* Trel. & Berger

La especie *A. cupreata* se distribuye en la Depresión del Balsas entre los 1200 y 1890 msnm, en los estados de Guerrero y Michoacán, México (Gentry 1982; Martínez-Palacios *et al*, 2011).

Reproducción.

A. cupreata es una especie que se caracteriza por ser una planta perenne, de crecimiento lento (7-15 años) para alcanzar la madurez, semélpara, se reproduce solamente por reproducción sexual (no genera clones), además de presentar barreras que impiden su autopolinización, presenta hercogamia (estructuras sexuales

separadas) (Martínez-Castro *et al.*, 2015). No se autopoliniza, solo se reproduce por polinización cruzada (Illsley *et al.*, 2007) con la capacidad de formar híbridos con otras especies observados en plantaciones comerciales con *A. attenuata* y *A. inaequidens*, (Martínez-Palacios *et al.*, 2009).

Morfología y fisiología de los Agaves.

Los agaves son especies Xerofitas, complejas, que han desarrollado diversas estrategias morfológicas, que les permiten sobrevivir en ambientes secos y con elevadas temperaturas; almacenando agua en tejidos especializados (García-Mendoza, 2007). Las adaptaciones fisiológicas de los agaves como la succulencia, el sistema radicular superficial, una cutícula gruesa, filotaxia, así como una capa de cera en la superficie de las hojas puesto que les permite almacenar agua del temporal de lluvias de manera eficiente, reducir el calor y sobrevivir a la sequía (García-Mendoza, 2007). Otra de las estrategias desarrolladas de los agaves es el metabolismo CAM (Metabolismo Ácido de las Crasuláceas), un metabolismo de adaptación en respuesta al estrés ambiental (Andrade *et al.*, 2007). El metabolismo CAM permite a las plantas que lo poseen, asimilar el CO₂ atmosférico durante la noche y fijarlo durante el día, mediante el ciclo de Calvin; mantienen las estomas abiertos en la noche y los cierran durante la mayor parte del día para evitar la transpiración; evitando la pérdida de agua y manteniendo una fotorespiración reducida (Geydan y Melgarejo, 2005).

Grados Brix.

El contenido de azúcares en las piñas de agave es de gran importancia para los productores ya que la cantidad de alcohol obtenido dependerá de la cantidad de azúcares reductores, es importante realizar dos tipos de análisis: medición de Grados Brix (°Bx) y la determinación de Azúcares Reductores mediante el reactivo Fehling (Bautista-Justo *et al.*, 2001). Bautista-Justo *et al.* (2001) encuentran una correlación alta (0.9621), significativa al 1% de los azúcares reductores totales (ART) y los °Bx.

Los grados °Bx es un sistema de medición específica que representa el porcentaje en peso de sacarosa químicamente pura en solución de agua destilada a 293K (20°C) (NMX-F-274-1984). Los °Bx pueden ser medidos mediante refractómetros donde 1°Bx

correspondería a un índice de refracción de una solución de sacarosa en agua al 1% (NMX-F-274-1984).

Mejoramiento genético.

Desde tiempos ancestrales, el ser humano se ha dedicado a seleccionar los mejores individuos con el único fin de satisfacer sus necesidades básicas de alimentación. El hombre ha fabricado sus variedades seleccionando a los individuos con los caracteres que le parecían más deseables y posteriormente los cruzaba entre ellos seleccionando en su descendencia a los mejores individuos o “elite” (Cornide, 2001). Siendo estos hombres los primeros mejoradores genéticos.

Bernardo (2001) define al mejoramiento genético como la ciencia, el arte y el negocio de mejorar las plantas para el beneficio de los humanos; todos los programas de mejoramiento genético tienen el mismo fin, no obstante, las estrategias de manejo de los programas no se aplican a todas las especies, difiriendo en cada una de ellas; siendo las características propias de cada especie lo que obligan a los mejoradores a considerar al realizar los programas de mejoramiento; produciendo distintos programas, técnicas, tipos de masificación operacional de la mejora genética alrededor del mundo (Ipinza, 1998).

Hasta hace poco el aprovechamiento del maguey mezcalero no era considerada redituable en el estado de Guerrero, realizándose de manera tradicional, sin control técnico ni normativo; entre los esfuerzos que han realizados destacan la promoción de “el aprovechamiento sustentable”; sin embargo para mantener la producción aún deben mantener cantidad y calidad de las plantas mediante ganancias genéticas y calidad de la semilla, para establecer futuras plantaciones; razón por la cual se han seleccionado plantas madres para establecer rodales semillero de *A. cupreata* y así mejorar las poblaciones comerciales y/o realizar restauraciones en el estado, con una ganancia genética de entre el 3 y 5%, de esta manera la selección de plantas madres se muestra como una opción que contribuye al mejoramiento genético de la especie (Muñoz-Flores *et al.*, 2014).

Sánchez-Vargas *et al.* (2015) proponen un plan de mejoramiento genético para *A. cupreata* tomando en cuenta todas las consideraciones necesarias para la especie (Figura 1).

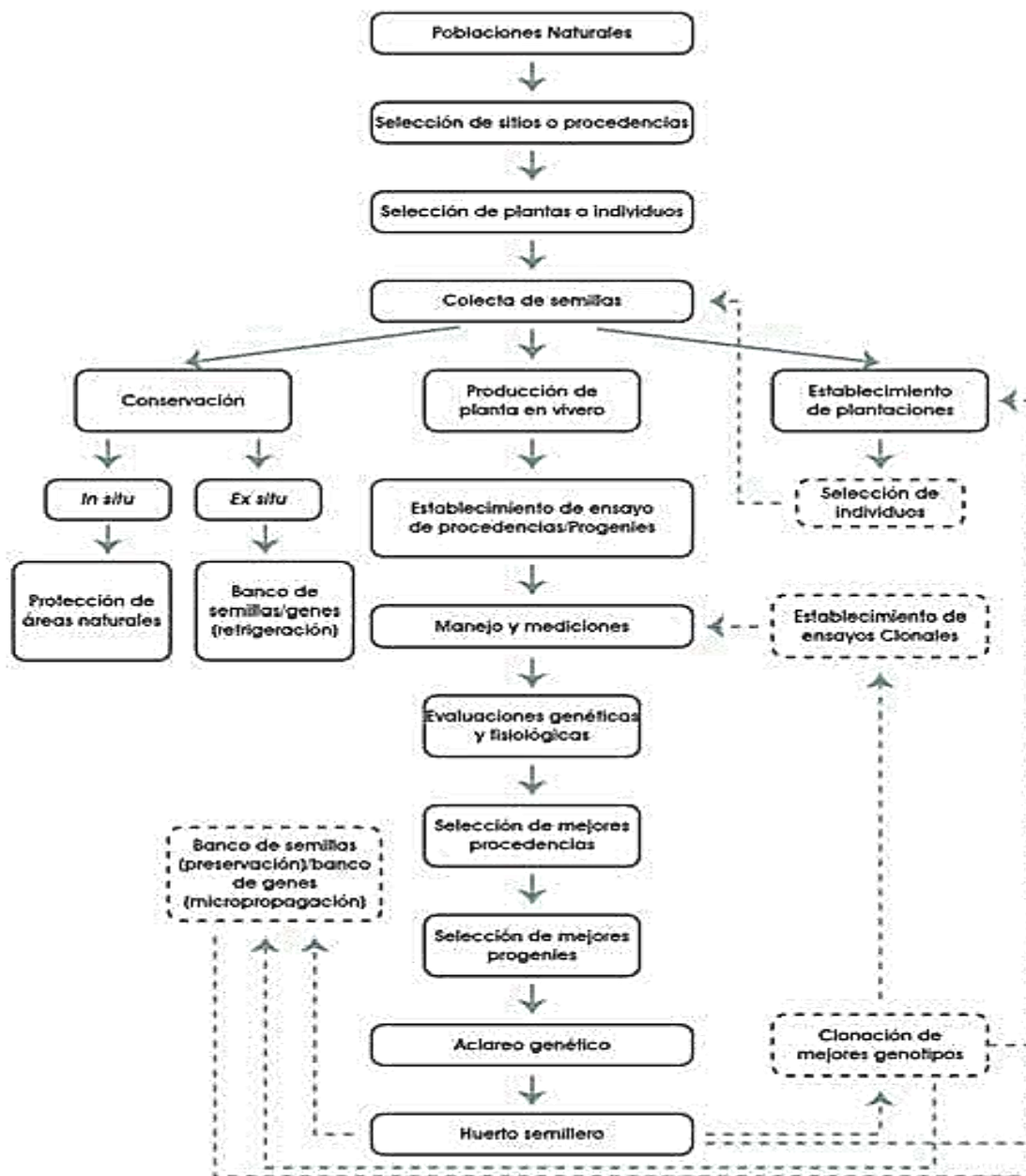


Figura 1. Estrategia de mejoramiento genético para *Agave cupreata* (Sánchez-Vargas *et al.*, 2015).

Heredabilidad

En un programa de mejoramiento genético, el éxito de las características a seleccionar, dependerán de los factores genéticos y no genéticos al expresar sus genotipos de manera diferenciada, dentro de una población; es decir dependerá de la heredabilidad (Fehr, 1987).

La heredabilidad se puede definir como la relación de la varianza genotípica entre la varianza fenotípica, expresado como:

$$H^2 = \sigma^2_G / \sigma^2_F$$

la varianza fenotípica puede subdividirse en componentes de varianza atribuibles a factores que causan diferencias en el desempeño entre individuos (Fehr, 1987). Puede ser en sentido amplio (es la proporción de la varianza genotípica total incluyendo aditivos, dominancia y varianza epistática a la varianza fenotípica)

$$H^2 = \sigma^2_G / \sigma^2_P$$

y en sentido estricto (relación de la varianza genética aditiva de una población respecto a la varianza fenotípica total)

$$h^2 = \sigma^2_A / \sigma^2_P$$

siendo la heredabilidad en sentido estricto más útil ya que mide la importancia relativa del valor aditivo de la variación genética transmisible a la siguiente generación de descendientes; Estimar valores de heredabilidad, es importante cuando se usa el valor de heredabilidad para predecir ganancias genéticas esperadas de la selección de una variable, considerando que el valor de la heredabilidad va de cero a uno, siendo nula con valor de cero y muy alta con un valor de uno (Fehr 1987). La heredabilidad no es un valor estándar, y puede variar dependiendo de la especie, la variable de selección, el entorno de selección y el tiempo de selección; pudiendo ser considerablemente bajas al evaluarse en función de selección individual y relativamente altas cuando se selecciona en base al rendimiento de las progenies en ambientes múltiples (Fehr, 1987).

IV.- HIPÓTESIS.

Existe variabilidad entre familias de medios hermanos que permite proponer una selección de familias con características sobresalientes para mejorar plantaciones con fines de producción de mezcal, mediante parámetros genéticos cuantitativos.

V.- OBJETIVO GENERAL.

Evaluar el crecimiento de plantas de medios hermanos de 24 familias de plantas de *A. cupreata*, y determinar parámetros genéticos que sirvan para seleccionar y propagar genotipos superiores con fines de producción de mezcal.

Objetivos particulares.

-  Evaluar crecimiento en tallas e incremento de tallas entre periodos evaluados de familias de *A. cupreata* en condiciones de jardín común y en plantaciones en campo, este último, en dos sitios con diferentes altitudes 1600 (Tzitzio) y 1680 m (Charo).
-  Determinar valores de variabilidad y componentes de la varianza en familias de medios hermanos de *A. cupreata* establecidos en jardín común y en campo.
-  Identificar las familias con características superiores con base en los valores registrados que muestren mayor crecimiento y contenido de azúcares en grados Brix en condiciones de jardín común (Arroyo Colorado).

VI.- RESULTADOS.

De las evaluaciones realizadas durante el desarrollo de este proyecto, resultan tres capítulos que se presentan a continuación:

CAPÍTULO I.- EVALUACIÓN DE 24 FAMILIAS DE MEDIOS HERMANOS DE *Agave cupreata* TREL. & BERGER EN DOS FECHAS CONTRASTANTES.

CAPÍTULO II.- SELECCIÓN DE INDIVIDUOS DE *Agave cupreata* TREL. & BERGER EN DOS PLANTACIONES CON FINES DE PRODUCCIÓN DE MEZCAL.

CAPÍTULO III. EVALUACIÓN DE CONTENIDO DE AZÚCAR (°BX) Y SELECCIÓN DE FAMILIAS DE MEDIOS HERMANOS DE *Agave cupreata* TREL. & BERGER

Los capítulos se desglosan en su totalidad en las siguientes páginas.

CAPÍTULO I.- EVALUACIÓN DE PLANTAS DE MEDIOS HERMANOS DE 24 FAMILIAS DE *Agave cupreata* TREL. & BERGER EN DOS FECHAS CONTRASTANTES, EN CONDICIONES DE JARDÍN COMÚN.

RESUMEN

Factores sociales y ambientales, han afectado a lo largo del tiempo las poblaciones silvestres de *Agave cupreata* Trel & Berger; sin embargo, en la actualidad, el aumento de la demanda de mezcal ha incrementado la explotación indiscriminada de la especie. Razón por la cual el objetivo de este trabajo fue evaluar el crecimiento de plantas de 24 familias de medios hermanos de *A. cupreata* durante dos fechas distintas. Se evaluaron las variables altura total (desde la superficie del suelo a la punta de la espina del centro de crecimiento), diámetro de la planta (de espina lateral a espina lateral opuesta), en diciembre de 2017 y abril de 2018. Los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre fechas de evaluación y entre familias en cada fecha. La heredabilidad a nivel individual (h^2_i), en diciembre de 2017, fue alta para la variable altura (0.33), baja para el diámetro (0.12); mientras que, en la evaluación de abril de 2018, fue alta para las variables: altura (0.40) y diámetro (0.51). Con respecto a la heredabilidad de medias de familia (h^2_f) el valor fue elevado para altura (0.66 y 0.72) y diámetro (0.44 a 0.78) en las dos evaluaciones diciembre de 2017 y abril del 2018 respectivamente. Los resultados mostraron una respuesta diferenciada de las familias a las condiciones de cada fecha, permitiendo identificar las más resistentes y con mejor desempeño; siendo las familias 4 y 1, que sobresalen entre las ocho mejores en las fechas analizadas y en las variables medidas con mayores tallas.

Palabras clave: *heredabilidad, evaluación, fechas, crecimiento.*

ABSTRACT

Social and environmental factors have affected the wild populations of *Agave cupreata* Trel & Berger over time. However, at present, the increased demand for mezcal has increased the indiscriminate exploitation of the species. Reason why the objective of this work was to evaluate the plant growth of 24 half-sibling families of *A. cupreata* during two different dates. The variables total height (from the surface of the soil to the tip of the thorn of the growth center), diameter of the plant (from lateral thorn to opposite lateral spine) were evaluated, in December 2017 and April 2018. The results showed significant differences ($p < 0.05$) between evaluation dates and between families on each date. Heritability at the individual level (h^2_i), in December 2017, it was high for the height variable (0.33), low for the diameter (0.12); while, in the April 2018 evaluation, it was high for the variables: height (0.40) and diameter (0.51). With respect to the heritability of family averages (h^2_f) the value was high for height (0.66 and 0.72) and diameter (0.44 to 0.78) in the two evaluations December 2017 and April 2018 respectively. The results showed a differentiated response of the families to the conditions of each date, allowing to identify the most resistant and with better performance; being families 4 and 1, which stand out among the eight best in the analyzed dates and in the variables measured with larger sizes.

Keywords: *heritability, evaluation, dates, growth.*

1.1. INTRODUCCIÓN

Durante siglos las especies de agave, han sufrido la pérdida de individuos en sus poblaciones silvestres; en la actualidad, esta presión puede llevar a extinciones locales de las especies, explotadas en el estado de Michoacán (Torres-García y Delgado-Lemus, 2019), siendo *Agave cupreata* sujeta durante siglos al uso como materia prima para la destilación de mezcal, resultando en una reducción y fragmentación de sus poblaciones (Martínez-Castro *et al.*, 2015), aunado al hecho de que la especie solo se reproduce de manera sexual y posteriormente muere (semélpara) (Gentry, 1982, Sánchez-Vargas *et al.*, 2015).

El incremento en la demanda de plantas y pérdida de ésta en estado silvestre, ha orillado a los productores a establecer plantaciones comerciales que satisfagan esta necesidad, no obstante, las plantaciones son manejadas como cultivos tradicionales (monocultivo) como en *Agave tequilana* Weber, sistema que a futuro puede ser perjudicial para el ambiente (Martínez-Palacios *et al.*, 2015).

Surgiendo la necesidad de producir plantas elite a través de programas de mejoramiento genético (Sánchez-Vargas *et al.*, 2015), que presenten características agronómicas deseables a los productores, que les permita desistir de la extracción de plantas de entornos naturales y al mismo tiempo puedan manejarse bajo un sistema de agrobiodiversidad que no afecte el ambiente y al mismo tiempo proporcione un valor agregado (orgánico) al producto final, ya que el destilado de mezcal preferido por los consumidores es el de los agaves silvestres (Comunicación personal del Maestro mezcalero Fortino Ramos-Edo. De Oaxaca).

La selección de individuos a edades tempranas se lleva a cabo en diversas especies vegetales con el objetivo de incrementar la producción y reducir tiempos de aprovechamiento de los cultivos (Fher, 1987). Sánchez-Vargas *et al.* (2015), proponen un programa de mejoramiento genético para *A. cupreata*; considerando que *A. cupreata* se reproduce únicamente por semilla, no se autopoliniza y su periodo de maduración es largo (Gentry, 1982, García-Mendoza, 2007); ya que es necesario que el programa de mejoramiento genético contemple las características propias de la especie para garantizar el éxito de la selección (Fher, 1987).

Los trabajos de mejoramiento genético se han realizado en diversas especies vegetales de importancia para el ser humano como clones no emparentados de híbridos de *Saccharum* spp. (Sousa-Viera y Milligane, 2009) y familias de *Acacia mangium* Willd., producto de polinización libre en sitios distintos de plantación (Pastrana-Vargas *et al.*, 2012; Pavlotzky y Murillo, 2014).

Vázquez *et al.* (2002) evaluaron variables de crecimiento a edades tempranas (3-13 años), en dos grupos poblacionales de *Pinus ayacahuite* Ehren. Var. *Ayacahuite*, con 42 familias producto de polinización libre; encontrando variaciones en heredabilidades de altura total y diámetro a la base del fuste ($h^2_i=0.31$ y 0.54) y en heredabilidad de familia ($h^2_f=0.71$ y 0.83), estos valores de heredabilidad se consideran moderados para este estudio,

Sánchez-Vargas *et al.* (2014) evalúan parámetros genéticos altura y diámetro del crecimiento inicial de 15 progenies de medios hermanos, *Pinus pseudostrobus* Lindl., sus resultados indican que la heredabilidad individual para altura resulta más alta ($h^2_i \geq 0.70$) que en diámetro ($h^2_i \geq 0.26$), y muy parecida a nivel de medias de familia en los dos caracteres ($h^2_f \geq 0.96$ y $h^2_f \geq 0.87$, respectivamente); estos resultados permitieron seleccionar de manera temprana con base en la altura y de seleccionar a través del tiempo para la variable de diámetro (al hacer correlación edad-edad).

Escobar *et al.* (2018) determinaron heredabilidad y correlaciones genéticas y fenotípicas en caracteres con valor económico (densidad de la madera, longitud de traqueidas; crecimiento de altura total, diámetro normal y volumen del tronco; en ramificación, el número, diámetro y ángulo de ramas; número de verticilos) en *Pinus patula*; encontraron variabilidad genética en calidad, crecimiento y ramificación de valores de heredabilidad de bajo a moderado (≤ 0.10 $h^2_i \leq 0.25$), excepto para longitud de traqueidas y número de ramas, no encontraron variación genética significativa ($P > 0.05$) en estas variables.

Aunque la producción de mezcal aun no es comparable con la producción industrial de tequila, la sobreexplotación de este recurso ya está repercutiendo en los tamaños de las poblaciones de *A. cupreata*, la cual registra tasas de crecimiento menores a uno, lo anterior es debido a que la especie se propaga únicamente por semilla y la sobre

colecta de plantas en etapa de inicio de floración, interrumpe la generación de semillas y liberación en su ambiente natural, mostrando la necesidad de proteger las poblaciones a través del abastecimiento de plantas de vivero para el establecimiento de plantaciones comerciales (Illsley, 2004; Illsley *et al.*, 2007).

Por lo ya mencionado, el objetivo de éste primer capítulo, fue evaluar el crecimiento en plantas de 24 familias de medios hermanos de *A. cupreata* en condiciones de jardín común, en la localidad de Arroyo Colorado municipio de Morelia y determinar parámetros genéticos que sirvan para seleccionar y propagar en etapa temprana genotipos superiores con fines de producción de mezcal.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Actualmente las poblaciones naturales de *A. cupreata* siguen aportando individuos adultos a la producción de mezcal, lo que ha fragmentado y reducido los sitios de distribución de la especie en Michoacán, de continuar con esta actividad, pondrá a esta especie en peligro de extinción en el estado de Michoacán, considerando que aún existe alta variación genética en la especie en cuestión, es necesario hacer estudios de selección que permitan identificar plantas con características genéticas superiores a edades tempranas; que permitan mejorar plantaciones y con ello incrementar la producción desistiendo del uso de plantas silvestres y permitiendo la recuperación de sus poblaciones.

1.3. HIPÓTESIS

Existe variabilidad entre familias de medios hermanos que permite aplicar selección de familias con características sobresalientes para mejorar plantaciones con fines de producción de mezcal, mediante parámetros genéticos a edades tempranas en condiciones de jardín común.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

- ✚ Evaluar el crecimiento y el incremento en tallas entre periodos de plantas de familias de medios hermanos de *A. cupreata* bajo condiciones de jardín común en la localidad de Arroyo Colorado municipio de Morelia y determinar parámetros genéticos que sirvan para seleccionar y propagar genotipos superiores, en etapa temprana con fines de producción de mezcal.

1.4.2. Objetivos particulares

- ✚ Evaluar el crecimiento de familias de medios hermanos de *A. cupreata* en condiciones de jardín común, durante dos fechas de medición.
- ✚ Determinar valores de variabilidad y componentes de la varianza de variables medidas de las familias de medios hermanos de *A. cupreata* establecidos en jardín, durante dos fechas de medición.
- ✚ Identificar las mejores familias con base en el tamaño e incremento entre las fechas de evaluación.

1.5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El experimento se instaló en la localidad de Arroyo Colorado en 2016, en la ciudad de Morelia (Figura 1), con coordenadas geográficas; latitud Norte (N) 19° 35' 40.75", longitud Oeste (O) – 101° 15' 21.46" a 2077 msnm). La temperatura promedio anual es de 17°C, una precipitación promedio anual de 874 mm, con una pendiente ligera (1.8% y/o 1.03°), una exposición de ladera Oeste-Este y una orientación de la plantación Norte-Sur en una superficie de 800 m² a una altitud de 2077m, superior a la adecuada para la especie. Con un manejo de agro-biodiversidad, caracterizado por excluir cualquier aplicación de agroquímicos, mantener especies vegetales y animales surgirán en el predio, así como realizar clareos parciales en las plantas de agave cuando eran cubiertas por la hierba. Donde se analizaron las condiciones del suelo.



Figura 1.1. Ensayo de progenies en condiciones jardín común de *Agave cupreata* Trel. & Berger, en Arroyo Colorado, Morelia, Michoacán.

1.6. MATERIALES Y MÉTODOS

1.6.1. Material biológico

El material biológico consta de plantas de 24 familias de *A. cupreata* producto de semillas obtenidas por polinización libre de plantas de origen silvestre, recolectadas en tres procedencias (Cuadro 1.1); que fueron germinadas en invernadero y establecidas en jardín común.

Cuadro 1.1 Procedencias de las semillas de *Agave cupreata* utilizadas para producir la planta en el estado de Michoacán, México.

Procedencia	Familia No.	Lugar	Ubicación
1	1 a 19	Rancho “El durazno”.	A 40 km de Tafetán.
2	20 a 23	Rancho “Mesa de las Azucenas”.	Municipio de Madero.
3	24	Piedras de Lumbre.	Piedras de Lumbre.

1.6.2. Diseño experimental

Las plantas se encontraban distribuidas en 6 bloques completos al azar en parcelas discontinuas de cuatro individuos, en la localidad de Arroyo Colorado, Municipio de Morelia, Michoacán.

1.6.3. Variables medidas

Se tomaron datos de altura y diámetro de cada planta de forma directa, utilizando un escalímetro para medir la altura en centímetros, de la base de la planta a la punta de la espina central, y el diámetro, de espina a espina lateral en dirección Norte-Sur, las mediciones se registraron en una bitácora de campo y posteriormente en el laboratorio se capturaron en hojas de cálculo. Se realizaron dos mediciones, la primera el 1 de diciembre de 2017 y una segunda el 6 y 7 de abril de 2018, y se obtuvo el incremento en las variables durante el periodo entre las dos fechas; restando el valor de la segunda medición a la primera.

1.6.4. Análisis de datos

El procesamiento de datos se realizó con el programa estadístico SAS 9.4 (SAS Institute, 1999). Se obtuvieron las estadísticas descriptivas de las variables medidas con el procedimiento MEANS. Con los datos estandarizados mediante el procedimiento STANDAR se realizó un análisis de varianza para cada variable y fecha de medición, mediante el procedimiento GLM, utilizando el siguiente modelo estadístico propuesto por Yamada (1962):

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + F_j + BF_{i*j} + e_{ijk},$$

donde Y_{ijk} es el valor de la k -ésima planta de la j -ésima familia en el i -ésimo bloque, μ es la media general de la población, B_i es el efecto del i -ésimo bloque, F_j es el efecto de la j -ésima familia, BF_{i*j} es el efecto de interacción entre el i -ésimo bloque y la j -ésima familia, e_{ijk} es el error experimental.

1.6.4.1. Heredabilidad

Con el modelo arriba mencionado se obtuvieron los componentes de la varianza con el procedimiento VARCOMP y la opción de máxima verosimilitud restringida. Con los componentes se estimaron la heredabilidad en sentido estricto a nivel individual (h^2_i) y de medias de familia (h^2_f) con las fórmulas propuestas por Zobel y Talbert (1988):

$$h^2_i = 4\sigma^2_f / (\sigma^2_f + \sigma^2_{b*f} + \sigma^2_e)$$

$$h^2_f = \sigma^2_f / [\sigma^2_f + (\sigma^2_{b*f} / b) + (\sigma^2_e / (b*n))]$$

donde: σ^2_f es la varianza de familia, σ^2_{b*f} , es la varianza de interacción entre el bloque y la familia, σ^2_e es la varianza del error, b es el número de bloques, n es la media armónica del número de individuos por familia en la parcela.

Se realizó un análisis jerárquico con los promedios por familia de las dos variables y el incremento de cada variable de una fecha a otra.

1.7. RESULTADOS

1.7.1. Características del jardín común.

El sitio presenta una pendiente ligera (1.8% y/o 1.03°), con una exposición de ladera Oeste-Este, con una orientación de la plantación Norte-Sur, en una superficie de 800 m².

1.7.1.1. Suelo

El sitio presenta una textura franco-areno-arcillosos, con mayor contenido de partículas finas, con una porosidad y % saturación adecuadas para el almacenamiento de humedad. Las propiedades químicas como el pH, la materia orgánica e intercambio catiónico, nos son las ideales, si permiten el desarrollo vegetal, pero requieren un manejo adecuado para atender las propiedades limitantes (Cuadro 1.2). Las plantas se desarrollaron favorablemente en el sitio sin verse afectadas por las propiedades limitantes que mostraron los análisis, además se destaca que no existieron pérdidas durante la evaluación por plagas o enfermedades ni daño por las especies existentes en el sitio.

Cuadro 1.2. Propiedades físicas y químicas del suelo de Arroyo Colorado.

Parámetro	Unidad	Valor	Interpretación ^{&}
pH (1:25)	UPH	5.45	Moderadamente ácido
Materia Orgánica*	%	4.83	Baja
CICT	Cmol(+) Kg ⁻¹	18.18	Media
Textura	A-L-Ac	58 - 22 - 20	Franco-Arcillo-Arenoso
Densidad Real	g/cm ³	1.88	SI
Densidad Aparente	g/cm ³	0.92	Común en Suelos Volcánicos
Color (Seco)	Símbolo	10 YR 4/2	Dark grayish Brown
Color (Húmedo)	Símbolo	5 YR 2.5/1	Black
Porosidad**	%	51.14	Normal en Suelos Franco- Arcillo-Arenosos
Porcentaje de saturación***	%	40.60	Moderadamente baja

[&]Con base en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, a menos de que se especifique otra fuente.

A=%Arenas, L=%limo, Ac= %Arcilla; *Para suelos de origen volcánico; **Calculados; SI=sin interpretación en la NOM

Nota: Normal= Valores próximos a los reportados para esta textura del suelo. ***Interpretación con base en la clase textural.

1.7.2. Resultados del análisis estadístico de las mediciones de variables por fecha y entre fechas

Estadísticas descriptivas

En el cuadro 1.3 se muestran las estadísticas descriptivas generales por fechas de medición, donde las fechas tuvieron un comportamiento diferente, con una disminución en los valores generales de la fecha uno, a la fecha dos para las medias generales por fecha; mientras para el incremento los valores fueron bajos.

Cuadro 1.3. Estadísticas descriptivas de las variables medidas obtenidas en un ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de jardín común en Morelia, Michoacán.

Fecha	μ	Error	Mínimo	Máximo	Σ	CV	N
Altura							
dic-17	13.09	0.14	4.00	24.70	3.39	25.90	574
abr-18	11.21	0.14	2.00	24.90	3.32	29.63	574
Diámetro							
dic-17	19.71	0.21	6.00	33.00	5.06	25.69	574
abr-18	12.84	0.20	0.80	32.00	4.82	37.52	574
Incremento							
Altura	-1.88	0.13	-11.70	11.60	3.06	-163.23	574
Diámetro	-6.87	0.21	-24.50	10.20	4.94	-71.90	574

El análisis estadístico mostró diferencias significativas ($P \leq 0.0040$) entre familias; no se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre bloques en Noviembre-2018, pero sí en Abril-2019, probablemente debido a los cambios por el estrés por sequía al que se vieron expuestas las plantas en esta etapa inicial de crecimiento, a pesar de esto, no hubo significancia en la interacción Bloque×Familia en ninguna de las dos fechas (Cuadro 1.4). La evaluación del incremento de la altura y el diámetro entre las fechas de medición no mostró diferencias significativas para ninguna de las variables, sólo se observaron diferencias entre bloques (Cuadro 1.4).

Cuadro 1.4. Probabilidades obtenidas en el análisis de varianza de un ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de jardín común en Morelia, Michoacán.

Fuente de Variación / Variable	Diciembre 2017		Abril 2018		Incremento	
	Altura	Diámetro	Altura	Diámetro	Altura	Diámetro
Bloque	0.8985	0.7375	<0.0001	0.0032	0.0001	0.0061
Familia	0.0010	0.0040	<0.0001	<0.0001	0.7817	0.1316
Bloque×Familia	0.2103	0.9536	0.9514	0.6652	0.5978	0.7673

En general la mayor aportación de variación a la varianza total estuvo dada por el error en las diferentes fechas, seguida por la aportación de la varianza de familia. Hubo una mayor aportación de la varianza de familias a la varianza total en Abril de 2018, que en Diciembre de 2017, dada por las modificaciones físicas sufridas por las plantas debido al estrés por sequía y al daño por helada, lo que también se reflejó en la aportación de la varianza de los bloques, que no se observó en Diciembre-2017 (Cuadro 1.5).

Cuadro 1.5. Aportación de la varianza de los componentes a la varianza total, en porcentajes, de las variables medidas en un ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de jardín común en Morelia, Michoacán.

Variable	Bloque	Familia	Bloque×Familia	Error
Diciembre-2017				
Altura	0.00	6.38	2.17	91.45
Diámetro	0.00	3.12	0.00	96.88
Abril-2018				
Altura	6.29	9.22	0.00	84.49
Diámetro	2.35	11.66	0.00	85.99

El análisis jerárquico mostró que la mayoría de las familias se mantuvieron estables al pasar de la fecha del término de las lluvias (diciembre 2017) a la de sequía (abril 2018). Entre las mejores familias en altura se observaron las 4, 1, 24, 2, 18 y 11, que se mantuvieron estables durante la época seca; las familias 4, 1, 23, 22 y 7 fueron las

mejores en diámetro y también se mantuvieron estables en la época seca (Cuadro 1.6). También se observaron familias inestables que pasaron del grupo de crecimiento intermedio al grupo de mejor crecimiento como las familias 7 y 23 en altura y 11, 18 y 24 en diámetro; así como algunas que pasaron del grupo de crecimiento intermedio al grupo de crecimiento inferior como es el caso de la familia 20 en altura y la 5 en diámetro, o de este grupo al de crecimiento intermedio como la familia 6 en altura y las 12 y 3 en diámetro. Al analizar las dos variables de manera conjunta, sobresalen las familias 4 y 1 como las mejores en las dos fechas de medición, y entre se encontraron las familias 15 y 13. Las tasas de crecimiento fueron muy variables, familias como la 7 se mantuvieron entre las que perdieron menos talla durante la temporada seca, pero otras como la 1 se encontraron entre las que perdieron más talla, al parecer como una estrategia de supervivencia.

Cuadro 1.6. Jerarquización de medias de familias en dos fechas de medición, de las variables en un ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de jardín común en Morelia, Michoacán.

Variable		Altura				Diámetro				Incremento		
Jerarquía	Familia	dic-17	Familia	abr-18	Familia	dic-17	Familia	abr-18	Familia	Altura	Familia	Diámetro
1	4	15.65	4	14.05	4	24.24	4	17.63	23	-1.19	24	-4.92
2	1	14.94	2	12.69	1	21.44	1	14.94	7	-1.40	11	-5.18
3	24	14.82	1	12.55	23	20.66	11	14.86	21	-1.45	18	-5.35
4	2	14.49	11	12.50	22	20.52	18	14.67	19	-1.49	3	-5.35
5	18	14.35	24	12.45	20	20.45	22	14.66	6	-1.55	22	-5.85
6	11	14.11	7	12.17	10	20.40	24	14.53	10	-1.55	12	-5.86
7	12	13.76	18	12.10	2	20.26	23	14.12	15	-1.55	7	-6.10
8	22	13.58	23	12.03	7	20.12	7	14.02	14	-1.59	2	-6.33
9	7	13.57	12	12.03	6	20.10	2	13.93	4	-1.60	1	-6.50
10	20	13.31	22	11.25	5	20.05	10	13.47	3	-1.60	23	-6.54
11	23	13.22	3	11.22	11	20.05	20	13.39	11	-1.60	19	-6.59
12	3	12.80	10	11.19	18	20.02	12	13.05	12	-1.73	4	-6.62
13	10	12.75	19	11.17	19	19.56	19	12.98	2	-1.80	10	-6.93
14	19	12.66	21	11.13	24	19.45	3	12.55	8	-1.96	20	-7.06
15	5	12.61	5	10.57	21	19.15	9	11.95	16	-2.02	9	-7.07
16	21	12.58	6	10.35	9	19.02	6	11.59	5	-2.04	17	-7.56
17	9	12.49	20	10.31	16	18.92	5	11.36	17	-2.05	15	-7.62
18	8	12.20	8	10.24	12	18.91	14	11.19	13	-2.13	14	-7.63
19	16	11.99	9	10.09	14	18.82	21	11.01	18	-2.24	8	-8.03
20	17	11.93	16	9.98	8	18.68	17	10.87	22	-2.33	21	-8.13
21	6	11.90	17	9.88	17	18.43	16	10.68	24	-2.37	16	-8.24
22	13	11.72	14	9.81	15	17.98	8	10.65	1	-2.39	13	-8.38
23	14	11.40	15	9.64	13	17.91	15	10.36	9	-2.40	6	-8.51
24	15	11.19	13	9.59	3	17.90	13	9.53	20	-3.00	5	-8.69

1.7.3 Heredabilidad

La heredabilidad a nivel de individuo (h^2_i) muestra valores de bajos (diámetro=0.12) a elevados (altura=0.26) en la medición posterior al periodo de lluvias; que se incrementan para la segunda medición durante el estiaje (Figura 1.2). Mientras que los valores de heredabilidad a nivel de familia (h^2_f) son elevados en las variables durante las dos fechas incrementándose de la primera a la segunda fecha de medición.

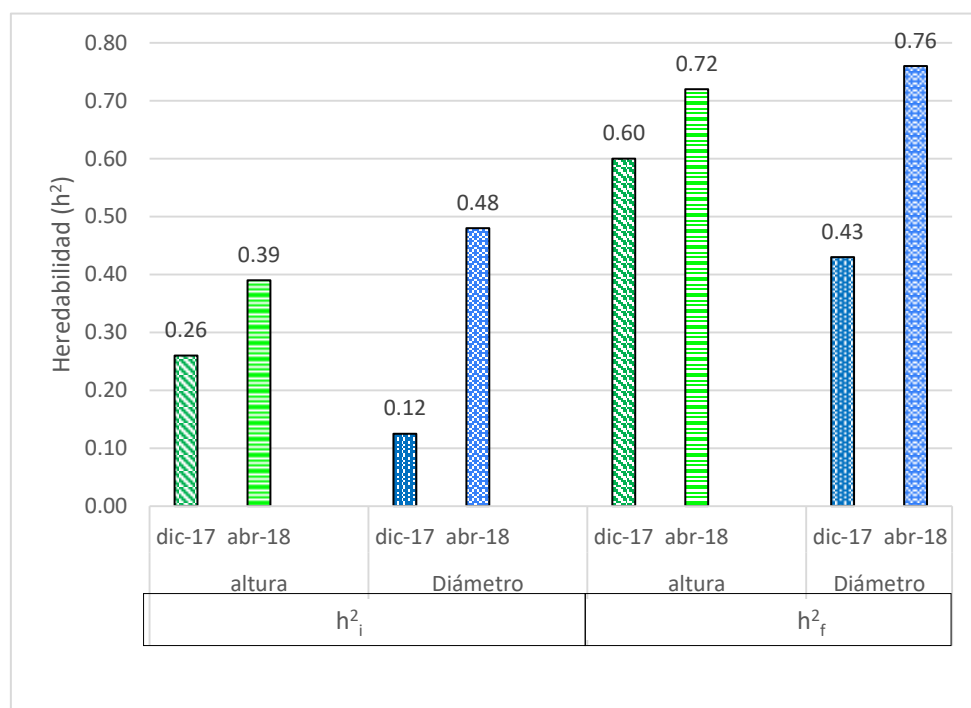


Figura 1.2 Valores de heredabilidad a nivel individual (h^2_i) y de medias de familias (h^2_f) obtenidos para altura y diámetro en dos fechas de medición de un ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de jardín común en Morelia, Michoacán.

1.8. DISCUSIÓN

Las diferencias encontradas, en variables de las 23 familias analizadas, entre fechas y por fecha; muestra una respuesta diferenciada de los individuos a las condiciones ambientales en las cuales se desarrollaban ya que el análisis estadístico indicó que el ambiente fue homogéneo para las variables, con el mayor aporte de la varianza del componente error, a la varianza total y se puede atribuir la variación de los individuos al ambiente considerado que el ensayo de progenies se estableció en un sitio con altitud mayor a la que la especie está acostumbrada.

Pavlotzky y Murillo (2014), identificaron procedencias con crecimiento significativo superior al resto y seleccionan 12 familias de *Acacia mangium* Willd con características superiores en volumen de un total de 25 familias; en nuestros resultados se encuentran diferencias significativas entre familias ($P < 0.05$) destacando las familias 4 y 1 que se mantienen entre las ocho mejores, en las dos fechas y con los mejores promedios para altura y diámetro.

Las familias 4 y 1 presentan los valores promedio mayores en las dos fechas de medición en altura y diámetro coincidiendo con Pastrana-Vargas *et al.* (2012), que ubica a las familias con tallas más grandes, en los primeros lugares dentro del ranking genético.

El crecimiento de las familias mostró valores negativos contrario a lo reportado en otras especies (Cuéllar y Arrieta-Herrera, 2010, Carvajal-Vanegas y Calvo-Alvarado, 2013, González-Moscoso *et al.*, 2017) y que se atribuyen a la respuesta fisiológica de las plantas al periodo, propias de su metabolismo, ya que pasaron de un periodo favorable a una helada invernal y un periodo de sequía, ya que el ensayo se estableció a una altura mayor a su rango de distribución natural. Siendo la familia 7 la que mostro una menor disminución en tallas para las dos variables, durante el periodo.

La heredabilidad en sentido estricto (h^2) presenta un incremento considerable entre fechas de medición en h^2_i y h^2_f , para las variables medidas, donde se encuentran valores bajos en h^2_i diámetro (0.12) en la fecha uno, siendo el resto de los valores considerablemente altos. Los resultados coinciden en el incremento, con lo reportado

por Mora y Zamudio (2006) que reportan valores en h^2_i en pruebas de progenies de *Pinus radiata* de 0.08 a 0.13 en altura y de 0.0 a 0.13 para diámetro; Valencia-Manzo y Vargas (1986) en *Pinus patula* obtuvieron valores de $h^2_i=0.14$ en altura y $h^2_i= 0.10$ en diámetro similares al valor de diámetro obtenidos en este estudio durante la primera evaluación; Sánchez-Vargas *et al.* (2014), reportan una heredabilidad individual para altura ($h^2_i \geq 0.70$) en *Pinus pseudostrobus* lindl, mayor que en diámetro ($h^2_i \geq 0.26$), similar a lo encontrado en la primera fecha en campo experimental, que arroja una heredabilidad mayor en altura ($h^2_i =0.33$) que en diámetro ($h^2_i =0.12$). Coincidiendo con los valores altos reportados por Mesén y Vásquez (2009) en *Vochisya guatemalensis* para la h^2_i , en diámetro a la altura del pecho (0.43) y altura (0.22).

1.9. CONCLUSIONES

La varianza de las familias estuvo fuertemente relacionada al periodo en que se encontraban, siendo la variable diámetro la que aportó mayor variación al estudio; adjudicándose a su respuesta fisiológica a las condiciones ambientales, como la pérdida de hojas durante las heladas invernales.

La respuesta de las 24 familias a la evaluación nos permite proponer durante este estudio, candidatas a selección de las que sobresalen en jardín común, como son las familias 1 y 4, que se mantienen dentro de las mejores entre fechas y variables, poniendo interés a futuro de las familias 24, 2, 18, 11 y 23 que aparecen en las mejores, intermitentemente, durante las fechas medidas, ya que a futuro pueden presentar un mejor desempeño.

En incremento de variables, la familia 7 fue la más sobresaliente sin embargo al no existir diferencias significativas, no podemos hacer una propuesta a selección, a pesar de que se mantiene entre las mejores con mejor desarrollo en altura y diámetro.

Los resultados del análisis cuantitativo permiten proponer una selección de genotipos con características agronómicas sobresalientes a edades tempranas que permitirán mejorar las plantaciones comerciales.

Es importante realizar más ensayos de esta naturaleza, a mayor edad, en sitios distintos; que permitan realizar una mejor selección de genotipos superiores, considerando que al ser un sistema que aplica por primera vez se debe registrar el comportamiento de familias en condiciones de jardín común dentro de su intervalo de distribución altitudinal y así anular el efecto de estrés por frío.

1.10. BIBLIOGRAFÍA

- ✚ Carvajal-Vanegas, D., y Calvo-Alvarado, J. (2013). Tasas de crecimiento, mortalidad y reclutamiento de vegetación en tres estadios sucesionales del bosque seco tropical, Parque Nacional Santa Rosa, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 10(25), Pág. 1 -12.
- ✚ Cuéllar, N., y Arrieta-Herrera, J. (2010). Evaluación de respuestas fisiológicas de la planta arbórea *Hibiscus rosasinensis* L, (Cayeno) en condiciones de campo y vivero. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11 (1), 61-72.
- ✚ Escobar-Sandoval, M. C., Vargas-Hernández, J. J., López-Upton, J., y Espinosa-Zaragoza, S. (2018). Parametros genéticos de calidad de madera, crecimiento y ramificacion en *Pinus patula*/Genetic parameters for wood quality, growth and branching traits in *Pinus patula*. *Madera Y Bosques*, 24(2), 1.
- ✚ Fehr, W. R. (1987). Principles of cultivar development: *crop species*. Macmillan publishing company.
- ✚ García-Mendoza A. J. (2007). Los agaves de México. *Ciencias*, (087). Pp 14-23
- ✚ Gentry, H. S. (1982). Agaves of continental North America. The University of Arizona Press, Tucson, Arizona. 670 p.
- ✚ González-Moscoso, M., Rivera-Cruz, M., Delgadillo-Martínez, J., y Lagunes-Espinoza, L. (2017). Análisis de crecimiento y producción vegetal de *Leersia hexandra* Swartz en el trópico húmedo mexicano en función de petróleo y surfactante. *Polibotánica*, (43) 177-196.
- ✚ Illsley, C.G., (2004). Proyecto TS (2002). Manejo sustentable del maguey papalote de Chilapa. CONABIO-GEA.
- ✚ Illsley, C., Vega, E., Pisanty, I., Tlacotempa, A., García, P., Morales, P., y Calzada, M. (2007). Maguey papalote: hacia el manejo campesino sustentable de un recurso colectivo en el trópico seco de Guerrero, México. *En lo Ancestral hay Futuro: del Tequila, los Mezcales y otros Agaves*, 319-338.
- ✚ Martínez-Castro L.E. Martínez-Palacios A. Sánchez Vargas N. M. Lobitte P. Álvarez N. Martínez Palacios O. Villegas J. Martínez Avalos J. G. y Golubov J. (2015). Poblaciones silvestres de Maguey Chino (*Agave cupreata*) en el Estado

de Michoacán. Págs. 167-175, en: Aspectos sobre el Manejo y Conservación de Agaves Mezcaleros en Michoacán, Martínez-Palacios A., J.L. Morales-García y S. Guillén Rodríguez (eds.), Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo – Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación - Consejo Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación. Michoacán México. ISBN: 9786078116430

- + Martínez-Palacios A. Chávez-Mendoza S. A. Aguilar-Alberto A. Lobit P. y Prat C. (2015). Orientación a la luz de la plantación de *Agave cupreata* Trel. y Berger, bajo manejo integral, Tzitzio, Mich. En: Martínez-Palacios, A., Morales-García, J., y Rodríguez, S. (2015). Aspectos sobre manejo y conservación de Agaves mezcaleros en Michoacán. Pp 63-82.
- + Mesén, F. y Vásquez, W. (2009). Variación genética de procedencias y familias de *Vochysia guatemalensis* a los 18 años de edad en Sarapiquí, Heredia, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 33 (2). 157-170.
- + Mora, F. y Zamudio, F. (2006). Variabilidad genética del crecimiento en progenies selectas de *Pinus radiata*. *Ciencia Florestal*, 16(4), 399-405.
- + Pastrana-Vargas, I., Espítia-Camacho M., y Murillo-Gamboa, O. (2012). Evaluación del potencial de mejoramiento genético en el crecimiento en altura de *Acacia mangium* Willd. *Acta Agronómica*, 61 (2), 143-150.
- + Pavlotzky, B., Murillo, O. (2014). Ganancia genética esperada e interacción genotipo-ambiente en *Acacia mangium* en la zona norte de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 38 (2), 7-17.
- + Vázquez, E. D. G. F., Mata, J. J., Upton, J. L., Hernández, J. V., y Herrera, C. R. (2002). Parámetros genéticos y eficiencia de la selección temprana en *Pinus ayacahuite* Ehren. var. *ayacahuite*. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 25(3), 239-246.
- + Sánchez-Vargas, N., Cambrón-Sandoval, V., Sáenz-Romero, C., y Vargas-Hernández, J. (2014). Parámetros genéticos del crecimiento temprano de familias de medios hermanos de *Pinus pseudostrobus* lindl. En Michoacán, México. *Foresta Venezolana*. 58. 65 - 76.

- ✚ Sánchez-Vargas, N., Aparicio Rentería, A. y Brito Miranda, M. (2015). Programa de mejoramiento genético para *Agave cupreata* Trel. & Berger. Págs.: 105-114, en: Aspectos sobre el Manejo y Conservación de Agaves Mezcaleros en Michoacán, Martínez-Palacios A., J.L. Morales-García y S. Guillén Rodríguez (eds.), Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo – Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación - Consejo Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación. Michoacán México. ISBN: 9786078116430.
- ✚ SAS 9.4 TS Level 1 M4 X64 _10 PRO Plataforma versión para Windows 1.0.17134. Copyright (c) 2002-2012 by SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. All Rights Reserved
- ✚ Sousa-Viera, O. D., y Milligan, S. B. (2009). Effect of intrarow plant spacing on the effectiveness of family selection in sugarcane: Selection indices. Effect of Intrarow Plant Spacing on the Effectiveness of Family Selection in Sugarcane: Selection Indices.
- ✚ Torres-García I., y Delgado-Lemus A. M. (2019). Diversidad de agaves: usos y riesgos en su aprovechamiento. 175-177 p. En: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2019. La biodiversidad en Michoacán Estudio de Estado 2. CONABIO, México.
- ✚ Valencia-Manzo S, Vargas-Hernández J. J. (1986) Control genético de la velocidad de crecimiento y características de la madera en *Pinus patula*. *Agrociencia* 30:265-273.
- ✚ Yamada, Y. (1962). Genotype by environment interaction and genetic correlation of the same trait under different environments. *The Japanese journal of genetics*, 37(6), 498-509.
- ✚ Zobel B. y Talbert J. (1988). Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Editorial Limusa. México, México, 545 p.

CAPÍTULO II.- SELECCIÓN DE INDIVIDUOS DE *Agave cupreata* TREL. & BERGER EN DOS PLANTACIONES CON FINES DE PRODUCCIÓN DE MEZCAL.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el crecimiento e incremento de tallas en plantas de 24 familias de medios hermanos de *A. cupreata* y determinar parámetros genéticos que sirvan para seleccionar y propagar genotipos superiores con fines de producción de mezcal. Se instalaron dos ensayos de progenies en los municipios de Charo y Tzitzio, ensayo uno: 24 familias; ensayo dos: 22 familias; en bloques completamente al azar; se evaluaron las variables: altura, diámetro, largo y ancho de hoja; en cuatro fechas de medición y se obtuvieron valores de incremento entre fechas; los datos se analizaron en SAS, por el tamaño registrado y su incremento entre periodos medidos. Se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre familias, en las fechas de medición principalmente en las variables altura y diámetro en tamaño, el incremento mostró pocas diferencias significativas. La heredabilidad a nivel de individuo (h^2_i), en las variables y entre las fechas, presentaron valores altos en su mayoría; desde $h^2_i = 0.07$ (bajos), hasta $h^2_i = 0.90$ (muy altos) y para heredabilidad de familias (h^2_f), los valores más bajos fueron: $h^2_f = 0.25$ hasta $h^2_f = 0.93$. Los resultados permitieron proponer a las familias 4 y 11 como candidatas a selección durante este estudio.

Palabras clave: *ensayos de progenies, familias, heredabilidad, evaluación, periodos de evaluación.*

ABSTRACT

The objective of the present work was to evaluate the growth and increase of sizes in plants of 24 families of half-siblings of *A. cupreata* and to determine genetic parameters that serve to select and propagate superior genotypes for mezcal production purposes. Two progeny trials were installed in the municipalities of Charo and Tzitzio, trial one: 24 families; essay two: 22 families; in completely random blocks; the variables were evaluated: height, diameter, length and width of sheet; in four measurement dates and the increments of variables between dates were obtained; the data were analyzed in SAS, by the registered size and its increase between measured periods. Significant differences ($P < 0.05$) were found between families, in the measurement dates mainly in the variables height and diameter in size, the increase showed few significant differences. the heritability at the level of the individual (h^2_i), in the variables and between the dates, presented high values, mostly; from $h^2_i = 0.07$ (low), to $h^2_i = 0.90$ (very high) and for family heritability (h^2_f), the lowest values were: $h^2_f = 0.25$ to $h^2_f = 0.93$. The results allowed proposing families 4 and 11 as candidates for selection during this study.

Keywords: *progeny trials, families, heritability, evaluation, evaluation periods.*

2.1. INTRODUCCIÓN

El auge en la industria mezcalera y la elevada demanda de plantas en los últimos años ha mermado las poblaciones silvestres en el estado Michoacán, que ya presentan fragmentaciones (Illsey *et al.*, 2009; Martínez-Castro *et al.*, 2015). Exponiéndola a extinciones locales en el estado de Michoacán (Toral-Paz y Martínez-Palacios, 2015; Torres-García y Delgado-Lemus 2019). Actualmente varias especies de agave son explotadas para producción de mezcal principalmente *Agave cupreata* Trel & Berger y *Agave inaequidens* (Sánchez-Vargas *et al.*, 2015). *A. cupreata* es una especie endémica de sur-occidente de México, en los estados de Guerrero y Michoacán, distribuyéndose en las laderas de la depresión del Balsas entre los 1220 y 1890 msnm, actualmente presenta poblaciones aisladas, adquiriendo su nombre, del color cobrizo de sus espinas (Gentry, 1982). *A. cupreata* es utilizado en la elaboración de Mezcal de forma artesanal y rústica, se cortan las piñas después de 7 a 12 años y al iniciar la floración (Illsey *et al.*, 2009). A pesar de que las flores del Maguey son hermafroditas, no se autopolinizan, por lo cual su polinización libre sugiere cruza entre individuos no emparentados que garantiza la reproducción (León *et al.*, 2015).

La alta demanda de plantas muestra la necesidad urgente de establecer plantaciones que permitan reducir el uso de plantas silvestres o en su defecto dejar que se recuperen las poblaciones a través de programas de manejo sustentable (Martínez-Castro *et al.*, 2015).

La selección de individuos superiores, es una alternativa que permitirá satisfacer la demanda de plantas de *A. cupreata* y evitar la depredación de las poblaciones silvestres (Sánchez-Vargas *et al.*, 2015), ampliamente utilizada en mejoramiento en especies vegetales de importancia forestal, como *Lupinus elegans* Kunth, donde seleccionaron en torno al cambio climático y con fines de migración asistida (Soto-Correa *et al.*, 2012); de igual manera, seleccionando para reintroducción de especies mejoradas a los ambientes de origen, evaluando su desarrollo entre distintas localidades, con ambientes únicos, llevando a cabo un programa de mejoramiento genético útil para la especie *Pinus patula* (Salaya-Domínguez *et al.*, 2012); se han establecido pruebas de progenies de diferentes especies forestales y huertos

semilleros en distintos sitios de plantación, encontrando diferencias entre procedencias y familias, razón por la cuál es necesario identificar no solo a las mejores especies sino a las poblaciones, procedencias, familias e individuos dentro de familias, que presenten la mayor producción para las variables evaluadas y que puedan ser exitosos durante la fase de clonación de un programa de mejoramiento genético (Alba-Landa *et al.*, 2008); se han evaluado ensayos en plantaciones distintas de 7 procedencias y 49 familias producto de polinización libre de *Vochysia guatemalensis*, a los 18 años de edad midiendo altura total, diámetro a la altura del pecho evaluando heredabilidad de familia para DAP (diámetro a la altura del pecho), altura y forma de fuste para seleccionar genotipos, identificando hasta 25 árboles como los mejores en los ensayos (Mesen y Vásquez, 2009); así mismo se realizaron trabajos de estimación de ganancia genética esperada con base en el fenotipo de *Tectona grandis* L, *Acacia mangium* Willd., y *Gmelina arborea* Roxb., clasificando hasta 18 individuos plus de 46 seleccionados en base al diámetro, altura, volumen y calidad del fuste, para ambas especies (Espitia *et al.*, 2011).

Aguirre-Dugua y Eguiarte (2013), marcadores moleculares del tipo ISSR (siglas en inglés: inter simple sequence repeat), reportaron una elevada diversidad genética, entre poblaciones silvestres ($P > 80\%$; $H_e > 0.30$) de *Agave cupreata* con una diferenciación entre poblaciones de $\theta = 0.172$. Martínez-Palacios *et al.*, (2011), usaron isoenzimas como marcadores genéticos reportando también una elevada variación genética en polimorfismo y heterocigocidad ($H_e = 0.47$; $P = 93\%$; $F_{ST} = 0.042$). Muñoz *et al.*, (2014) seleccionan plantas de *A. cupreata* con fines de mejoramiento genético basado en sus características fenotípicas como vigor, altura de planta y diámetro de área foliar, así como plantas sanas, para el establecimiento de rodales semilleros en el estado de Guerrero.

Sin embargo, pese a los esfuerzos que se han realizado por establecer plantaciones por parte de los productores éstas carecen de selección de poblaciones, individuos, programas de selección y conservación de germoplasma es decir son tratadas como un monocultivo tradicional (Sánchez-Vargas *et al.*, 2015). Razón por la cual, proponen un programa de mejoramiento genético de *A. cupreata*, con el propósito, de mostrar los lineamientos que deben seguirse, para la selección de genotipos superiores, en la

producción de plantas con el fin de que incrementen la producción de plantas para destilación de mezcal; el programa considera que la especie de agave en cuestión no responde bien a la autofecundación, no se propaga vegetativamente de forma natural, el periodo de maduración de la planta y producción de semillas es de siete a doce años, y a diferencia de otros agaves, *A. cupreata* solo se reproduce una vez por semilla y muere (Sánchez-Vargas *et al.*, 2015).

Por lo mencionado anteriormente el objetivo del presente trabajo fue evaluar el crecimiento de las plantas en familias de medios hermanos de *A. cupreata*, y determinar parámetros genéticos que sirvan para seleccionar y propagar genotipos superiores con fines de producción de mezcal en dos plantaciones, Charo (1680 msnm) y Tzitzio (1600 msnm).

2.2. JUSTIFICACIÓN

El *Agave cupreata* Trel. & Berger es un recurso forestal no maderable, de gran importancia económica y cultural para Michoacán, utilizado principalmente como materia prima en la elaboración de mezcal. Sin embargo, en la actualidad, los productores aun dependen directamente de las poblaciones silvestres, al grado de ocasionar escases de plantas para satisfacer la demanda de mezcal. El mezcal es un producto cuya demanda lejos de estabilizarse, va en aumento a nivel nacional e internacional. No obstante, poco se ha hecho para lograr un equilibrio en la producción del destilado en relación con la demanda de plantas dado que se cuentan solo algunos proyectos con fines de propagación. La presente propuesta pretende proponer una selección de plantas con características superiores que a futuro mejoren las cualidades de las plantaciones comerciales (con plantas precoces y de grandes tallas); lo que podría evitar la extracción de plantas de poblaciones silvestres permitiendo que estas se recuperen de manera natural. Esto debido a que las plantaciones actuales, se caracterizan por tener una elevada heterogeneidad en formas, tamaños, bajo rendimiento en la producción de mezcal y con altos problemas de susceptibilidad a plagas y enfermedades, además de que las plantaciones son tratadas como cultivos agrícolas tradicionales.

2.3. HIPÓTESIS

Existe variabilidad entre familias y entre sitios que permite aplicar selección de familias con características sobresalientes para mejorar plantaciones comerciales con fines de producción de mezcal, mediante parámetros genéticos.

2.4. OBJETIVOS

2.4.1. Objetivo general

- ✚ Evaluar el crecimiento en plantas de 24 familias de medios hermanos de *A. cupreata* y determinar parámetros genéticos que sirvan para seleccionar y propagar genotipos superiores con fines de producción de mezcal en dos plantaciones, Charo (1680 msnm) y Tzitzio (1600 msnm).

2.4.2. Objetivos específicos

- ✚ Evaluar el crecimiento de familias de *A. cupreata* en dos plantaciones.
- ✚ Determinar valores de variabilidad y componentes de la varianza de variables medidas en familias de medios hermanos de *A. cupreata* en dos plantaciones.
- ✚ Identificar las familias con características superiores con base en los valores registrados que muestren mayor desarrollo en plantación.

2.5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Las plantaciones se instalaron en dos sitios, una en el municipio de Charo (Sitio 1) a 1680msnm, latitud $19^{\circ} 36'27.66''$ -longitud $101^{\circ} 0'13.72''$, con una orientación Sureste-Noroeste y la segunda en el municipio de Tzitzio (Sitio 2) a 1600 msnm, latitud $19^{\circ} 35'46.11''$ -longitud $100^{\circ} 55'9.86''$, con orientación Noreste-suroeste (Figuras 2.1a y 2.1b).

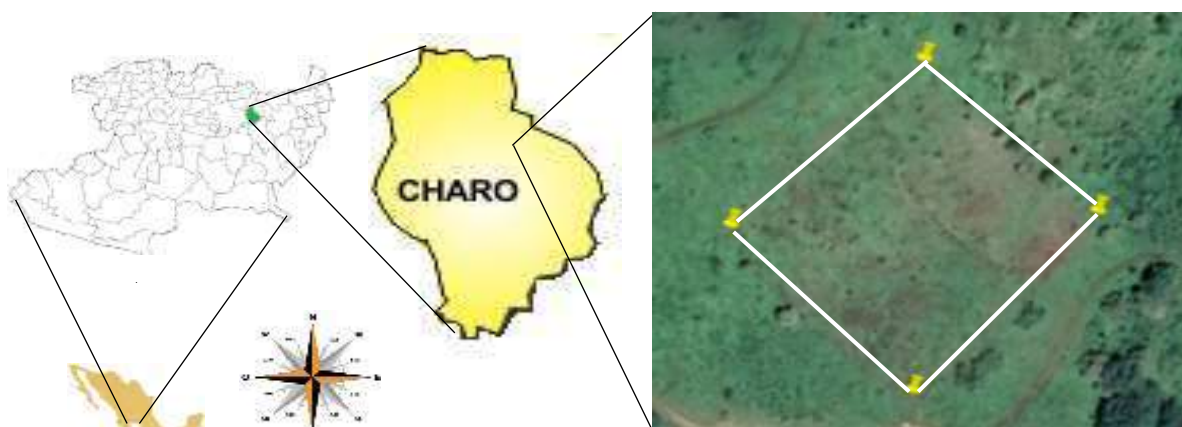


Figura 2.1a. Sitio de plantación de dos ensayos de progenies de 22 y 24 familias de *Agave cupreata* Trel. & Berger, en el municipio de Charo (Sitio 1).

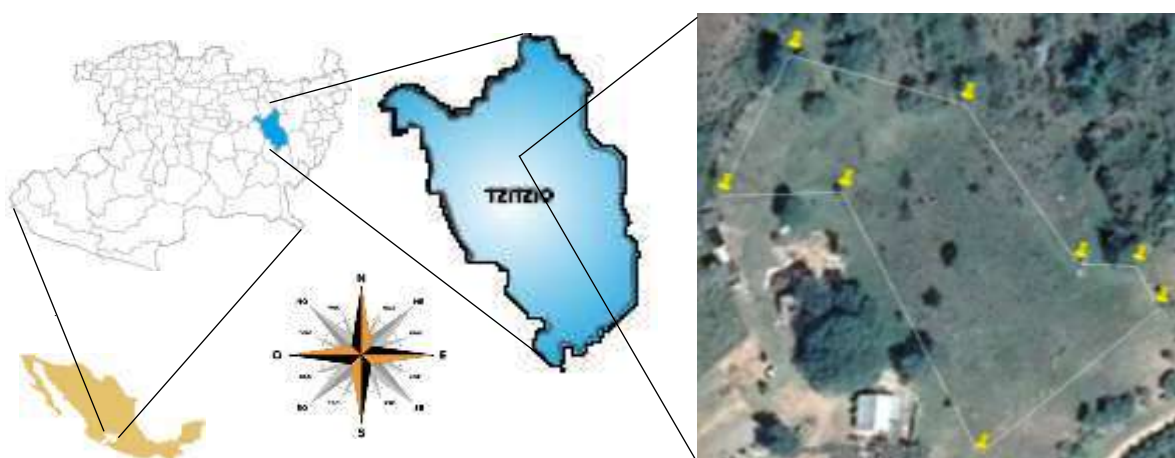


Figura 2.1b. Sitio de plantación de dos ensayos de progenies de 22 y 24 familias de *Agave cupreata* Trel. & Berger, en el municipio de Tzitzio (Sitio 2).

2.6. MATERIALES Y MÉTODOS

2.6.1. Material biológico

Se trasplantaron 1178 plantas de *A. cupreata* para el sitio uno, perteneciente al señor Raúl Cortés (Anexo 1) y 1129 plantas para el sitio dos perteneciente al señor José Guadalupe (Anexo 2), considerando aquellas que cubrían los bordes y de relleno en los bloques; siendo 1720 plantas de *A. cupreata* utilizadas para el estudio (860 por sitio de plantación), extraídas del ensayo de progenies de jardín común ubicado en la localidad de Arroyo Colorado, Municipio de Morelia.

Las plantas fueron trasladadas a campo en el mes de julio de 2018 durante la temporada de lluvias, estableciéndose de manera simultánea en los sitios, reconocidos como hábitats históricamente naturales de la especie en estudio (*A. cupreata*), 1600 y 1680 msnm en los municipios de Charo y Tzitzio respectivamente.

2.7. DISEÑO EXPERIMENTAL

El proyecto consistió de dos sub-ensayos simultáneos y en dos plantaciones distintas.

- ✚ El primer sub-ensayo, consistió de 24 familias distribuidas en 6 bloques completamente al azar con una distancia de 2m x 2m.
- ✚ El segundo sub-ensayo, constó de 22 familias distribuidas en 13 bloques completamente al azar con una distancia de 2m x 2m siendo ausentes en este ensayo las familias 12 y 14.

Los dos ensayos se instalaron simultáneamente en cada una de las plantaciones, con un manejo de agrobiodiversidad, caracterizado por estar libre de agroquímicos y permitiendo el crecimiento de la vegetación nativa, controlando con podas aquellas que cubrían las plantas en cuestión.

2.8. MEDICIONES

Se recolectaron datos en cuatro mediciones:

- ✚ Primera medición: del 12 al 17 de agosto, a un mes de instaladas en las distintas plantaciones,
- ✚ Segunda medición del 17 de noviembre al 03 de diciembre de 2018, después del periodo de lluvias,
- ✚ Tercera medición del 06 al 12 de abril del 2019 antes del periodo de lluvias.
- ✚ Cuarta medición del 31 de agosto al 8 de septiembre del 2019, durante el temporal de lluvias.

Registrando datos de las variables de las plantas: altura, diámetro, largo de hoja (la más cercana al centro y separada del centro de crecimiento,) y ancho de hoja (parte más ancha de la hoja), de cada planta, midiendo de forma directa utilizando un flexómetro registrando de la siguiente manera, cada variable:

- ✚ Altura: de la base de la planta al ras del suelo, hasta la punta de espina central.
- ✚ Diámetro: de la punta de la espina de la hoja, hasta la punta espina de la hoja opuesta.
- ✚ Largo de hoja: con ayuda de un palillo de madera de 25-30 cm introduciéndolo hasta tocar la unión de la hoja al tallo y marcando hasta la punta de la espina de la hoja.
- ✚ Ancho de hoja: se midió de lado a lado de las espinas laterales en la parte más ancha de la hoja.

Se registraron los valores en bitácora de campo para su posterior procesamiento.

2.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

2.9.1. Modelo estadístico

Los datos se analizaron con el paquete estadístico SAS 9.4 (SAS Institute, 1999). Las estadísticas descriptivas se obtuvieron con el procedimiento MEANS. El análisis de varianza entre sitios y dentro de sitios se realizó con el procedimiento GLM, con los datos previamente estandarizados con el procedimiento STANDARD con media cero y varianza uno, utilizado el siguiente modelo estadístico propuesto por Yamada (1962):

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + B(S)_{j(i)} + F_k + SF_{ik} + FB(S)_{kj(i)} + e_{ijkl},$$

donde Y_{ijkl} es el valor de la l -ésima planta de la k -ésima familia establecida en el j -ésimo bloque del i -ésimo sitio; μ es la media general de la población; S_i es el efecto del i -ésimo sitio; $B(S)_{j(i)}$ es el efecto del j -ésimo bloque dentro del i -ésimo sitio; F_k es el efecto de la k -ésima familia; SF_{ik} es el efecto de la interacción entre la k -ésima familia y el i -ésimo sitio; $FB(S)_{kj(i)}$ es el efecto de la interacción entre la k -ésima familia y el j -ésimo bloque ubicado dentro del i -ésimo sitio; e_{ijkl} es el error experimental.

Para realizar los análisis en cada sitio, se eliminó en el modelo el componente sitio (S_i).

2.9.1.1. Heredabilidad

Con el modelo aplicado para cada sitio se obtuvieron los componentes de la varianza con el procedimiento VARCOMP, para estimar la heredabilidad con las fórmulas propuestas por Zobel y Talbert (1988) a nivel individual (h^2_i) y a nivel de medias de familia (h^2_f):

$$h^2_i = 4\sigma^2_f / (\sigma^2_f + \sigma^2_{b*f} + \sigma^2_e)$$

$$h^2_f = \sigma^2_f / [\sigma^2_f + (\sigma^2_{b*f} / b) + (\sigma^2_e / (b*n))]$$

donde: 4 es el coeficiente de determinación genética, σ_f^2 en la varianza de familia, σ_{b*f}^2 , es la varianza de interacción entre el bloque y la familia, σ_e^2 es la varianza del error, b es el número de bloques, n es la media armónica del número de individuos por familia en la parcela.

Se utilizó un coeficiente de determinación genética de 4 porque, al parecer, ésta especie es autoincompatible, por lo que se esperaría que las semillas provenientes de polinización libre dieran origen a familias de medios hermanos por cada planta-madre, así, la varianza de familias representaría $\frac{1}{4}$ de la varianza genética aditiva (σ_A^2) (Falconer y Makay, 2001).

2.10. RESULTADOS

2.10.1. Resultados de análisis de suelo realizados a los dos sitios de plantación

Se muestran resultados de análisis de suelos realizados a las dos plantaciones donde se encuentran instalados los ensayos (Cuadro 2.1 y 2.2).

Cuadro 2.1. Resultados de los análisis al suelo en Charo, donde se instaló la plantación del señor Raúl Cortés.

Parámetro	Unidad	Valor	Interpretación ^{&}
pH (1:25)	UPH	6.51	Moderadamente ácido
Materia Orgánica*	%	6.54	Media
Capacidad de Intercambio Catiónico (CICT)	Cmol(+) Kg ⁻¹	31.81	Alta
Textura	A-L-Ac	58 - 24 - 18	Franco-Arenoso
Densidad Real	g/cm ³	1.90	SI
Densidad Aparente	g/cm ³	0.79	Común en Suelos Volcánicos
Color (Seco)	Símbolo	5 YR 3/2	Dark reddish brown
Color (Húmedo)	Símbolo	7.5 YR 3/2	Dark brown
Porosidad**	%	58.54	Normal en Suelos Franco-Arenosos
Porcentaje de saturación***	%	38.50	Moderadamente baja

[&]Con base en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, a menos de que se especifique otra fuente.

A=%Arenas, L=%lodo, Ac= %Arcilla; *Para suelos de origen volcánico; **Calculados; SI=sin interpretación en la NOM

Nota: Normal= Valores próximos a los reportados para esta textura del suelo. ***Interpretación con base en la clase textural.

Los resultados obtenidos nos indican que en Charo se presenta una textura franco-arenosa del suelo, pero con menor porcentaje de arenas, favorece la porosidad y el almacenamiento de humedad como se refleja en el porcentaje de saturación. Asimismo, el porcentaje medio de materia orgánica y mayor contenido de partículas finas se reflejan con una CIC alta, lo cual combinado con sus propiedades físicas señaladas es considerado un suelo fértil.

Cuadro 2.2. Resultados de los análisis al suelo en Tzitzio, donde se instaló la plantación del señor José Guadalupe.

Parámetro	Unidad	Valor	Interpretación ^{&}
pH (1:25)	UPH	4.85	Fuertemente ácido
Materia Orgánica*	%		Media
		6.19	
Capacidad de Intercambio Catiónico (CICT)	Cmol(+) Kg ⁻¹	12.5	Baja
Textura	A-L-Ac	68 - 14 - 18	Franco-Arenoso
Densidad Real	g/cm ³	1.72	SI
Densidad Aparente	g/cm ³	0.84	Común en Suelos Volcánicos
Color (Seco)	Símbolo	7.5 YR 4/2	Brown
Color (Húmedo)	Símbolo	7.5 YR 4/2	Brown
Porosidad**	%	51.29	Normal en Suelos Franco-Arenosos
Porcentaje de saturación***	%	26.57	Muy Baja

[&]Con base en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, a menos de que se especifique otra fuente.

A=%Arenas, L=%limo, Ac= %Arcilla; *Para suelos de origen volcánico; **Calculados; SI=sin interpretación en la NOM

Nota: Normal= Valores próximos a los reportados para esta textura del suelo. ***Interpretación con base en la clase textural.

Los resultados muestran que, en Tzitzio, la textura refleja un alto porcentaje de arenas, las cuales generalmente son silíceas, de carácter ácido asociado a las abundantes arenas y con posible uso agrícola previamente. El porcentaje de arenas se asocia también al bajo porcentaje de saturación de humedad, lo cual permite un secado rápido del suelo en época seca y problemas para sostener la vegetación. La densidad es baja (≤ 1.0) común para suelos de origen volcánico, con una porosidad normal para suelos de textura franco-arenosa. No obstante, un moderado contenido de materia orgánica su capacidad de intercambio catiónico (CIC) es baja, común de suelos considerados poco fértiles. En general es un suelo con propiedades limitantes para el desarrollo de cultivos agrícolas.

2.10.2. Resultados obtenidos del sub-ensayo uno, con 24 familias en seis bloques, en las cuatro fechas de medición.

Los valores promedio obtenidos en cada variable fueron similares entre los dos sitios de plantación, en los cuatro tiempos de medición, con errores estándar bajos, incluso los coeficientes de variación no fluctuaron mucho entre las variables y fechas

evaluadas en Charo ($20.85 \leq CV \leq 33.13$) y Tzitzio ($24.02 \leq CV \leq 38.84$), observándose ligeramente inferiores en Charo (Cuadro 2.3).

Cuadro 2.3. Estadísticas descriptivas de las variables medidas obtenidas en el sub-ensayo 1 de progenies de 24 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de campo en dos sitios diferentes de Michoacán.

Fecha	Promedio ±Error estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo	Coeficiente de variación	Promedio ±Error estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo	Coeficiente de variación
CHARO					TZITZIO			
ALTURA								
ago-18	11.69±0.19	4.2	23.0	27.78	11.50±0.19	2.4	24.0	27.62
nov-18	13.01±0.23	3.0	28.0	29.00	12.66±0.22	2.5	23.0	29.62
abr-19	16.32±0.28	5.5	31.5	28.32	14.82±0.29	3.8	35.0	32.57
ago-19	19.53±0.35	3.0	38.0	29.16	16.34±0.33	4.0	43.0	32.49
DIAM								
ago-18	17.03±0.26	5.8	31.5	25.93	17.55±0.29	4.0	37.0	27.87
nov-18	23.99±0.37	2.5	41.0	25.29	26.97±0.41	8.0	47.0	25.90
abr-19	17.12±0.35	1.0	40.0	33.13	16.64±0.39	2.5	42.0	38.84
ago-19	31.32±0.47	14.0	57.0	24.11	30.28±0.47	12.0	61.0	25.47
LARGO DE HOJA								
ago-18	11.48±0.17	4.6	23.9	24.87	11.62±0.16	4.8	22.5	24.02
nov-18	13.14±0.18	5.5	26.2	23.24	12.95±0.20	4.0	25.1	26.08
abr-19	13.91±0.19	6.0	25.0	22.16	13.69±0.21	5.2	25.5	25.60
ago-19	17.95±0.26	5.8	31.0	23.04	17.06±0.28	6.5	29.5	26.26
ANCHO DE HOJA								
ago-18	6.27±0.11	2.3	16.4	28.96	6.20±0.10	1.9	10.7	26.02
nov-18	7.12±0.10	3.0	11.3	22.47	6.56±0.10	2.0	11.4	24.62
abr-19	6.71±0.09	3.5	10.8	20.85	6.68±0.10	2.5	15.5	24.83
ago-19	9.30±0.17	3.5	16.0	29.16	8.13±0.15	1.0	14.0	30.44

El análisis de varianza conjunto mostró diferencias significativas entre familias en todas las variables y en todas las fechas evaluadas. A pesar de encontrarse diferencias significativas entre sitios en algunas fechas de medición y variables como la altura, diámetro y ancho de hoja, no se encontró interacción genotipo×ambiente significativa (Sitio*Familia, $P \geq 0.0942$), en ninguna de las variables analizadas, es decir, en general, las familias se comportaron de la misma forma en los dos sitios: las familias con plantas más grandes en Charo, también fueron las familias con plantas más grandes en

Tzitzio. Se presentaron diferencias entre bloques dentro de cada sitio principalmente en la medición de 2019, lo que pudo deberse a la heterogeneidad en el crecimiento de las plantas, sin embargo, sólo en abril-2019 se presentó una interacción bloque por familia significativa ($P=0.0434$), posiblemente relacionada al crecimiento diferenciado de las familias por el estrés, que dependió del bloque en el que estaban ubicadas y las condiciones del micro-sitio (Cuadro 2.4), asociada al distanciamiento entre podas, tipo de vegetación que rodeaba la planta y el manejo dado por el productor de cada sitio.

Cuadro 2.4. Significancias de cuatro variables de crecimiento obtenidas del análisis de varianza conjunto de dos sitios de plantación (Charo y Tzitzio) en Michoacán, en donde se estableció un sub-ensayo 1 de progenies, con 24 familias de medios hermanos de *Agave cupreata*.

Fecha	Sitio	Bloque (Sitio)	Familia	Sitio* Familia	Familia* Bloque (Sitio)
ALTURA					
ago-18	0.4428	0.8362	0.0020	0.6703	0.2745
nov-18	0.4046	0.5858	0.0088	0.3714	0.1776
abr-19	0.0084	0.0075	0.0254	0.2710	0.1314
ago-19	<0.0001	<0.0001	0.0456	0.0942	0.7167
DIÁMETRO					
ago-18	0.1782	0.4128	0.0065	0.4878	0.3320
nov-18	<0.0001	0.4352	0.0003	0.6674	0.1912
abr-19	0.7418	<0.0001	0.0012	0.7531	0.1623
ago-19	0.1925	0.0294	0.0127	0.7040	0.6103
LARGO DE HOJA					
ago-18	0.4873	0.9628	0.0242	0.6187	0.8905
nov-18	0.5085	0.0281	0.0015	0.5971	0.5444
abr-19	0.6476	0.1370	0.0043	0.4400	0.0434
ago-19	0.1676	0.0028	0.0296	0.2029	0.6636
ANCHO DE HOJA					
ago-18	0.5155	0.6527	<0.0001	0.8023	0.9420
nov-18	0.0002	0.0009	<0.0001	0.4996	0.1366
abr-19	0.9631	0.1477	0.0005	0.2719	0.3167
ago-19	0.0005	<0.0001	0.0067	0.1711	0.5873

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre familias ($P \leq 0.05$), para las cuatro variables en casi todas las fechas de medición en los dos sitios, excepto para la altura en Tzitzio en noviembre-2018, posiblemente como una etapa de adaptación al sitio que se presentó de manera diferenciada entre las familias; el diámetro en Tzitzio en agosto-2019, durante la época de lluvias, el crecimiento en diámetro pudo ser muy homogéneo entre las familias; el largo de la hoja en agosto-2018 también fue, al parecer, homogéneo entre las plantas en ambos sitios, quizá

como un reflejo del proceso de adaptación de las plantas a los nuevos sitios de plantación. Sólo en Tzitzio se presentaron diferencias entre los bloques ($P \leq 0.05$) en diferentes momentos del crecimiento en las diferentes variables, posiblemente dadas por las características más heterogéneas del sitio que las condiciones de Charo. Sin embargo, sólo el largo de la hoja, en abril-2019, durante el período de sacas, en Tzitzio, se observó un crecimiento diferenciado de las familias, dependiendo del bloque en el que se encontraban (Bloque*Familia, $P=0.0492$), quizás como una respuesta diferenciada al estrés por las condiciones diferenciadas del micro-sitio; esto debido probablemente al no retirar la hierba, que ocasiona oscuridad y, por lo tanto, el incremento en la elongación de las hojas por falta de luz (Cuadro 2.5).

Cuadro 2.5. Significancias de los análisis de varianza de las variables de crecimiento de plantas del sub-ensayo 1 de progenies, de 24 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de campo en dos sitios diferentes de Michoacán.

Fecha	Bloque	Familia	Bloque* Familia	Bloque	Familia	Bloque* Familia
CHARO			TZITZIO			
ALTURA						
ago-18	0.5175	0.0077	0.4923	0.9075	0.0258	0.1994
nov-18	0.8331	0.0010	0.1393	0.2769	0.0520	0.3975
abr-19	0.1321	0.0047	0.2491	0.0103	0.0362	0.1783
ago-19	0.2098	0.0002	0.7995	<0.0001	0.0403	0.4785
DIÁMETRO						
ago-18	0.2482	0.0241	0.7023	0.5450	0.0079	0.1555
nov-18	0.1182	0.0067	0.0898	0.8768	0.0005	0.4492
abr-19	0.2983	0.0097	0.2971	<0.0001	0.0343	0.1894
ago-19	0.3242	0.0271	0.9472	0.0232	0.2187	0.1172
LARGO DE HOJA						
ago-18	0.6659	0.1638	0.8124	0.9978	0.0507	0.8000
nov-18	0.3096	0.0011	0.5233	0.0213	0.0151	0.5303
abr-19	0.2465	0.0007	0.2422	0.1623	0.0299	0.0492
ago-19	0.6513	0.0013	0.6685	0.0007	0.0328	0.5574
ANCHO DE HOJA						
ago-18	0.2907	<0.0001	0.9574	0.9284	<0.0001	0.6421
nov-18	0.7227	<0.0001	0.2628	<0.0001	<0.0001	0.1787
abr-19	0.2351	<0.0001	0.2956	0.1810	0.0001	0.3915
ago-19	0.7855	0.0003	0.3918	<0.0001	0.0025	0.7872

En el análisis de componentes, el mayor aporte a la varianza total lo dio el error en los dos sitios, las cuatro fechas y las variables medidas ($74.86 \leq \% \sigma^2_{\text{Error}} \leq 98.17$), seguido

por la varianza de familias ($1.83 \leq \% \sigma^2_{\text{Familia}} \leq 21.79$), la varianza de interacción entre bloques y familias ($0.00 \leq \% \sigma^2_{\text{Bloque} \times \text{Familia}} \leq 15.77$), y finalmente la varianza de bloques ($0.00 \leq \% \sigma^2_{\text{Familia}} \leq 13.11$) (Cuadro 2.6).

Cuadro 2.6. Componentes de la varianza en términos porcentuales y heredabilidades de las variables de crecimiento del sub-ensayo 1 de progenies de 24 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de campo en dos sitios diferentes de Michoacán.

Fecha	Bloque	Familia	Bloque*Familia	Error	Bloque	Familia	Bloque*Familia	Error
CHARO					TZITZIO			
ALTURA								
ago-18	0	7.96	0	92.04	0	6.79	5.53	87.68
nov-18	0	11.43	9.03	79.54	0.67	5.02	2.45	91.86
abr-19	0.99	7.92	4.46	86.64	4.32	5.63	8.29	81.76
ago-19	1.02	11.03	0	87.96	10.11	3.91	0	85.98
DIÁMETRO								
ago-18	0.55	5.43	0	94.02	0	8.6	7.75	83.65
nov-18	1.72	8.47	12.17	77.64	0	11.6	0	88.4
abr-19	0.55	6.75	5.19	87.51	11.92	5.91	6.22	75.95
ago-19	0	3.21	0	96.79	4	1.98	12.61	81.41
LARGO DE HOJA								
ago-18	0	1.83	0	98.17	0	4.1	0	95.9
nov-18	0	10.36	0	89.64	3.22	7.13	0.47	89.18
abr-19	0.7	10.87	4.25	84.18	1.29	8.08	15.77	74.86
ago-19	0	10	0	90	7.11	4.67	0	88.22
ANCHO DE HOJA								
ago-18	0.07	15.51	0	84.42	0	14.27	0	85.73
nov-18	0	21.79	3.14	75.07	7.91	20.39	5.59	66.11
abr-19	0.43	17.88	1.13	80.55	0.65	16.69	2.25	80.41
ago-19	0	13.06	2.08	84.86	13.11	7.44	0	79.45

De manera general, las plantas del ensayo en las diferentes fechas muestran un mayor tamaño en Charo para la variable altura, mientras que para diámetro, largo y ancho de hoja los valores son mayores en Tzitzio (Figura 2.2); donde se encuentran diferencias significativas ($p < 0.05$) entre fechas y entre sitios de plantación solamente para las variables: diámetro y largo de hoja en la fecha dos; altura en la fecha tres; altura y ancho de hoja en la fecha cuatro.

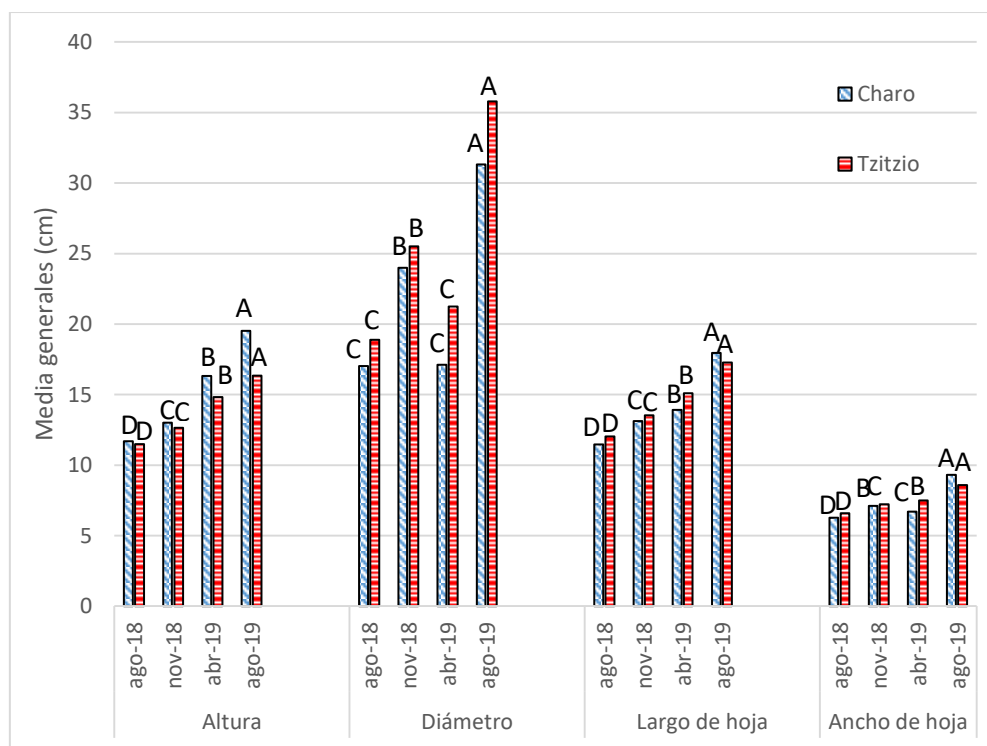


Figura 2.2 Medias generales para las variables de 24 familias de *A. cupreata* en un sub-ensayo de progenies en los municipios de Charo (azul) y Tzitzio (rojo), durante cuatro fechas de medición.

El arreglo jerárquico de los valores promedio por familia resalta las mejores 8 familias en Altura, los cuales se continúan en las variables Diámetro, Largo de hoja y Ancho de hoja (Anexos 3, 4, 5 y 6). Se observa a la familia 4 como la más estable en todas las variables y en ambos sitios de medición. Hay familias que se mantienen estables sólo en algunas variables, como la familia 11 en Altura y Diámetro, y la familia 2 en Ancho de hoja y en Largo de hoja excepto en la medición de agosto-2019, en esta variable, en donde sale del grupo de las mejores y baja a la posición número 10. Otra familia que se mantiene más o menos estable en casi todas las variables es la familia 13, sin embargo, esta siempre mantuvo dentro del grupo de las familias con mala respuesta.

2.10.3. Valores de heredabilidad obtenidos de las cuatro variables en el sub-ensayo uno, en 6 bloques con 24 familias, en cuatro fechas de medición.

Las heredabilidades a nivel de medias de familias fueron de relativamente bajas a altas ($0.18 \leq h^2_f \leq 0.75$); las heredabilidades a nivel individual fueron de bajas a altas ($0.07 \leq h^2_i \leq 0.89$). Las altas heredabilidades obtenidas a nivel individual, pueden ser un reflejo del coeficiente de determinación genética, aunado a la nula aportación de la varianza de interacción Bloque*Familia y la baja aportación a la varianza fenotípica de la varianza de Familias en la fórmula. Los menores valores de h^2 se observaron en la altura durante el período de secas en Charo (abril-2019), y en diámetro durante el período de lluvias en Tzitzio (agosto-2019); y los mayores valores de h^2 se encontraron en Ancho de hoja en la época de lluvia (agosto-2019) en Charo, y después de las lluvias (noviembre-2018) en Tzitzio, este último debido a los retrasos en las podar, hecho que se relaciona con lo mencionado anteriormente que Tzitzio mostraba las hojas más largas (Figuras 2.3, 2.4 2.5 y 2.6).

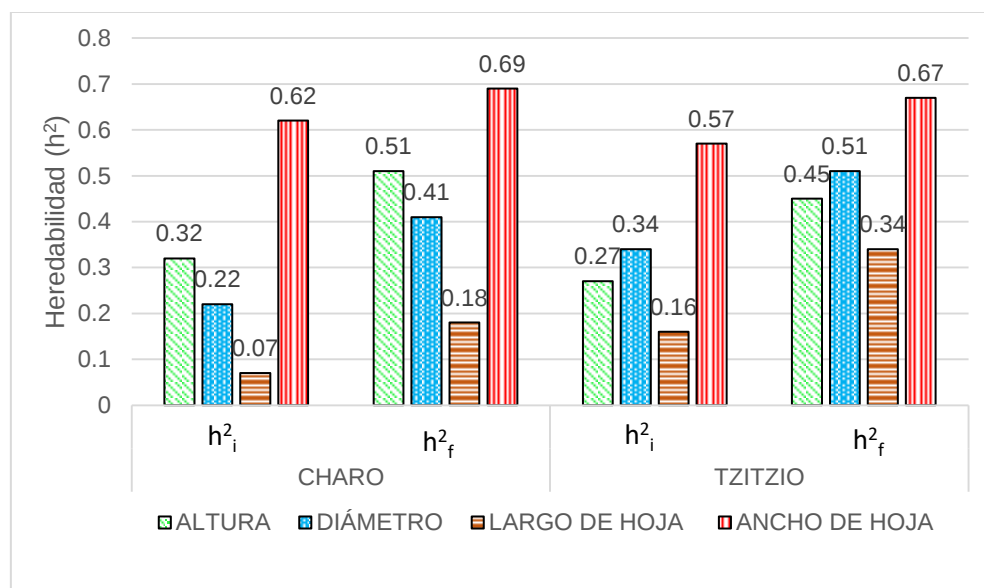


Figura 2.3. Heredabilidades obtenidas en dos ensayos de progenies de 24 familias de *Agave cupreata* Trel. & Berger en los municipios de Charo y Tzitzio durante el periodo de lluvias en el mes de agosto del 2018.

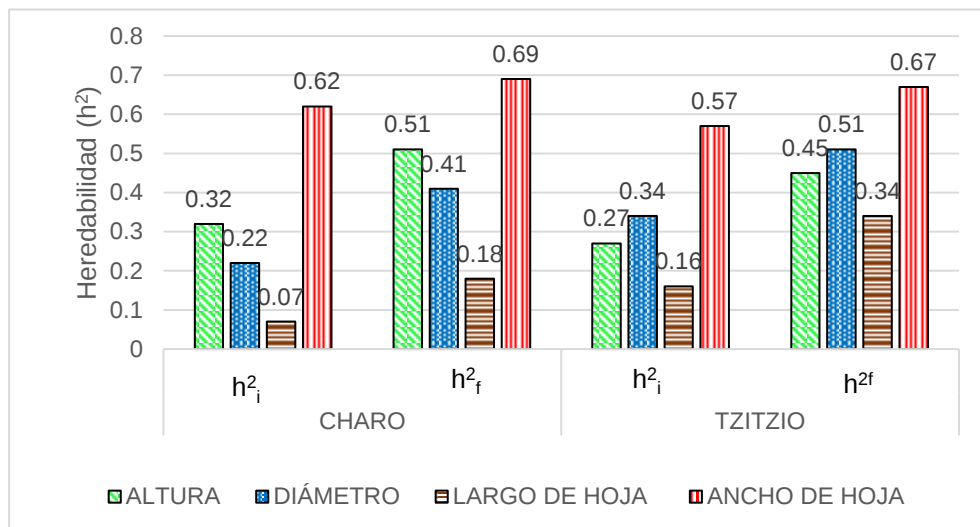


Figura 2.4. Heredabilidades obtenidas en dos ensayos de progenies de 24 familias de *Agave cupreata* Trel. & Berger en los municipios de Charo y Tzitzio posterior al periodo de lluvias en el mes de noviembre del 2018.

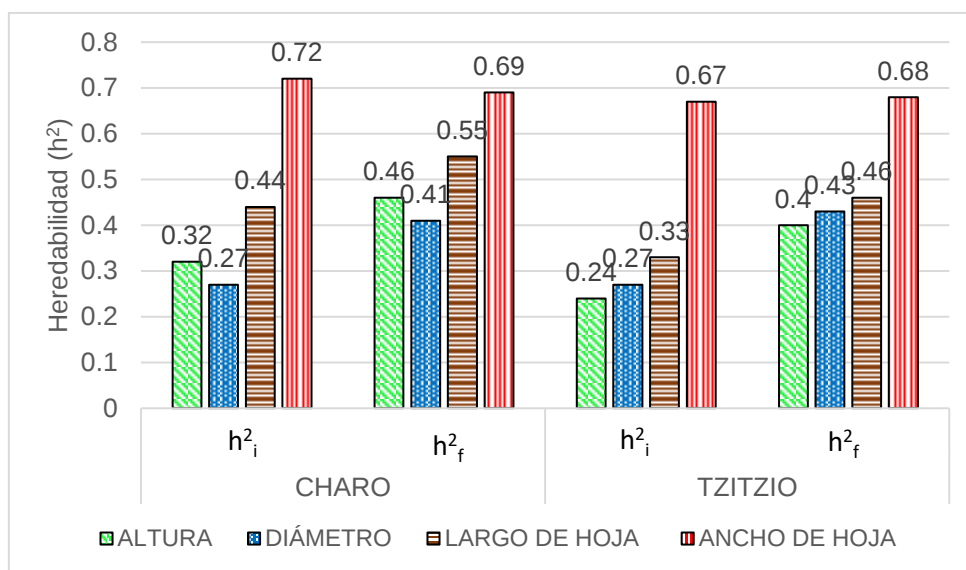


Figura 2.5. Heredabilidades obtenidas en dos ensayos de progenies de 24 familias de *Agave cupreata* Trel. & Berger en los municipios de Charo y Tzitzio; previo al periodo de lluvias en el mes de abril del 2019.

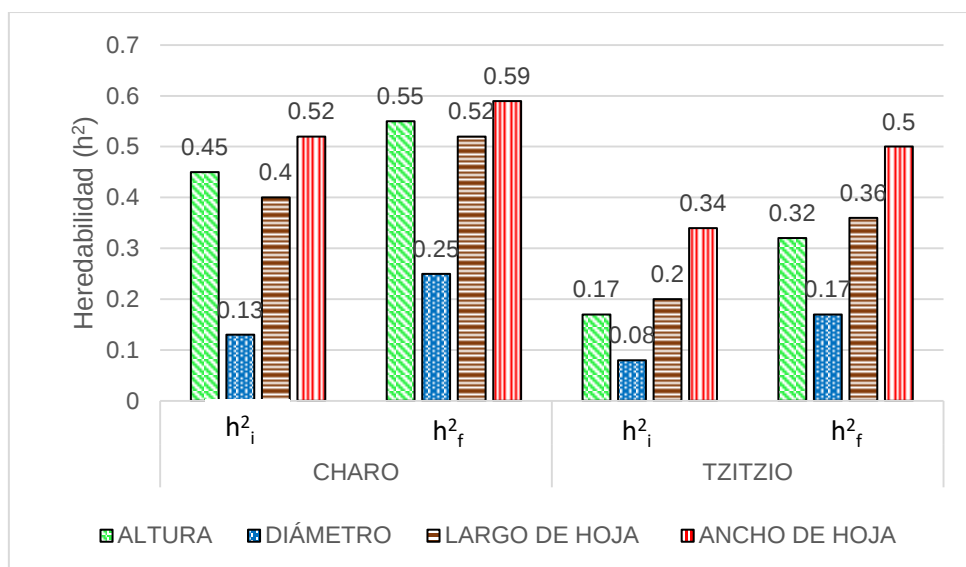


Figura 2.6. Heredabilidades obtenidas en dos ensayos de progenies de 24 familias de *Agave cupreata* Trel. & Berger en los municipios de Charo y Tzitzio; durante el periodo de lluvias en el mes de agosto del 2019.

2.10.4. Resultados obtenidos de las variables en el sub-ensayo dos, en 13 bloques con 22 familias, en cuatro fechas de medición.

Los valores promedio obtenidos en cada variable fueron similares ($6.59 \leq \bar{x}_{\text{Charo}} \leq 35.78$; $6.11 \leq \bar{x}_{\text{Tzitzio}} \leq 27.32$) entre los dos sitios de plantación, en las cuatro fechas de medición, con errores estándar bajos (Error estándar ≤ 0.41), incluso los coeficientes de variación no fluctuaron mucho entre las variables y fechas evaluadas en Charo ($20.95 \leq CV \leq 30.97$) y Tzitzio ($22.47 \leq CV \leq 41.79$), observándose ligeramente inferiores en Charo (Cuadro 2.7).

Cuadro 2.7. Estadísticas descriptivas de las variables medidas obtenidas en un ensayo de progenies de 22 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de campo en dos sitios diferentes de Michoacán.

Fecha	Promedio ±Error estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo	Coefficiente de variación	Promedio ±Error estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo	Coefficiente de variación
CHARO				TZITZIO				
ALTURA								
ago-18	12.14±0.12	2.9	21.0	24.21	10.81±0.13	2.7	21.0	29.49
nov-18	14.45±0.16	5.0	28.0	26.65	12.39±0.16	2.0	30.0	30.77
abr-19	19.04±0.22	5.5	33.5	27.14	13.14±0.19	2.0	29.0	33.49
ago-19	21.36±0.24	5.0	37.5	25.90	14.79±0.24	2.0	31.0	34.03
DIAM								
ago-18	18.88±0.20	0.8	33.0	25.01	16.01±0.20	1.0	33.0	29.24
nov-18	25.50±0.27	5.0	44.0	25.02	24.87±0.28	5.0	46.5	26.73
abr-19	21.26±0.28	4.0	41.0	30.97	13.58±0.25	1.0	31.0	41.79
ago-19	35.78±0.41	8.0	66.0	26.36	27.32±0.34	6.0	49.0	26.62
LARGO DE HOJA								
ago-18	12.03±0.11	3.1	19.7	20.95	11.22±0.11	4.2	20.0	22.47
nov-18	13.52±0.13	4.3	25.0	23.09	12.45±0.13	3.0	25.5	25.34
abr-19	15.11±0.15	7.0	28.0	23.47	12.96±0.15	3.0	24.5	25.09
ago-19	17.28±0.18	5.0	28.0	24.33	14.99±0.21	4.0	37.5	29.40
ANCHO DE HOJA								
ago-18	6.59±0.08	1.8	17.5	28.26	6.11±0.07	1.9	17.5	28.74
nov-18	7.21±0.07	3.0	14.0	23.56	6.34±0.07	2.0	12.0	25.82
abr-19	7.49±0.08	2.5	21.0	24.96	6.35±0.07	2.5	12.5	25.60
ago-19	8.57±0.11	2.0	16.4	29.29	7.11±0.10	2.0	14.0	29.04

El análisis de varianza conjunto de los dos sitios mostró diferencias significativas ($P \leq 0.0027$) entre familias en todas las variables y en todas las fechas evaluadas. A pesar de encontrarse diferencias significativas ($P \leq 0.0005$) entre sitios en casi todas las fechas de medición y variables, sólo se encontró interacción genotipo×ambiente significativa (Sitio×Familia, $P \geq 0.0319$) en el ancho de hoja, en las fechas agosto-2018 y noviembre-2018, es decir, en general, las familias se comportaron de la misma forma en los dos sitios: las familias con plantas más grandes en Charo, también fueron las familias con plantas más grandes en Tzitzio. Se presentaron diferencias ($P \leq 0.0047$) entre bloques en casi todas las variables y fechas, lo que pudo deberse a la heterogeneidad en el crecimiento de las plantas, sin embargo, sólo en diámetro y en ancho de hoja, en agosto-2019 se presentó una interacción Familia×Bloque(Sitio) significativa ($P \leq 0.0318$; $P \leq 0.0234$), posiblemente relacionada al crecimiento diferenciado de las familias por el inicio de la época de lluvias, que además dependió del bloque en el que estaban ubicadas y las características del micro-sitio (Cuadro 2.8).

Cuadro 2.8. Significancias de cuatro variables de crecimiento obtenidas del análisis de varianza conjunto de dos sitios de plantación (Charo y Tzitzio) en Michoacán, en donde se estableció un ensayo de progenies con 22 familias de medios hermanos de *Agave cupreata*.

Fecha	Sitio	Bloque (Sitio)	Familia	Sitio* Familia	Familia* Bloque (Sitio)
ALTURA					
ago-18	<0.0001	0.0029	<0.0001	0.8027	0.3074
nov-18	<0.0001	<0.0001	0.0003	0.1450	0.3460
abr-19	<0.0001	<0.0001	0.0006	0.1121	0.2076
ago-19	<0.0001	0.0002	0.0007	0.4066	0.0687
DIÁMETRO					
ago-18	<0.0001	0.0047	0.0003	0.0887	0.4766
nov-18	0.2108	0.0003	0.0001	0.1040	0.4480
abr-19	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.7520	0.7006
ago-19	<0.0001	<0.0001	0.0027	0.1191	0.0318
LARGO DE HOJA					
ago-18	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.8860	0.1591
nov-18	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.3079	0.3864
abr-19	<0.0001	0.0017	<0.0001	0.7429	0.2127
ago-19	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.6509	0.0234
ANCHO DE HOJA					
ago-18	0.0005	0.0014	<0.0001	0.0448	0.8130
nov-18	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0319	0.0931
abr-19	<0.0001	0.1087	<0.0001	0.0956	0.6918
ago-19	<0.0001	<0.0001	0.0003	0.0575	0.1963

El análisis de varianza para cada sitio mostró diferencias significativas entre familias ($P \leq 0.05$), para las cuatro variables en casi todas las fechas de medición en los dos sitios, excepto para la altura en Tzitzio en agosto-2019 ($P \leq 0.0577$), posiblemente como un reflejo de la etapa en la que las familias aún están en las etapas iniciales de desarrollo y no se han definido claramente aún, las que serán las plantas más grandes o a la diferencia de respuesta al estrés inicial o del trasplante entre familias. En la mayoría de las variables evaluadas se obtuvieron diferencias entre bloques en el análisis, posiblemente dadas porque el arreglo reflejó más las características heterogéneas de los sitios; sin embargo, sólo en diámetro en agosto-2019 y en largo de hoja en abril-2019, en Charo, se observó un crecimiento diferenciado de las familias, dependiendo del bloque en el que se encontraban (Bloque*Familia, $P \leq 0.0062$ y $P \leq 0.0243$ respectivamente) (Cuadro 2.9), quizás como una respuesta diferenciada del crecimiento durante la etapa de lluvia (agosto-2019), como al estrés (abril-2019).

Cuadro 2.9. Significancias de los análisis de varianza de las variables de crecimiento de un ensayo de progenies de 22 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de campo en dos sitios diferentes de Michoacán.

Fecha	Bloque	Familia	Bloque* Familia	Bloque	Familia	Bloque* Familia
CHARO			TZITZIO			
ALTURA						
ago-18	0.0673	<0.0001	0.1254	0.0077	0.0002	0.6134
nov-18	0.0107	<0.0001	0.2050	<0.0001	0.0011	0.5805
abr-19	<0.0001	<0.0001	0.0575	0.0002	0.0157	0.7162
ago-19	0.0019	<0.0001	0.0664	0.0180	<u>0.0577</u>	0.2705
DIAM						
ago-18	0.0063	<0.0001	0.5680	0.0972	0.0006	0.4080
nov-18	0.0054	<0.0001	0.4976	0.0071	<0.0001	0.4240
abr-19	<0.0001	<0.0001	0.4850	0.0303	0.0010	0.7750
ago-19	0.0165	<0.0001	<u>0.0062</u>	0.0002	0.0104	0.5093
LARGO DE HOJA						
ago-18	0.0026	<0.0001	0.0744	0.0009	<0.0001	0.5143
nov-18	<0.0001	<0.0001	0.4978	<0.0001	<0.0001	0.3481
abr-19	0.0183	<0.0001	<u>0.0243</u>	0.0154	<0.0001	0.8377
ago-19	0.0012	<0.0001	0.1079	<0.0001	0.0495	0.0849
ANCHO DE HOJA						
ago-18	0.0074	<0.0001	0.6300	0.0291	<0.0001	0.8199
nov-18	<0.0001	<0.0001	0.4066	0.0001	<0.0001	0.0630
abr-19	0.0382	<0.0001	0.7413	0.5596	<0.0001	0.4937
ago-19	<0.0001	<0.0001	0.3449	0.0007	0.0469	0.1351

En el análisis de componentes, el mayor aporte a la varianza total lo dio el error en los dos sitios, las cuatro fechas y las variables medidas ($62.77 \leq \% \sigma^2_{\text{Error}} \leq 92.13$), seguido por la varianza de familias ($3.71 \leq \% \sigma^2_{\text{Familia}} \leq 31.45$), la varianza de interacción entre bloques y familias presentó valores más extremos ($0.00 \leq \% \sigma^2_{\text{Bloque} \times \text{Familia}} \leq 13.83$), que la varianza de bloques ($0.00 \leq \% \sigma^2_{\text{Familia}} \leq 8.62$) (Cuadro 2.10).

Cuadro 2.10. Componentes de la varianza en términos porcentuales y heredabilidades de las variables de crecimiento de un ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de campo en dos sitios diferentes de Michoacán.

Fecha	Bloque	Familia	Bloque*Familia	Error	Bloque	Familia	Bloque*Familia	Error
CHARO				TZITZIO				

ALTURA								
ago-18	1.5	10.41	6.16	81.94	2.67	5.64	0	91.69
nov-18	3.13	15.86	5.05	75.97	6.26	4.37	0	89.37
abr-19	7.39	14.72	8.8	69.09	4.99	3.95	0	91.07
ago-19	4.81	12.15	8.25	74.8	3.27	4.06	4.46	88.21
DIÁMETRO								
ago-18	2.5	16.42	0	81.09	1.25	5.3	1.31	<u>92.13</u>
nov-18	3.43	17.71	0.1	78.76	2.82	6.37	0	90.8
abr-19	7.59	11.7	0.54	80.17	2.45	5.75	0	91.79
ago-19	3.09	12.41	<u>13.83</u>	70.67	6.58	3.71	0	89.71
LARGO DE HOJA								
ago-18	3.5	10.2	7.67	78.63	3.64	11.32	0	85.03
nov-18	5.14	18.65	0.45	75.76	5.43	6.68	0.26	87.63
abr-19	2.55	17.63	10.2	69.62	2.91	10.43	0	86.67
ago-19	4.63	13.85	7.35	74.17	7.47	4.27	11.63	76.64
ANCHO DE HOJA								
ago-18	2.21	25.62	0	72.17	1.59	14.78	0	83.63
nov-18	4.77	<u>31.45</u>	1.02	<u>62.77</u>	4.8	11.62	7.2	76.38
abr-19	1.6	27.71	0	70.69	0	11.03	0	88.97
ago-19	<u>8.62</u>	21.09	2.37	67.92	6.83	4.54	7.34	81.29

De manera general, las plantas del ensayo en las diferentes fechas muestran un mayor tamaño en Charo para las variables y menores en Tzitzio (Figura 2.7); donde se encuentran diferencias significativas ($P < 0.05$) entre fechas.

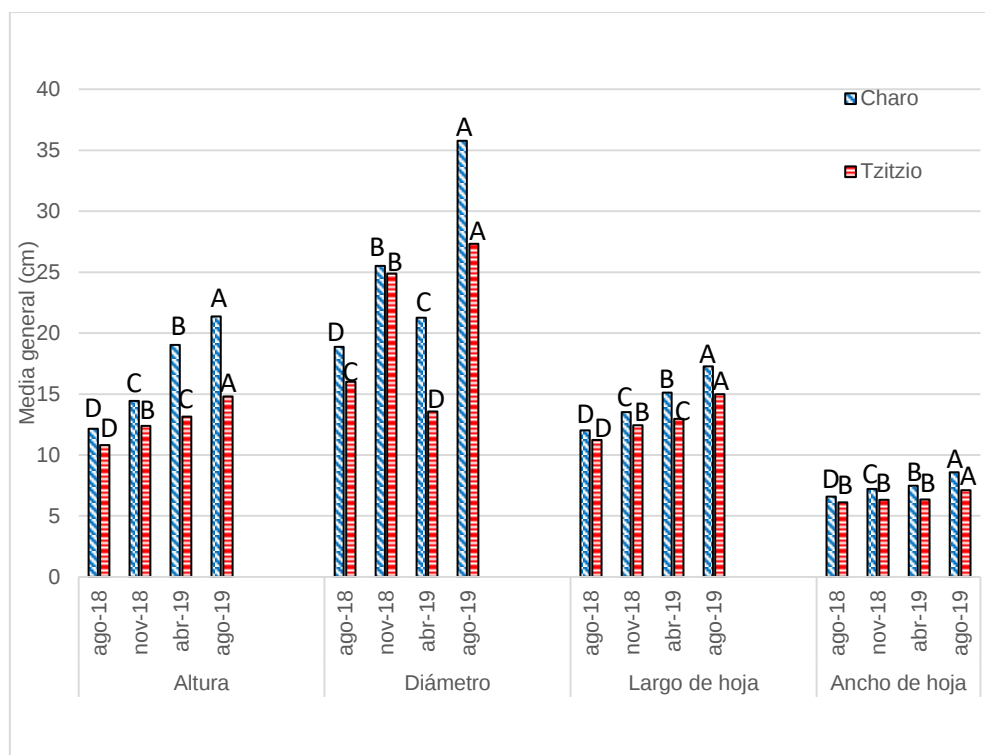


Figura 2.7. Medias generales para las variables de 22 familias de *Agave cupreata* en dos ensayos de progenies en los municipios de Charo (azul) y Tzitzio (rojo), en cuatro fechas de medición.

El arreglo jerárquico de los valores promedio por familia resalta las mejores 8 familias en Altura (Anexos 7, 8, 9 y 10), los cuales se continúan en las variables Diámetro, Largo de hoja y Ancho de hoja. Se observa a la familia 4 como la más estable en todas las variables y en ambos sitios de medición. Hay familias que se mantienen estables en casi todas las variables, en ambos sitios, como la familia 23. Hay familias como la 11 que se mantienen estables en el sitio Charo, pero no en el sitio Tzitzio, excepto en la variable Ancho de hoja. Una de las familias más inestables es la 20, alcanza la posición 3 en Diámetro, en Charo y llega hasta la posición 17 en Altura en Charo en abril-2019. Otra familia que se mantiene más o menos estable en casi todas las variables en ambos sitios, es la familia 10, sin embargo, esta siempre se mantuvo dentro del grupo de las familias con menor crecimiento.

2.10.5. Valores de heredabilidad obtenidos durante cuatro fechas de medición en el ensayo dos.

Las heredabilidades a nivel de medias de familias fueron altas ($0.44 \leq h^2_f \leq 0.92$); las heredabilidades a nivel individual fueron de relativamente bajas a altas ($0.16 \leq h^2_i \leq 1.00$). Si bien las altas heredabilidades obtenidas a nivel individual, sobre todo aquellas mayores al máximo teórico aceptable presentes en la variable ancho de hoja, pueden deberse a la presencia de un efecto materno, además de que presentaron la influencia del coeficiente de determinación genética, aunado a la casi nula aportación de la varianza de interacción Bloque*Familia y a la baja aportación a la varianza fenotípica de la varianza de Familias en la fórmula (Figuras 2.8, 2.9, 2.10, 2.11).

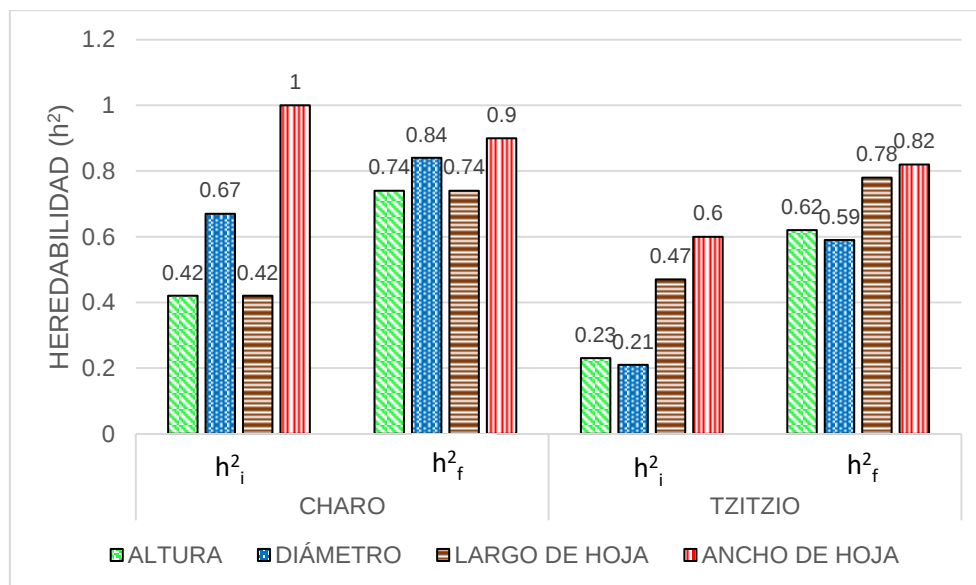


Figura 2.8. Heredabilidades obtenidas en dos ensayos de progenies de 22 familias de *Agave cupreata* en los municipios de Charo y Tzitzio; durante el periodo de lluvias en el mes de agosto del 2018.

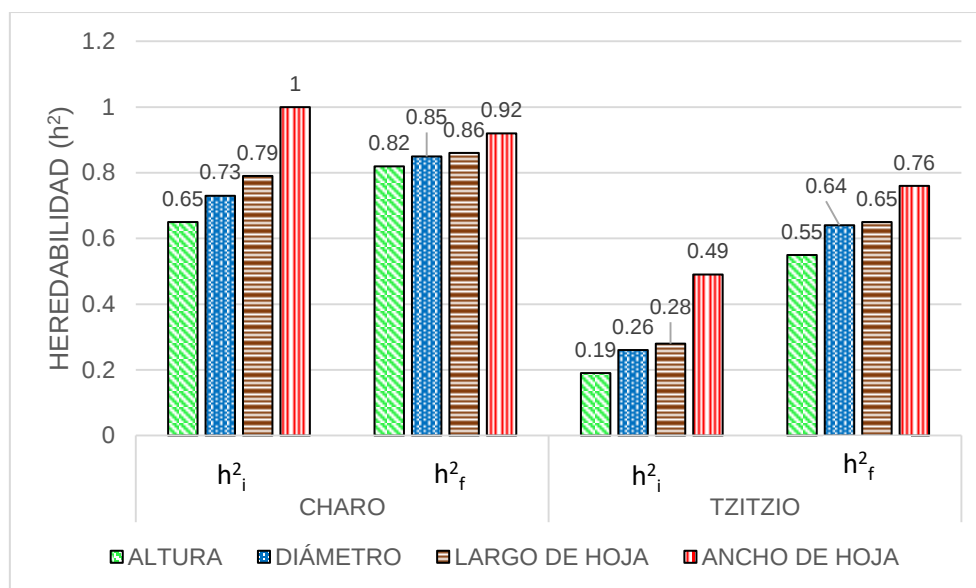


Figura 2.9. Heredabilidades obtenidas en dos ensayos de progenies de 22 familias de *Agave cupreata* en los municipios de Charo y Tzitzio; posterior al periodo de lluvias en el mes de noviembre del 2018.

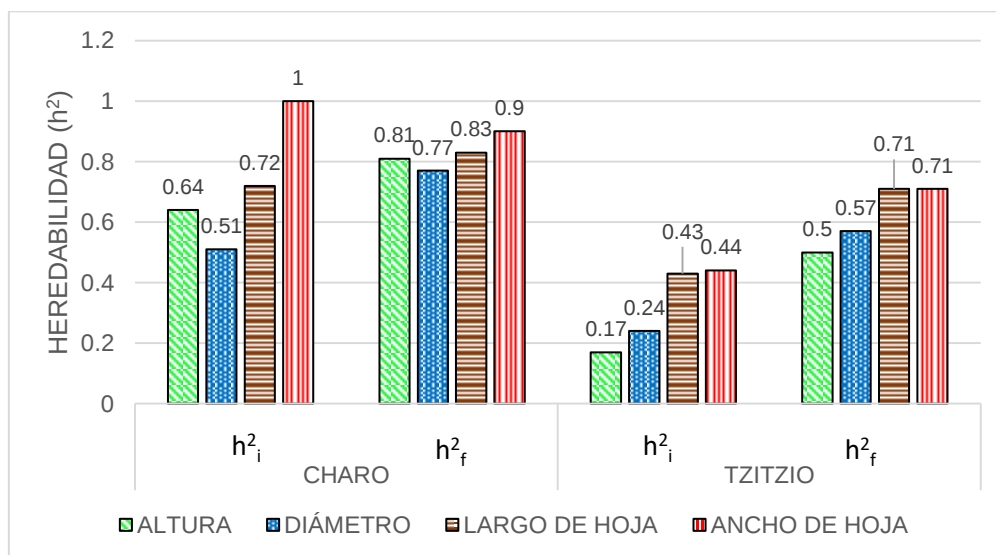


Figura 2.10. Heredabilidades obtenidas en dos ensayos de progenies de 22 familias de *Agave cupreata* en los municipios de Charo y Tzitzio; previo al periodo de lluvias en el mes de abril del 2019.

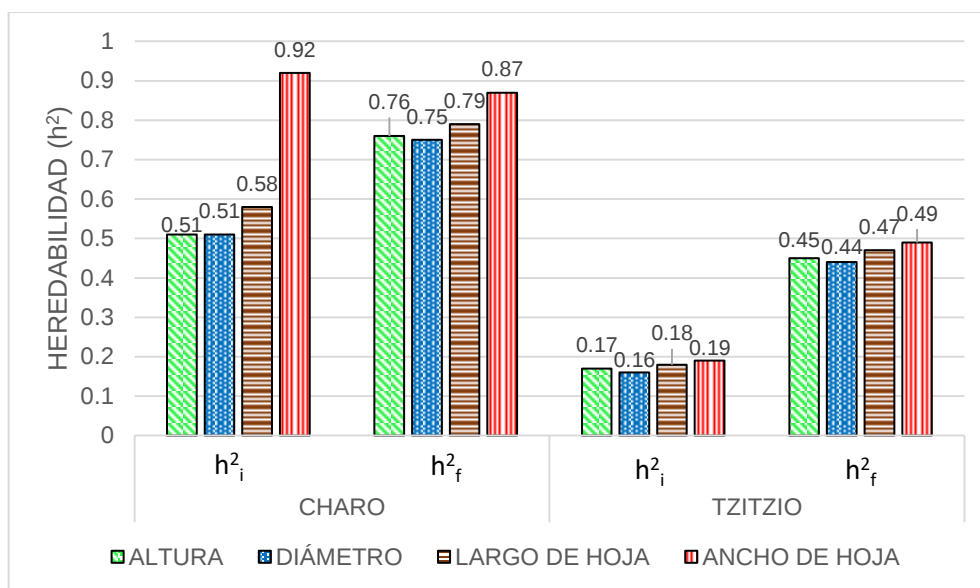


Figura 2.11. Heredabilidades obtenidas en dos ensayos de progenies de 22 familias de *Agave cupreata* en los municipios de Charo y Tzitzio; durante el periodo de lluvias en el mes de agosto del 2019.

2.10.6. Resultados obtenidos del Incremento de las variables en el sub-ensayo uno, en seis bloques, con 24 familias durante cuatro periodos de evaluación.

Los valores promedios de cada variable variaron entre periodo de medición y sitio de plantación, con error estándar en los cuatro periodos de incremento bajos, mientras que los coeficientes de variación fluctuaron en valores en Charo ($31.48 \leq CV \leq 183$) y Tzitzio ($46.48 \leq CV \leq 657.95$), valores considerablemente elevados, siendo más altos en Tzitzio que en Charo (Cuadro 2.11).

Cuadro 2.11. Estadísticas descriptivas del incremento de las variables medidas, obtenidas en el sub-ensayo 1 de progenies de 24 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de campo en dos sitios diferentes de Michoacán.

Periodo	Promedio ±Error estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo	Coeficiente de variación	Promedio ±Error estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo	Coeficiente de variación
CHARO				TZITZIO				
ALTURA								
ago-nov 18	2.3±0.1	-6.7	13.2	103.08	1.56±0.11	-7.4	16	166.14
nov 18-abr 19	9.16±0.18	-7	23.2	46.17	3.56±0.2	-10.5	21	116.32
abr -ago 19	2.25±0.14	-10.5	18.5	146.89	1.13±0.2	-13.8	20.5	370.81
ago 18-ago 19	3.15±0.24	-17	19	122.05	1.21±0.2	-9	18.5	269.53
DIÁMETRO								
ago-nov 18	6.65±0.16	-10.5	17.6	58.24	8.83±0.22	-13.5	33	58.28
nov 18-abr 19	16.83±0.31	-14	38.2	42.55	10.63±0.20	-11	43	55.96
abr -ago 19	14.42±0.29	-16	33	45.95	13.46±0.3	-7	38	46.48
ago 18-ago 19	14.2±0.28	2	28	31.48	13.48±0.35	-2.8	31	55.96
LARGO DE HOJA								
ago-nov 18	1.52±0.08	-7.7	9.2	121.6	1.21±0.1	-8.6	16	201.42
nov 18-abr 19	5.26±0.14	-6.7	14.2	61	3.37±0.18	-9.5	22.7	110.94
abr -ago 19	2.21±0.12	-8	14.6	123.6	2.03±0.16	-8	21	167.18
ago 18-ago 19	4.03±0.0.16	-6.5	16.9	61.76	3.37±0.22	-8	20.2	107.25
ANCHO DE HOJA								
ago-nov 18	64±0.05	-9	3.7	178.9	0.26±0.07	-8.7	23.3	657.59
nov 18-abr 19	1.98±0.09	-10.5	7.4	104.2	0.72±0.09	-8.8	6	255.02
abr -ago 19	1.1±0.09	-10	7.2	183.52	0.72±0.08	-5.5	5.5	237.1
ago 18-ago 19	2.61±0.13	-2.5	10	81.35	0.41±0.13	-10.5	6.7	143.68

El análisis de varianza conjunto mostró diferencias significativas entre sitios en todas la variables en los cuatro periodos excepto, en la variable altura durante el periodo agosto-noviembre 2018 ($P \leq 0.4063$), en largo de hoja en los periodos noviembre 2018-abril 2019 ($P \leq 0.3276$) y largo de hoja en el periodo abril-agosto 2019 ($P \leq 0.0754$), sin registrar interacción genotipo x ambiente (sitio*familia) en ningún periodo; es decir las familias tuvieron un comportamiento similar entre sitios de tal manera, que las familias que incrementaron su crecimiento en un sitio fueron las mismas que lo incrementaron en el otro, sin registrar diferencias significativas entre familias ($P \geq 0.05$) en los periodos; se presentaron diferencias significativas entre bloques (sitios), excepto en las variables altura ($P \leq 0.0596$) durante el periodo agosto-noviembre 2018 y diámetro ($P \leq 0.0992$) del mismo periodo, debido muy posiblemente a las condiciones heterogéneas de cada sitio; se encuentran diferencias significativas entre bloque*familia, en el periodo agosto-noviembre 2018 en la variable diámetro ($P \leq 0.0140$) y en el periodo noviembre 2018-abril 2019 en ancho de hoja ($P \leq 0.0141$) relacionado al micro ambiente de cada bloque, ya que dependiendo de la ubicación pudieron tener mayor alcance de

nutrientes y disponibilidad de agua durante el periodo lo que se traduciría en incremento (Cuadro 2.12).

Cuadro 2.12 Significancias del Incremento de las cuatro variables medidas, obtenidas del análisis de varianza conjunto de dos sitios de plantación (Charo y Tzitzio) en Michoacán, en donde se estableció un sub-ensayo 1 de progenies, con 24 familias de medios hermanos de *Agave cupreata*.

Fecha	Sitio	Bloque (Sitio)	Familia	Sitio* Familia	Familia* Bloque (Sitio)
ALTURA					
ago-nov 18	<u>0.4053</u>	<u>0.0596</u>	0.4114	0.1790	0.2450
nov 18-abr 19	0.0014	0.0047	0.4013	0.2218	0.3910
abr -ago 19	<.0001	0.0051	0.6739	0.6941	0.4682
ago 18-ago 19	<.0001	<.0001	0.3344	0.2724	0.5463
DIÁMETRO					
ago-nov 18	<.0001	<u>0.0992</u>	<u>0.0020</u>	0.8884	<u>0.0140</u>
nov 18-abr 19	<.0001	<.0001	0.8503	0.5272	0.3044
abr -ago 19	0.0389	0.0493	0.4426	0.8890	0.0610
ago 18-ago 19	0.0002	0.0179	<u>0.0476</u>	0.8525	0.0855
LARGO DE HOJA					
ago-nov 18	0.0252	<.0001	0.0197	0.8339	0.0592
nov 18-abr 19	<u>0.3276</u>	0.0009	0.3800	0.5140	0.4554
abr -ago 19	<u>0.0754</u>	<.0001	0.6732	0.5826	0.9880
ago 18-ago 19	0.0046	<.0001	0.2480	0.2910	0.7305
ANCHO DE HOJA					
ago-nov 18	<.0001	<.0001	0.2891	0.7089	0.0943
nov 18-abr 19	0.0002	0.0137	0.4096	0.5543	<u>0.0141</u>
abr -ago 19	<.0001	<.0001	0.3343	0.3303	0.9069
ago 18-ago 19	<.0001	<.0001	0.3371	0.5693	0.4733

El análisis de varianza de cada sitio mostró diferencias significativas entre bloques de las plantaciones, en Charo, se encontró en los periodos: en el periodo agosto-noviembre 2018 en diámetro ($P \leq 0.0362$), en largo de hoja ($P \leq 0.0314$), ancho de hoja ($P \leq 0.0439$) y en agosto-noviembre 2018 (periodo anual) en la variable altura ($P \leq 0.0329$) respuesta posiblemente asociada, al temporal de lluvias y a la disponibilidad de recursos en los bloques; donde se encontró interacción bloque*familia en el periodo

agosto-noviembre 2018 en diámetro ($P \leq 0.0143$) como respuesta de las familias al micro-sitio, por la cobertura de vegetación durante el periodo lluvioso, que al cubrir las hojas de agave, éstas tienden a expandirse (como efecto de la auxina en las hojas, que ocasiona que las células incrementen su tamaño, ocasionando mayor longitud o diámetro de las hojas) y en el periodo noviembre 2018-abril 2019 en ancho de hoja ($P \leq 0.0140$), en respuesta al paso de un periodo benéfico a uno estresante o seco y las hojas tienden a contraerse, aunque siguen surgiendo nuevas, estas son de menor talla que las originadas durante los periodos de lluvias; a falta de agua, las hojas más maduras, particularmente las de mayor edad y que están más en contacto con el suelo, son las que proporcionan el agua a la planta, siendo las primeras en morir. En Tzitzio, se encuentran diferencias significativas entre bloques de casi todas las variables, en los cuatro periodos de Incremento, excepto en el periodo agosto-noviembre 2018 en diámetro ($P \leq 0.5843$), posiblemente asociado al micro-ambiente generado en cada bloque durante las lluvias, además de la vegetación acompañante en el sitio que se desarrolló, durante este periodo, siendo éste periodo y en éste sitio donde se encontraron diferencias significativas entre familias en diámetro ($P = 0.0327$), además de encontrarse interacción bloque*familia en los periodos abril-agosto 2019 y agosto 2018- 2019 en diámetro ($P \leq 0.0365$ y $P \leq 0.0327$ respectivamente), en el periodo abril-agosto 2019 se refleja la respuesta de las familias en los bloques al pasar de la sequía al periodo de lluvias y dependiendo de las condiciones originadas en los bloques; mientras que en el periodo agosto 2018-2019, se muestra como una respuesta diferenciada de las familias al periodo lluvioso al año de ser evaluadas (Cuadro 2.13).

Cuadro 2.13. Significancias de los análisis de varianza del Incremento de las cuatro variables medidas en plantas del sub-ensayo 1 de progenies, de 24 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de campo en dos sitios diferentes de Michoacán.

Fecha	Bloque	Familia	Bloque*Familia	Bloque	Familia	Bloque*Familia
CHARO			TZITZIO			
ALTURA						
ago-nov 18	0.3634	0.1352	0.2092	0.0227	0.1732	0.4710
nov 18-abr 19	0.0881	0.2828	0.5144	0.0094	0.1295	0.3323
abr -ago 19	0.0713	0.7405	0.6368	0.0081	0.6795	0.3013
ago 18-ago 19	<u>0.0329</u>	0.0661	0.5255	<0.0001	0.388	0.5515
DIÁMETRO						
ago-nov 18	<u>0.0362</u>	0.2295	<u>0.0143</u>	<u>0.5845</u>	<u>0.0327</u>	0.1651
nov 18-abr 19	0.6853	0.8719	0.6249	<0.0001	0.6288	0.1850
abr -ago 19	0.8004	0.6947	0.4431	0.0266	0.9131	<u>0.0365</u>
ago 18-ago 19	0.1874	0.31147	0.4712	0.0204	0.5252	<u>0.0327</u>
LARGO DE HOJA						
ago-nov 18	<u>0.0314</u>	0.1492	0.0736	<0.0001	0.4292	0.2585
nov 18-abr 19	0.4602	0.8019	0.0956	0.0007	0.2632	0.7145
abr -ago 19	0.7774	0.4117	0.9551	<0.0001	0.8041	0.9252
ago 18-ago 19	0.1751	0.0911	0.6772	<0.0001	0.264	0.6560
ANCHO DE HOJA						
ago-nov 18	<u>0.0439</u>	0.6788	0.2491	<0.0001	0.3667	0.0948
nov 18-abr 19	<u>0.5506</u>	0.7495	<u>0.0104</u>	0.0031	0.2564	0.1881
abr -ago 19	0.5554	0.1029	0.5988	<0.0001	0.5589	0.9566
ago 18-ago 19	0.5144	0.5807	0.3197	<0.0001	0.3904	0.7383

El aporte de la variación a la varianza total, fue realizado en mayor porcentaje por la varianza del error ($76.35 \leq \% \sigma^2_{\text{Error}} \leq 100$) siendo muy cercanos los valores entre sitios, en segundo lugar la aportación fue realizada por el bloque ($0 \leq \% \sigma^2_{\text{Bloque}} \leq 19.93$), seguido de la interacción bloque por familia ($0 \leq \% \sigma^2_{\text{Bloque*familia}} \leq 17.52$) y siendo la varianza de familia quien aportó la menor variación al análisis ($0 \leq \% \sigma^2_{\text{Familia}} \leq 6.58$) (Cuadro 2.14).

Cuadro 2.14. Componentes de la varianza en términos porcentuales y heredabilidades de las variables de crecimiento de un ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de campo en dos sitios diferentes de Michoacán.

Fecha	Bloque	Familia	Bloque*F amilia	Error	Bloque	Familia	Bloque*F amilia	Error
CHARO				TZITZIO				
ALTURA								
ago-nov 18	1.12	3.49	6.23	89.16	3.34	2.6	1.08	92.98
nov 18-abr 19	2.18	1.31	1.40	95.11	4.37	1.59	0	94.04
abr -ago 19	3.16	0	0.66	96.18	4.42	0	0.58	95
ago 18- 19	4.61	3.63	0	91.76	15.36	0	0	84.64
DIÁMETRO								
ago-nov 18	3.96	2.17	17.51	<u>76.35</u>	0	<u>6.58</u>	1.09	92.33
nov 18-abr 19	0	0	0	<u>100</u>	11.9	0	1.31	86.78
abr -ago 19	0	0	1.5	98.5	3.78	0	10	86.22
ago 18- 19	0.58	0	0	99.42	4.95	0	<u>17.52</u>	77.53
LARGO DE HOJA								
ago-nov 18	3.19	3.03	11.69	82.09	13.8	0.14	6.21	79.85
nov 18-abr 19	0.07	0	14.75	85.18	6.72	1.54	0	91.74
abr -ago 19	0	0	0	100	10.6	0	0	89.4
ago 18- 19	0.91	3.05	0	96.04	10.75	1.1	0	88.15
ANCHO DE HOJA								
ago-nov 18	3.67	0	3.84	92.49	19.84	0	2.31	77.85
nov 18-abr 19	0	0	13.28	86.72	6.37	2.21	11.48	79.95
abr -ago 19	0	3.04	0	96.96	13.93	0	0	86.07
ago 18- 19	0.31	0	0	99.69	19.93	0.5	0	79.57

La jerarquía de familias (Anexos 11, 12, 13 y 14) muestran las familias que se destacan como las mejores en crecimiento de las variables entre plantaciones, mostrando que las familias presentaron comportamientos fluctuantes entre periodos analizados en las dos plantaciones, siendo las familias 4, 1, 10, 20, 14, 11, 2 y 8 en ese orden las que se identificaron con los mejores promedios en altura en Charo durante el primer periodo de evaluación (agosto-noviembre 2019), de las cuales se mantuvieron las familias 11 en las posiciones 6, 7, 3 y 5 durante los cuatro periodos, y en Tiztizio las familias 20 y 11 en tres de los cuatro periodos, en las primer posiciones de altura (posición 1 y 3); en diámetro en Charo, se encuentran las familias 1 y 4 , en Tzitzio destacaron las familias 1 y 11; en largo de hoja de Charo se identificó la familia 4, mientras que en Tzitzio fueron las familias 4, 11; en diámetro de Charo se identifican las familias 3 y 21 en tres de cuatro periodos evaluados en los primeros sitios.

2.10.6.1. Valores de heredabilidad en sentido estricto de Incremento de variables, obtenidos en el ensayo uno, en seis bloques con 24 familias durante cuatro periodos.

Las heredabilidades a nivel de medias de familia durante los cuatro periodos de Incremento, tuvieron valores de nulos a elevados en heredabilidad a nivel de individuo ($0 \leq h^2_i \leq 0.15$) y a nivel de familia ($0 \leq h^2_f \leq 0.55$), variando entre plantaciones y fechas, encontrándose los valores más bajos en heredabilidad a nivel de individuo en Tzitzio durante el periodo abril-agosto 2019, donde solo en registran valores de heredabilidad en la variable ancho de hoja, debido a la nula aportación de varianza de familia a la formula durante el periodo; siendo, los valores más elevados de heredabilidad a nivel de familia en el sitio de Charo, en la variable altura, en el periodo agosto-noviembre 2018 y agosto 2018-2019 (Figuras 2.12, 2.13, 2.14 y 2.15).

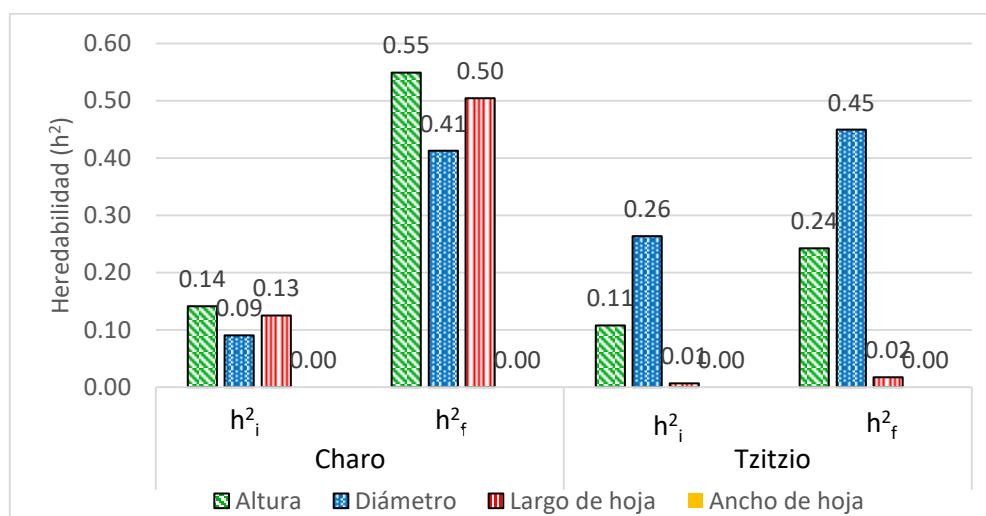


Figura 2.12. Heredabilidades obtenidas en el Incremento de las variables de dos ensayos de progenies de 24 familias de *Agave cupreata* Trel. & Berger, en los municipios de Charo y Tzitzio durante el periodo agosto-noviembre 2018.

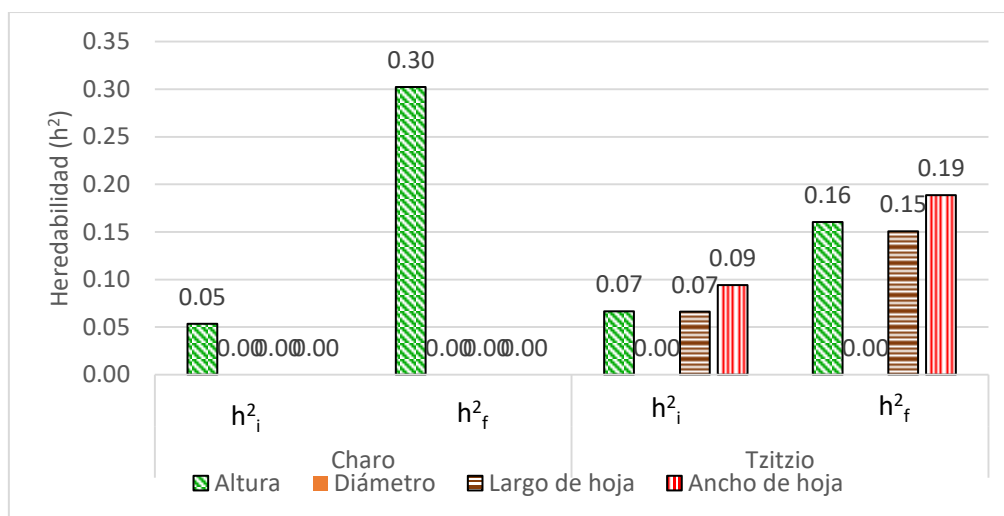


Figura 2.13. Heredabilidades obtenidas en el Incremento de las variables de dos ensayos de progenies de 24 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* Trel. & Berger en los municipios de Charo y Tzitzio, en el periodo noviembre 2018-abril 2019.

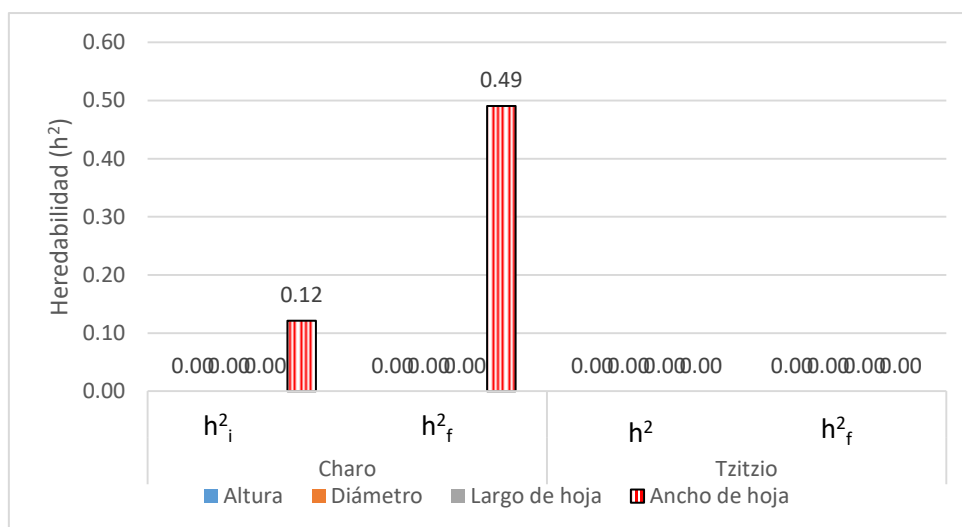


Figura 2.14. Heredabilidades obtenidas en el crecimiento de las variables de dos ensayos de progenies de 24 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* Trel. & Berger en los municipios de Charo y Tzitzio, en el periodo abril-agosto 2019.

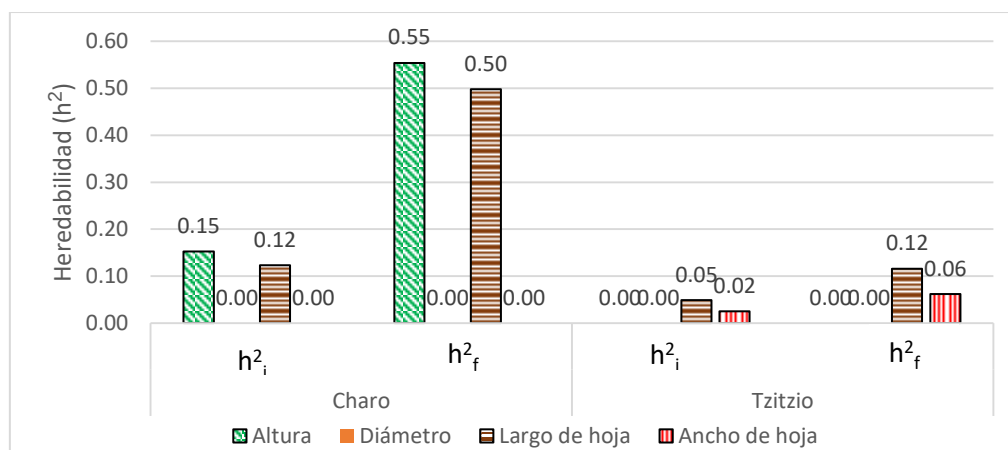


Figura 2.15. Heredabilidades obtenidas en el crecimiento de las variables de dos ensayos de progenies de 24 familias de *Agave cupreata* Trel. & Berger, en los municipios de Charo y Tzitzio, al año de ser instaladas.

2.10.7. Resultados obtenidos del Incremento de las variables en el ensayo dos, de 13 bloques, con 22 familias, durante cuatro periodos de evaluación.

Los valores promedio de cada variable fueron muy parecidos entre sitios de plantación en los cuatro periodos de Incremento con errores estándar bajos y CV altos que fluctuaron entre las variables de Charo ($42.55 \leq CV \leq 183.52$) y Tzitzio ($46.48 \leq CV \leq 657.59$), siendo más elevados en Tzitzio que en Charo (Cuadro 2.15).

Cuadro 2.15. Estadísticas descriptivas de Incremento de las variables, obtenidas en un ensayo de progenies de 22 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de campo en dos sitios diferentes de Michoacán.

Periodo	Promedio ±Error estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo	Coficiente de variación	Promedio ±Error estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo	Coficient e de variación
CHARO				TZITZIO				

ALTURA								
ago-nov 18	2.3±0.1	-6.7	13.2	103.08	1.56±0.11	-7.4	16	166.14
nov 18-abr 19	9.16±0.18	-7	23.2	46.17	3.56±0.2	-10.5	21	116.32
abr -ago 19	2.25±0.14	-10.5	18.5	146.89	1.13±0.2	-13.8	20.5	370.81
ago 18-ago 19	9.16±0.18	-7	23.2	46.17	3.56±0.2	-10.5	21	116.32
DIÁMETRO								
ago-nov 18	6.65±0.16	-10.5	17.6	58.24	8.83±0.22	-13.5	33	58.28
nov 18-abr 19	16.83±0.31	-14	38.2	42.55	10.63±0.28	-11	43	55.96
abr -ago 19	14.42±0.29	-16	33	45.95	13.46±0.3	-7	38	46.48
ago 18-ago 19	16.83±0.31	-14	38.2	42.55	10.63±0.28	-11	43	55.96
LARGO DE HOJA								
ago-nov 18	1.52±0.08	-7.7	9.2	121.6	1.21±0.1	-8.6	16	201.42
nov 18-abr 19	5.26±0.14	-6.7	14.2	61	3.37±0.18	-9.5	22.7	110.94
abr -ago 19	2.21±0.12	-8	14.6	123.6	2.03±0.16	-8	21	167.18
ago 18-ago 19	5.26±0.14	-6.7	14.2	61	3.37±0.18	-9.5	22.7	110.94
ANCHO DE HOJA								
ago-nov 18	0.64±0.05	-9	3.7	178.9	0.26±0.07	-8.7	23.3	657.59
nov 18-abr 19	1.98±0.09	-10.5	7.4	104.2	0.72±0.09	-8.8	6	255.02
abr -ago 19	1.1±0.09	-10	7.2	183.52	0.72±0.08	-5.5	5.5	237.1
ago 18-ago 19	1.98±0.09	-10.5	7.4	104.2	0.72±0.09	-8.8	6	255.02

El análisis de varianza conjunto mostró diferencias significativas entre sitios de plantación ($P \leq 0.05$) excepto en los periodos de abril-agosto 2019 en diámetro ($P \leq 0.582$) y largo de hoja ($P \leq 0.1528$) y en agosto-noviembre 2018 en largo de hoja ($P \leq 0.1261$), con interacción genotipo x ambiente (sitio*familia) en agosto-noviembre 2018 en altura ($P \leq 0.0011$), diámetro ($P \leq 0.0213$) y largo de hoja ($P \leq 0.0411$), es decir las familias se comportaron de igual manera entre sitios durante este periodo de evaluación. Se presentaron diferencias ($P \leq 0.0001$) entre bloques en todas las variables y fechas, con interacción Familia*Bloque (Sitio) en las variables durante los

periodos abril-agosto 2019 y agosto-noviembre 2018 ($P \leq 0.0001$; $P \leq 0.0347$)), posiblemente relacionada al Incremento diferenciado de las familias por las condiciones ambientales generadas por la época de lluvia dependiendo de los bloques de plantación donde se encontraban ubicadas las plantas (Cuadro 2.16).

Cuadro 2.16. Significancias de Incremento de cuatro variables obtenidas del análisis de varianza conjunto de dos sitios de plantación (Charo y Tzitzio) en Michoacán, en donde se estableció un ensayo de progenies con 22 familias de medios hermanos de *Agave cupreata*.

Fecha	Sitio	Bloque (Sitio)	Familia	Sitio* Familia	Familia* Bloque (Sitio)
ALTURA					
ago-nov 18	0.0048	<.0001	0.6362	<u>0.0011</u>	0.2344
nov 18-abr 19	<.0001	<.0001	0.1489	0.7350	0.6571
abr -ago 19	0.0006	<.0001	0.6481	0.3045	<u>0.0298</u>
ago 18-ago 19	<.0001	<.0001	0.1109	0.0854	0.2223
DIÁMETRO					
ago-nov 18	<.0001	<.0001	0.1879	<u>0.0213</u>	<u>0.0347</u>
nov 18-abr 19	<.0001	<.0001	0.0919	0.5774	0.0698
abr -ago 19	<u>0.0562</u>	<.0001	0.1181	0.3568	0.0611
ago 18-ago 19	<.0001	<.0001	0.0473	0.1251	0.1101
LARGO DE HOJA					
ago-nov 18	<u>0.1261</u>	<.0001	0.4471	<u>0.0411</u>	<u>0.0031</u>
nov 18-abr 19	<.0001	0.0044	0.0167	0.9483	0.2217
abr -ago 19	<u>0.1528</u>	<.0001	0.0519	0.4718	0.1662
ago 18-ago 19	<.0001	<.0001	0.0545	0.2900	0.1021
ANCHO DE HOJA					
ago-nov 18	0.0126	0.0003	0.6806	0.0754	<u><.0001</u>
nov 18-abr 19	0.0017	0.0057	0.2768	0.4110	<u><.0001</u>
abr -ago 19	0.0019	<.0001	0.6913	0.3121	0.075
ago 18-ago 19	<.0001	<.0001	0.5871	0.2226	0.402

El análisis de varianza para cada sitio mostró diferencias significativas entre familias en Charo, en la variables, altura, diámetro y largo de hoja entre los cuatro periodos de incremento ($P \leq 0.001 \leq 0.0488$) siendo en el periodo anual (agosto 2018-2019) donde se encontraron diferencias significativas en las tres variables, esto debido, las respuesta de diferenciación de las familias como una respuesta genética; mientras que en Tzitzio solo se encontraron diferencias significativas entre familias en agosto-noviembre 2018 en altura ($P \leq 0.0170$) como un reflejo de las familias frente al estrés adaptativo en el sitio y en agosto 2018-2019 en diámetro ($P \leq 0.0145$) como respuesta genética de diferenciación de las familias, al año de ser evaluadas. De manera general

se encontraron diferencias significativas entre bloques de cada sitio y solo en el sitio de Tzitzio se encontró interacción Bloque x Familia, atribuidas a las condiciones heterogéneas dadas por el arreglo de los bloques en el ensayo, en altura (Bloque*Familia, $P \leq 0.0170$) durante el periodo lluvioso y en diámetro ($P \leq 0.0145$) por la respuesta diferenciada de las familias a las condiciones del micro-sitio (Cuadro 2.17).

Cuadro 2.17. Significancias de los análisis de varianza de Incremento de las variables de crecimiento de un ensayo de progenies de 22 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de campo en dos sitios diferentes de Michoacán.

Fecha	Bloque	Familia	Bloque*Familia	Bloque	Familia	Bloque*Familia
CHARO			TZITZIO			

ALTURA						
ago-nov 18	0.0002	<u>0.0006</u>	0.2142	<0.0001	<u>0.0170</u>	0.3739
nov 18-abr 19	<0.0001	<u>0.0097</u>	0.5741	0.0013	0.9811	0.6657
abr -ago 19	<0.0001	0.3410	0.3948	0.0130	0.5386	0.0576
ago 18-ago 19	<0.0001	<u><0.0001</u>	0.3027	0.0046	0.2092	0.3197
DIÁMETRO						
ago-nov 18	0.0009	<u><0.0001</u>	0.1456	0.0016	0.0769	0.0700
nov 18-abr 19	<0.0001	0.0728	0.0912	0.0003	0.3479	0.3056
abr -ago 19	<0.0001	0.0281	0.0602	<0.0001	0.2294	0.2424
ago 18-ago 19	0.0013	0.0003	0.0115	<0.0001	<u>0.0145</u>	0.7969
LARGO DE HOJA						
ago-nov 18	0.0002	<u><0.0001</u>	0.5122	<0.0001	0.5553	<u>0.0010</u>
nov 18-abr 19	0.0004	0.1602	0.5046	0.2020	0.7016	0.3208
abr -ago 19	<0.0001	<u>0.0488</u>	0.5887	0.0020	0.1088	0.2636
ago 18-ago 19	<0.0001	0.0013	0.2327	<0.0001	0.1162	0.2371
ANCHO DE HOJA						
ago-nov 18	0.0911	0.7559	0.3005	0.0027	0.0689	<u><0.0001</u>
nov 18-abr 19	0.0016	0.4340	0.6061	0.0953	0.3154	<u><0.0001</u>
abr -ago 19	<0.0001	0.3687	0.0763	0.0818	0.4088	0.1916
ago 18-ago 19	<0.0001	0.1341	0.3095	0.0001	0.3605	0.5344

En el análisis de componentes, el mayor aporte a la varianza total lo dio el error en los dos sitios, las cuatro fechas y las variables medidas ($75.95 \leq \% \sigma^2_{\text{Error}} \leq 96.96$), seguida de la varianza de bloques ($1.29 \leq \% \sigma^2_{\text{Bloque}} \leq 16.69$) y la varianza de interacción entre bloques y familias ($0.00 \leq \% \sigma^2_{\text{Bloque*Familia}} \leq 13.36$) y por último la varianza de familias

($0 \leq \% \sigma^2_{\text{Familia}} \leq 7.34$), que presentaron valores extremos y diferencias entre sitios, excepto en la varianza del error (Cuadro 2.18).

Cuadro 2.18. Componentes de la varianza en términos porcentuales y heredabilidades de Incremento de las variables de un ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de campo en dos sitios diferentes de Michoacán.

Fecha	Bloque	Familia	Bloque*Familia	Error	Bloque	Familia	Bloque*Familia	Error
CHARO				TZITZIO				
ALTURA								
ago-nov 18	10.2	7.34	1.72	80.73	4.24	1.5	5	89.26
nov 18-abr 19	9.25	3.27	0.15	87.33	3.04	0	0	96.96
abr -ago 19	6.14	0	1.25	92.61	4.09	0.18	8.31	87.42
ago 18- 19	10.2	7.34	1.72	80.73	4.24	1.5	5	89.26
DIÁMETRO								
ago-nov 18	4.74	6.03	13.29	75.95	7.5	2.64	0	89.85
nov 18-abr 19	6.21	1.67	8.55	83.57	7.59	0.32	1.29	90.81
abr -ago 19	7.61	2.82	9.7	79.87	11.65	1.1	0	87.25
ago 18- 19	4.74	6.03	13.29	75.95	7.5	2.64	0	89.85
LARGO DE HOJA								
ago-nov 18	11.27	5.28	3.83	79.61	12.91	2.47	7.21	77.42
nov 18-abr 19	5.41	1.6	0	92.99	1.84	0	0	98.16
abr -ago 19	16.79	2.14	0	81.07	4.75	2.41	2.25	90.6
ago 18- 19	11.27	5.28	3.83	79.61	12.91	2.47	7.21	77.42
ANCHO DE HOJA								
ago-nov 18	16.17	1.89	2.65	79.29	7.18	0.7	1.08	91.04
nov 18-abr 19	4.12	0.06	1.45	94.37	1.19	0	13.36	85.45
abr -ago 19	12.93	0.65	8.88	77.53	4.75	0.89	1.47	92.89
ago 18- 19	16.17	1.89	2.65	79.29	7.18	0.7	1.08	91.04

La jerarquía de familias (Anexos 15, 16, 17 Y 18), muestran las familias que se destacaron como las mejores en crecimiento de las variables entre plantaciones, registrando que las familias presentaron comportamientos fluctuantes entre periodos analizados en las dos plantaciones, de tal manera que en el periodo de Incremento agosto-noviembre 2018 las familias sobresalientes en altura en Charo fueron las familias 4, 11, 16, 22, 24, 23, 21 y 1, de las cuales se mantuvieron las familias 1, 11 y 24 en al menos tres de los cuatro periodos de Incremento y en el sitio de Tzitzio fueron las familias 24, 4 y 21, que se mantuvieron en al menos tres de los periodos evaluados; en diámetro, se mantuvieron las familias: 4, 22, 21 y 11 en Charo, y las familias 21 y 24 en Tzitzio; para la variable largo de hoja, las familias 11, 4, 21 y 24

en Charo y la familia 21 en el sitio de Tzitzio; y en ancho de hoja, las familias 4, 22, 11 y 24 en Charo y la familia 4 en Tzitzio. En Charo se observó mayor estabilidad de familias entre los periodos y las variables, asociado a las condiciones del sitio y al manejo proporcionado por el productor, contrario al sitio de Tzitzio donde se encontraron los promedios más bajos debido al estrés al que fueron sometidas debido al manejo y a las condiciones que brindó el sitio a las familias, durante el periodo agosto-noviembre 2018 pasaron por un periodo con exceso de agua y, además, la cobertura vegetal impidió que las plantas se prepararan para el periodo de sequía, durante el periodo noviembre 2018-abril 2019, donde las plantas pasaron por un periodo de sequía muy estresante.

2.10.7.1. Valores de heredabilidad del Incremento de las variables, obtenidos sub- ensayo dos, de trece bloques con 22 familias, durante cuatro periodos.

Durante los cuatro periodos de crecimiento, en el ensayo dos se presentan valores de heredabilidades a nivel de medias de familia en las variables, con valores de heredabilidad nivel de individuo (h^2_i) y de familia (h^2_f), de nulas a elevadas ($0 \leq h^2_i \leq 0.37$; $0 \leq h^2_f \leq 0.78$), entre variables y periodos de Incremento, esto debido a la baja o nula aportación de varianza de familia a la fórmula; los valores mayores de heredabilidad a nivel de individuo se encontraron en el periodo agosto-noviembre 2018 en la variable diámetro en Charo, al igual que los valores de heredabilidad a nivel de familia en las variables diámetro y largo de hoja. Esto debido a la adaptación de las plantas al sitio de plantación, mientras que los valores más bajos se encontraron en heredabilidad a nivel de individuo se encontraron en el periodo noviembre 2018-abril 2019, en Tzitzio al igual que los valores más bajos de heredabilidad a nivel de familia debido a que durante este periodo las plantas pasaron de un periodo de abundancia a un periodo seco y en lugar de incrementar tallas, las plantas se esforzaron por sobrevivir, es decir, las plantas entraron en un periodo de reposo aparente, esto aunado a las propiedades físicas del suelo y el manejo aportado por el productor en las podas ya que pudo

realizarlas a destiempo; siendo en el periodo agosto-noviembre 2018 y agosto 2018-2019, donde se presentaron los valores más altos (Figura 2.16, 2.17, 2.18 y 2.19)

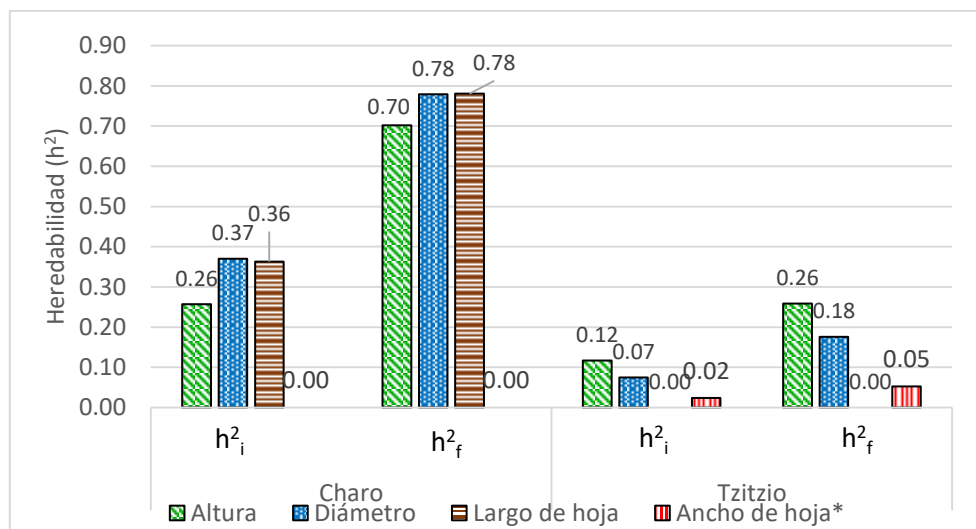


Figura 2.16. Heredabilidades obtenidas en el Incremento de las variables un sub-ensayo de 22 familias de *Agave cupreata* Trel. & Berger, en los municipios de Charo y Tzitzio, durante el periodo agosto-noviembre 2018.

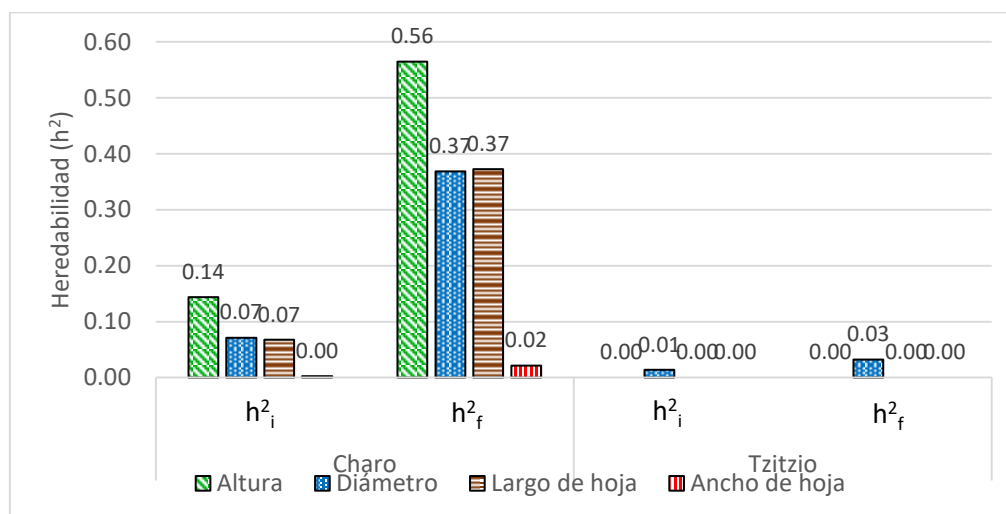


Figura 2.17. Heredabilidades obtenidas en el Incremento de las variables, de un sub-ensayo 22 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* Trel. & Berger en los municipios de Charo y Tzitzio durante el periodo noviembre 2018-abril 2019.

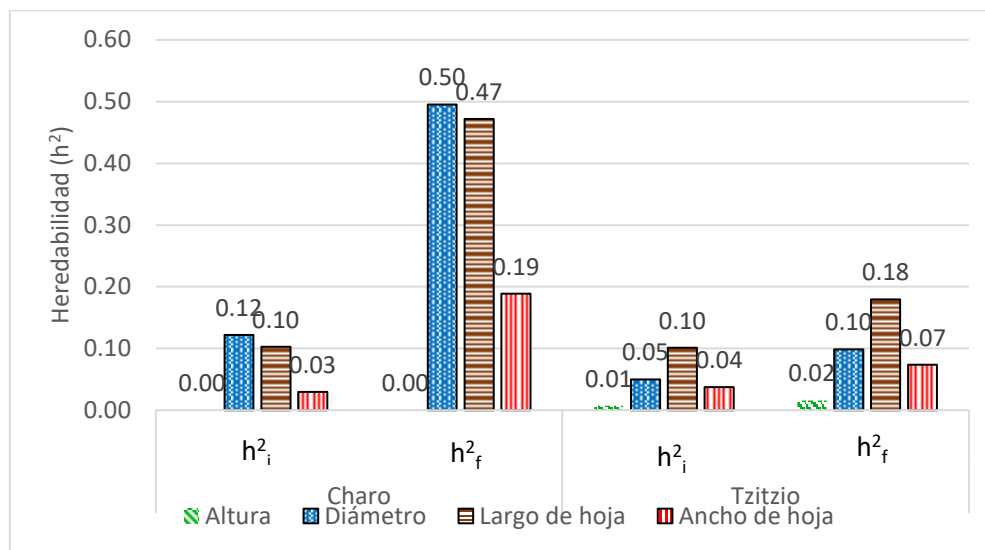


Figura 2.18. Heredabilidades obtenidas en el Incremento de las variables de un sub ensayo de 22 familias de *Agave cupreata* Trel. & Berger, en los municipios de Charo y Tzitzio, durante el periodo abril-agosto 2019.

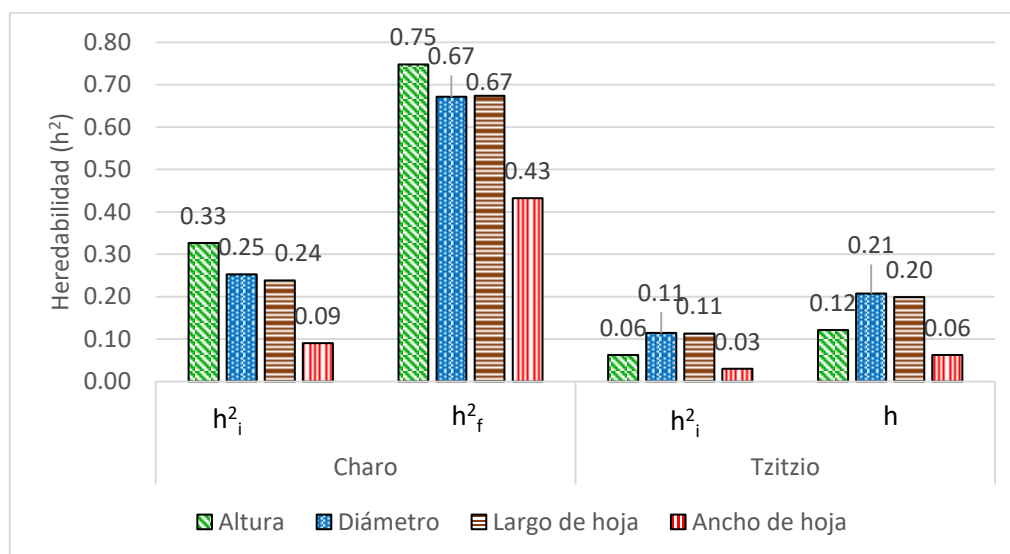


Figura 2.19. Heredabilidades obtenidas en el Incremento de las variables de un sub ensayo de 22 familias de *Agave cupreata* Trel. & Berger, en los municipios de Charo y Tzitzio, durante el periodo anual agosto 2018-2019.

2.10.8. Correlaciones entre variables medidas durante las cuatro fechas de medición.

De manera adicional, se realizaron correlaciones de Pearson, en las variables considerando tamaños medidos (cm); sin considerar plantaciones, familias, ni ensayos, a fin encontrar una relación entre variables; los resultados mostraron correlaciones significativas ($P < .0001$) altas entre variables (Cuadro 2.19), lo que mostró que existen correlaciones positivas entre variables, que indican que al incrementarse una de las variables, las demás se incrementan.

Cuadro 2.19. Correlaciones de Pearson para las variables en las diferentes fechas de medición, de dos ensayos de progenies de familias de *Agave cupreata* Trel & Berger, durante cuatro fechas de medición en los municipios de Tzitzio y Charo.

ago-18			
Variables	Altura	Largo de hoja	Ancho de hoja
Diámetro	0.76725	0.74738	0.68786
Ancho de hoja	0.70807	0.73703	
Largo de hoja	0.77542		
nov-18			
Variable	Altura	Largo de hoja	Ancho de hoja
Diámetro	0.75267	0.76279	0.73467
Ancho de hoja	0.69373	0.64002	
Largo de hoja	0.7922		
abr-19			
Variables	Altura	Largo de hoja	Ancho de hoja
Diámetro	0.81894	0.71361	0.69478
Ancho de hoja	0.70768	0.72235	
Largo de hoja	0.78479		
ago-19			
Variable	Altura	Largo de hoja	Ancho de hoja
Diámetro	0.78805	0.71669	0.63003
Ancho de hoja	0.68016	0.77862	
Largo de hoja	0.73031		

2.11. DISCUSIÓN

Los resultados, muestran que las familias se comportaron de manera diferenciada, entre fechas de medición, plantaciones y en cada tipo de ensayo, al encontrarse diferencias significativas entre las fechas analizadas, mostrando un mayor tamaño entre plantaciones; siendo en Charo donde las plantas se desarrollan de manera más adecuada, esto puede ser debido al tipo de suelo que se encuentra en el lugar debido a que presenta características óptimas para un cultivo contrario al sitio de Tzitzio que presenta un suelo pobre, ácido y además con poca capacidad de absorber agua en temporadas de lluvias, impidiendo que ésta se encuentre disponible durante los periodos de sequía, coincidiendo con Martínez-Ramírez *et al.*, (2013), quienes reportaron que suelos ricos en MO y con pH ligeramente ácidos favorecen el crecimiento de las plantas de agave.

Cabe mencionar, que las pocas diferencias significativas encontradas entre familias, durante los periodos analizados de incremento en tallas, puede ser asociado, en primer lugar, a la fisiología propia de la especie que se caracteriza por un metabolismo CAM (Metabolismo de las Acido Crasuláceas) y que le permite sobrevivir a los ambientes de sequía (Andrade *et al* 2007), además le otorgan un desarrollo lento a diferencia de otras especies. Por ello es que, en periodos cortos, fue muy poco el crecimiento observado, además de que han pasado por temporadas críticas, tales como el trasplante, donde las plantas se adaptaban al nuevo ambiente en las plantaciones (periodo agosto-noviembre 2018), un periodo seco (noviembre 2018-abril 2019) donde la planta entró a un periodo de estrés y poco desarrollo, y finalmente abril 2019- agosto 2019, entre el final de secas y a los dos meses de establecido el periodo de lluvias; que se vio reflejado en los estadísticos descriptivos que mostraron que las familias se comportaban de manera homogénea. Razón por la cual se analizó de manera anual, durante el periodo agosto 2018-agosto 2019, donde podemos observar un incremento en un momento donde se deben presentar las mismas o similares condiciones ambientales para las familias, descartando ambientes contrastantes.

La varianza se concentró en el error en los ensayos, para las tallas como para el incremento, siendo aquí donde se encontraron valores muy bajos o nulos en familia.

Espitia *et al.*, (2011) identifican 18 individuos en base al diámetro, altura, volumen y calidad del fuste; mientras que Mesen y Vásquez (2009) encuentran diferencias significativas entre procedencias y familias únicamente para dap (diámetro a la altura del pecho), ellos seleccionaron un total de 25 árboles que presentaban mejor desarrollo en altura y diámetro, por nuestra parte al seleccionar familias se pueden identificar hasta tres en el ensayo uno a través de las fechas de medición (2, 4 y 11) y hasta cinco familias en el ensayo dos (1, 4, 11, 23 y 21); en el caso del crecimiento se observan dos familias en el ensayo uno (4 y 11) y en el ensayo dos hasta tres familias (4, 11 y 24), considerando las que presentaban los promedios más altos, en las cuatro variables y entre las dos plantaciones.

Los porcentajes de varianza mostraron valores elevados en el componente error, indicando que el ambiente en las diferentes fechas era homogéneo y afectaba de la misma manera a todos los individuos en las cuatro fechas de medición. De tal manera que los principales aportes de varianza son de la familia y el error.

La heredabilidad (h^2), a nivel individual (h^2_i) y a nivel de familia (h^2_f) presentaron valores elevados de manera general, entre fechas de medición, no obstante, las familias mostraron un comportamiento distinto en cada fecha, plantación y ensayo, mostrando valores elevados en su mayoría.

Los valores de heredabilidad encontrados en incremento de variables, (en los casos donde existió varianza), indicaron que los valores de h^2 encontrados en la primera fecha de medición, está asociada al proceso de adaptación de las familias en su nuevo ambiente, mientras que al realizar el análisis de manera anual y en las mismas condiciones de humedad los valores encontrados se presentan una mayor representatividad de la respuesta de las familias en los sitios de plantación debido a que después de un año y de haber pasado por los periodos estresantes, mencionados anteriormente, mostraban valores de heredabilidad similares al del primer periodo;

siendo en el ensayo dos donde se observa mayores valores de heredabilidad a lo largo de los periodos de crecimiento y en las plantaciones.

Se observó un incremento de los valores en heredabilidad de la primera y última fecha de medición; de igual manera entre el primer y último periodo de crecimiento. Resultados contrarios a lo reportado por Morales-González *et al.*, (2013) en un programa de mejoramiento genético donde buscaron incrementar volumen del fuste y adaptabilidad, entre sitios de evaluación; reportaron una disminución entre h^2 entre periodos de evaluación. Mesen y Vásquez (2009), registraron valores elevados de heredabilidad de familia de *Vochysia guatemalensis* de 0.43 para diámetro a la altura del pecho y de 0.22 altura, siendo los valores bajos en comparación a los encontrados en nuestro estudio durante las fechas de medición, mientras que para los periodos de crecimiento son parecido en diámetro de Charo en el periodo agosto-noviembre 2018 ($h^2=0.41$). Salaya-Domínguez *et al.*, (2012), obtuvieron valores de h^2 en variables de crecimiento (altura, diámetro, volumen) bajos de 0.09 a 0.12 (Aquxtla 2930 msnm) y altas de 0.26 a 0.35 (Acaxochitlan 2200 msnm), similares a las encontradas en este estudio, en altura y diámetro en el análisis de incremento de variables.

Las variables altura y largo de hoja se correlacionaron directamente de manera positiva lo que demostró una asociación al tamaño de la planta, así como el diámetro el cual se observó como una respuesta de protección de las plantas frente al estrés ambiental, debido a, que entre fechas durante el ensayo dos mostró valores más altos en Charo que en Tzitzio, coincidiendo con Mátyás *et al.*, (2010), que atribuyeron la disminución de tallas y vigor a sitios áridos-extremos; éste disminuía durante periodos, en particular durante el periodo de estiaje; al analizar el tamaño total de las plantas y reflejándose directamente en el caso del incremento, las plantas que presentaron un diámetro mayor en campo se observaron como las menos estresadas y con mayor capacidad de adaptación al ambiente donde se encontraban instaladas, el ancho de hoja se asocia a la morfología de cada familia y se correlaciona directamente de manera positiva con la variable diámetro.

2.12. CONCLUSIONES

Las diferencias entre familias en fechas de medición muestran que es posible identificar genotipos sobresalientes entre fechas, que se comportan de manera diferenciada en cada fecha y en cada sitio, muy posiblemente asociado a las características propias de cada sitio (ejemplo el suelo). No obstante, aun así, existen genotipos que sobresalen en los periodos de mayor estrés ambiental. En cuanto a los periodos de incremento, las familias presentan una mayor homogeneidad lo que se refleja en pocas diferencias significativas durante los periodos, existen muy pocas familias sobresalientes en las cuatro variables, que al año de ser instaladas comienzan a expresarse de manera diferenciada, razón por la cuál es recomendable medir el crecimiento de manera anual y coincidiendo en el periodo de medición, ya que será representativo de ese periodo en particular. Las familias más destacadas en general son las familias 4 y 11 que sobresalen en las fechas de medición de las variables de crecimiento para las cuatro variables, así como en incremento y en los dos tipos de ensayo de los dos sitios de plantación.

Las heredabilidades de manera general se muestran con valores altos entre fechas para la heredabilidad de familia, mientras que los valores de heredabilidad individual va de bajos a elevados; siendo en el incremento donde se observan valores desde nulos hasta elevados tanto en heredabilidad de familia y en individual, muy asociado a la falta de diferencias significativas en los periodos, reafirmando lo que se indicó en incremento, es necesario, que se realice este análisis anualmente, es decir, periodos más amplios que le permitan a las familias desarrollarse de manera más significativa.

Además, es necesario considerar las mediciones de las variables más representativas de las tallas de las plantas (altura y diámetro), para posteriores estudios ya que, esto permitirá identificar una mayor cantidad de genotipos superiores, considerando que los productores de mezcal basan su selección en estas variables.

2.13. BIBLIOGRAFÍA

- ✚ Aguirre-Dugua, X. y Eguiarte, L.E. (2013). Genetic diversity, conservation and sustainable use of wild *Agave cupreata* and *Agave potatorum* extracted for mezcal production in Mexico. *Journal of Arid Environments* 90: 36-44.
- ✚ Andrade J. L. De la Barrera E, Reyes-García C, Ricalde M. F. Vargas-Soto G. y Crevera J. C. 2007. El metabolismo ácido crasuláceas: diversidad, fisiología ambiental y productividad. *Boletín de la sociedad Botánica de México* 81: 37-50.
- ✚ Alba-Landa, J. Mendizábal-Hernández, L. del C., y Márquez Ramírez, J. (2008). El mejoramiento genético forestal y las pruebas establecidas en veracruz. *Foresta Veracruzana*, 10(1),25-29.
- ✚ Espitia, M., Murillo, O., y Castillo, C. (2011). Ganancia genética esperada en teca (*Tectona grandis* Lf) en Córdoba (Colombia). *Colombia forestal*, 14(1), 81-93.
- ✚ Falconer, DS y Mackay, TFC (2001). Introducción a la genética cuantitativa. ed. Acribia, Zaragoza, España, 163.
- ✚ Fher, W. R. 1987. Principles of cultivar development. v.1. MacMillan Publishing Company, New York.
- ✚ Gentry, H. S. (1982). Agaves of continental North America. The University of Arizona Press, Tucson, Arizona. 670 p.
- ✚ Illsley, G.C., D. Giovannucci y C. Bautista (2009). La dinámica territorial de la zona mezcalera de Oaxaca entre la cultura y el comercio. *Grupo de Estudios Ambientales A.C.* México D.F. pp. 37.
- ✚ León Jacinto A. y Torres I. (2015). Polinización del Maguey Alto en el Municipio de Morelia. Pags. 143-152, en: Aspectos sobre el Manejo y Conservación de Agaves Mezcaleros en Michoacán, Martínez-Palacios A., J.L. Morales-García y S. Guillén Rodríguez (eds.), Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo – Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación - Consejo Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación. Michoacán México. ISBN: 9786078116430.

- ✚ Mátyás, C., Berki, I., Czúcz, B., Gálos, B., Móricz, N., y Rasztovits, E. (2010). Future of beech in Southeast Europe from the perspective of evolutionary ecology. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 6, 91-110.
- ✚ Martínez-Palacios, A., Gómez-Sierra, J. M., Sáenz-Romero, C., Pérez-Nasser, N., y Sánchez-Vargas, N. (2011). Diversidad genética de *Agave cupreata* Trel. & Berger. Consideraciones para su conservación. *Revista fitotecnica mexicana*, 34(3), 159-165.
- ✚ Martínez-Ramírez, S, Trinidad-Santos, A. Bautista-Sánchez, G. y Pedro-Santos, E. C. (2013). Crecimiento de plántulas de dos especies de mezcal en función del tipo de suelo y nivel de fertilización. *Revista fitotecnica mexicana*, 36(4), 387-393.
- ✚ Martínez-Castro L.E. Martínez-Palacios A. Sánchez Vargas N. M. Lobitte P. Álvarez N. Martínez-Palacios O. Villegas J. Martínez-Avalos J. G. y Golubov J. (2015). Poblaciones silvestres de Maguey Chino (*Agave cupreata*) en el Estado de Michoacán. Págs. 167-175, en: Aspectos sobre el Manejo y Conservación de Agaves Mezcaleros en Michoacán, Martínez-Palacios A., J.L. Morales-García y S. Guillén Rodríguez (eds.), Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo – Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación - Consejo Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación. Michoacán México. ISBN: 9786078116430
- ✚ Martínez-Palacios, A., Morales-García, J. L., y Rodríguez, S. G. (Eds.). (2015). Aspectos sobre el manejo y la conservación de agaves mezcaleros en Michoacán. CECTI, Consejo Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación de Michoacán.
- ✚ Martínez-Palacios, A., Toral-Paz, J., Herrera J., y Sánchez-Vargas, N. (2015). prospectiva estratégica para el aprovechamiento del bagazo residual de agave generado al producir mezcal en Michoacán. Pp 1536-1569. SN - 978-607-9096-21-2
- ✚ Mesén, F., y Vásquez, W. (2009). Variación genética de procedencias y familias de *Vochysia guatemalensis* a los 18 años de edad en Sarapiquí, Heredia, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 33 (2), 157-170.

- ✚ Morales-González, E., López-Upton, J., Vargas-Hernández, J., Ramírez-Herrera, C. y Gil-Muñoz, A. (2013). Parámetros genéticos de *Pinus patula* en un ensayo de progenies establecido en dos altitudes. *Revista fitotecnia mexicana*, 36(2), 155-162.
- ✚ Muñoz-Flores, H. J., García-Magaña, J., Coria-Avalos, V. M., Hernández-Aguilar, H., y Hernández Ramos, J. (2014). Selección de plantas madre de *Agave cupreata* Trel et Berger. en Axaxacualco, Guerrero, México. *Foresta Veracruzana*, 16(1),1-8.
- ✚ Sánchez-Vargas, N., Aparicio-Rentería, A. y Brito-Miranda, M. (2015). Programa de mejoramiento genético para *Agave cupreata* Trel. & Berger. Págs.: 105-114, en: Aspectos sobre el Manejo y Conservación de Agaves Mezcaleros en Michoacán, Martínez-Palacios A., J.L. Morales-García y S. Guillén-Rodríguez (eds.), Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo – Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación - Consejo Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación. Michoacán México. ISBN: 9786078116430.
- ✚ Salaya-Domínguez, J. M., López-Upton, J., y Vargas-Hernández, J. J. (2012). Variación genética y ambiental en dos ensayos de progenies de *Pinus patula*. *Agrociencia*, 46(5), 519-534.
- ✚ SAS 9.4 TS Level 1 M4 X64 _10 PRO Plataforma versión para Windows 1.0.17134. Copyright (c) 2002-2012 by SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. All Rights Reserved
- ✚ Soto-Correa, J. C., Sáenz-Romero, C., Lindig-Cisneros, R., Sánchez-Vargas, N., y Cruz-de-León, J. (2012). Variación genética entre procedencias de *Lupinus elegans* Kunth, zonificación altitudinal y migración asistida. *Agrociencia*, 46(6), 593-608. Recuperado en 28 de noviembre de 2018, de
- ✚ Torres-García I., y Delgado-Lemus A. M. (2019). Diversidad de agaves: usos y riesgos en su aprovechamiento. 175-177 p. En: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2019. *La biodiversidad en Michoacán Estudio de Estado 2*. CONABIO, México.

- ✚ Yamada, Y. (1962). Genotype by environment interaction and genetic correlation of the same trait under different environments. *The Japanese journal of genetics*, 37(6), 498-509.
- ✚ Zobel, B., y Talbert, J. (1988). Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Editorial Limusa. México, México. 545 p.

CAPÍTULO III. EVALUACIÓN DE CONTENIDO DE AZÚCAR (°BX) Y SELECCIÓN DE FAMILIAS DE MEDIOS HERMANOS DE *Agave cupreata* TREL. & BERGER.

RESUMEN

Se registraron los grados Brix(°Bx) en hojas y tallos y se relacionaron con las variables de crecimiento, en jardín común de febrero-abril 2019. Se evaluaron concentraciones de grados Brix (°Bx) en hojas y tallos de 23 familias de medios hermanos de *A. cupreata*, por orientación de hoja, nivel de la hoja y distancia (hasta 10 cm, desde la base en dirección a la espina) y tamaños de variables de crecimiento (altura, diámetro, largo y ancho de hoja). Los resultados presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre familias, en niveles de hoja, distancias de hoja y niveles de tallo; siendo el nivel 2 (hoja media), las distancias uno, dos y tres centímetros (disco basal de la hoja de color blanco), el nivel 3 del tallo (parte de arriba) con la mayor cantidad de °Bx. Se encontraron diferencias significativas, entre familias en las cuatro variables de crecimiento y familias que destacan en todas las variables. Siendo las familias 11, 20, 21 y 24 las que se presentan como mejores candidatas a propuesta de selección con mayor registro de °Bx y mayores promedios en variables de crecimiento.

Palabras clave: *Grados Brix, disco basal, familias, hojas, tallo.*

ABSTRACT

The Brix degrees (°Bx) in leaves and stems were recorded and related to the growth variables, in February-April 2019. Concentrations of Brix degrees (°Bx) in leaves and stems of 23 families of half-siblings of *A. cupreata* were evaluated, by blade orientation, blade level and distance (up to 10 cm, from the base in the direction of the thorn) and sizes of growth variables (height, diameter, length and width of the leaf). The results showed significant differences ($P < 0.05$) between families, in leaf levels, leaf distances and stem levels; being level 2 (middle leaf), distances one, two and three centimeters (basal disc of the white leaf), level 3 of the stem (top) with the greatest amount of °Bx. Significant differences were found between families in the four growth variables and families that stand out in all variables. The families 11, 20, 21 and 24 are those that are presented as the best candidates for a selection proposal with high records of °Bx and high averages in growth variables

Keywords: *Brix grades, basal disc, families, leaves, stem.*

3.1. INTRODUCCIÓN

Los agaves han fungido como la fuente principal de carbohidratos de los pobladores del occidente de México y suroeste de los Estados Unidos de Norteamérica, de los cuales consumían los tallos, bases de las hojas y el pedúnculo floral (Hodgson, 2001). En el siglo XVII el uso de los carbohidratos del agave en la producción de licor llegó a ser una actividad económica importante en el centro y norte de México (Luna-Zamora, 1991). La entrada de licores españoles, condujo a la prohibición del licor de agaves, siendo hasta el siglo XIX que el licor de agave adquirió relevancia económica; con la legislación en la producción de licor de agave en Tequila Jalisco (Zapata y Nabham, 2003).

Las especies del género *Agave* presentan respuestas fisiológicas y bioquímicas variadas, tales como la resistencia a la sequía, que reflejan su amplia tolerancia a condiciones ambientales adversas y explican la distribución ecológica amplia del género (Ramírez-Tobías *et al.*, 2014). Los agaves son plantas xerófitas adaptadas a vivir en ambientes poco favorables, como lo son periodos de sequía y calor intensos, con temperaturas que varían durante la noche ocasionando poca humedad del suelo y falta de agua, lo que induce a la planta a almacenar agua en tejidos especializados; por otro lado, una de sus adaptaciones fisiológicas es el metabolismo ácido crasuláceo (CAM) (García-Mendoza, 2007).

A raíz de la adquisición de la denominación de origen del mezcal en 2012 en Michoacán la demanda por el destilado se ha ido incrementando considerablemente en el estado, actualmente se considera que ocupa el 4° lugar en producción nacional (Consejo Regulador del Mezcal 2018). Si bien es cierto que la demanda del agave no se compara con la producción del tequila (Illsley, 2004; Illsley *et al.*, 2007); el precio comercial mayorista es superior al destilado de tequila (mezcal=\$392.⁰⁰ y tequila=\$219.⁰⁰ una botella de 750ml), además las estadísticas muestran que lejos de reducirse la demanda de mezcal, está tiende a subir, convirtiendo al mezcal en la bebida espirituosa más importante a nivel nacional y con demanda creciente a nivel internacional (Consejo Regulador del Mezcal 2018); considerando a *Agave cupreata*

(1.7%), como el tercer agave, más utilizado para producción de mezcal después de *A. angustifolia* 75%(espadín) y *A. potatorum* 3.3% (tobalá), sin considerar los ensambles que realizan con otros agaves (Consejo Regulador del Mezcal 2018).

Un factor de importancia dentro del ámbito mezcalero, es la concentración de azúcares del agave, los cuales se miden en Grados Brix, que es un sistema de medición específica, ya que representa el porcentaje en peso de sacarosa químicamente pura en solución de agua destilada a 293°K (20°C), (NMX-F-274,1984), y permite al productor estimar un aproximado en la cantidad de destilado en su cosecha.

Los agaves comúnmente utilizados para la producción de bebidas alcohólicas, presentan fructanos que representan aproximadamente el 60% o hasta el 85% de los carbohidratos solubles en agua, otros carbohidratos importantes en los agaves son los relacionados con el metabolismo del fructano: glucosa, fructosa y sacarosa (Nobel et al., 1998). Se ha sugerido que el contenido de fructanos almacenados en tallos de agave está influenciado por factores abióticos como el clima, la lluvia, la altitud y el suelo, también se ha considerado que una temperatura nocturna más fresca favorece la absorción de CO₂, por consiguiente, la acumulación de carbohidratos (Mancilla-Margalli y López 2006). Actualmente se reportan 43 especies de plantas de agaves para destilar mezcal Colunga-GarcíaMarín, 2006). Además, es de considerarse las diferencias en agaves no clonados, donde los genotipos y entre especies expresan diferencias de respuesta (López y Mancilla-Margalli, 2007).

La heredabilidad se considera como la relación de la varianza fenotípica dada por la varianza genética aditiva, es decir la cantidad de variación fenotípica atribuida a la variación genética y no a la variación ambiental (Falconer, 1989). Al ser un valor proporcional sus valores van de 0 a 1; si los valores de la variable medida son cercanos a uno, indica que la variación de la variable es de origen genético y por lo tanto los descendientes y los progenitores serán muy parecidos; en el caso opuesto si los valores son cercanos a cero, indica que la variación de la variable medida es asociada al ambiente y por ello los padres y sus descendientes serán diferentes entre sí (Manjarrez-Silva, 2001).

Es importante realizar trabajos de selección con base en el tamaño de las plantas de agave, pero, también, realizar la selección con base en la concentración de azúcares (°Bx), ya que es una variable de importancia para los productores de mezcal (Sánchez-Vargas *et al.*, 2015).

Ávila-Nuñez *et al.*, (2012) determinaron el contenido de azúcares totales, reductores y no reductores e identificaron los azúcares presentes en la piña cruda y cocida del *Agave cicui* Trelease, los resultados mostraron que en la piña cruda se encuentran azúcares del tipo monosacáridos como la fructosa (cetohehexosa) y glucosa (aldosa de 6 C); en las hojas: arabinosa (aldosa de 5 C) y manosa (aldosa de 6 C); en la piña cocida: xilosa, arabinosa y manosa.

Así mismo, se han realizado diversos estudios de selección en diferentes especies con base en la concentración de °Bx; como el de Silva-Cifuentes *et al.* (2011), evaluaron esquejes de plantas jóvenes de caña de azúcar, producto de semilla de polinización libre, para identificar variedades con elevado contenido de azúcar, así como estudiar la variabilidad genética y heredabilidad del contenido temprano de sacarosa; identificando al menos 11 variedades con elevados contenidos de azúcar, por encima de los valores de la variedad comercial. Hernández-Bautista *et al.* (2014), estimaron heredabilidad en grados Brix, en sentido amplio para cruza interespecíficas en plantas de *Solanum lycopersicum* L., encuentran heredabilidades consideradas altas ($H^2=0.86$).

Por estas razones, no basta con realizar una selección de individuos superiores en edades tempranas, en condiciones de jardín común y en plantaciones, en base al tamaño, para mejorar plantaciones comerciales; también entre otros factores, es necesario realizar una selección de individuos con base en su concentración de °Bx, para satisfacer una demanda de los productores de plantas que les brinden una mayor producción; por ello el objetivo de este ensayo fue evaluar el crecimiento de las plantas en familias de medios hermanos de *A. cupreata*, y determinar la orientación, posición y distancia donde se encuentra la mayor concentración de grados Brix en la planta, en condiciones de jardín común.

3. 2. JUSTIFICACIÓN.

Una variable de importancia a considerar en los agaves por parte de un productor de mezcal, es la concentración de azúcares, puesto que a mayor cantidad de °Bx, la producción de destilado de mezcal se verá incrementada. Sin embargo, al no existir una selección de plantas mejoradas considerando esta característica, es difícil para el productor saber si una cosecha de plantas, le dará una buena producción. Considerando además que *A. cupreata* carece de una selección y domesticación, se sabe que produce la mitad del rendimiento en la destilación en relación a *A tequilana* y *A. angustifolia*, las plantas que son cosechadas en campo resultan en tallas y concentraciones de grados brix diversos. Es por ello, que se requiere de pruebas de progenies donde se evalúe la variable °Bx, permitirá seleccionar genotipos superiores que a futuro pueden mejorar la producción de mezcal.

3.3. HIPÓTESIS.

Existen diferencias genéticas entre familias, orientación, nivel, distancia en la hoja y nivel de tallo, en la concentración de grados Brix.

3.4. OBJETIVOS.

3.4.1. Objetivo general.

- ✚ Determinar el contenido de azúcares en grados brix, en hoja, en relación a la orientación, nivel y distancia, y en nivel de tallo, en plantas de medios hermanos de 23 familias de *Agave cupreata* con tres años de establecidas en jardín común

3.4.2. Objetivos particulares.

- ✚ Determinar valores de variabilidad y componentes de la varianza en variables de crecimiento y concentración de grados brix (°Bx), en familias de medios hermanos de *A. cupreata* establecidos en jardín común.
- ✚ Identificar la orientación de la hoja, con base en los puntos cardinales en la planta que tenga la mayor concentración de grados brix.
- ✚ Identificar el nivel de la hoja (alta o joven, media o madura, baja o muy madura) en la planta con base en la mayor concentración de grados brix.
- ✚ Identificar la distancia en centímetros, desde el disco basa hacia la espina terminal de la hoja, con base en la mayor concentración de grados brix.
- ✚ Identificar el nivel del tallo (arriba, en medio, abajo), donde se presenta mayor cantidad de grados brix.
- ✚ Identificar las familias con características superiores con base en los valores registrados que muestren mayor crecimiento y mayor contenido de grados Brix.

3.5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

El área de estudio se localiza en la localidad de Arroyo Colorado, en el municipio de Morelia (Figura 3.1), con coordenadas geográficas; latitud Norte (N) 19° 35' 40.75", longitud Oeste (O) 101° 15' 21.46" a 2077 msnm). La temperatura promedio anual es de 17°C, una precipitación promedio anual de 874 mm. El manejo del cultivo fue bajo el sistema de agro-biodiversidad, libre de agroquímicos, manteniendo la flora y fauna establecida posterior al barbecho y establecida la plantación.



Figura 3.1. Ensayo de progenies para evaluar grados Brix (°Bx) en condiciones jardín común de *Agave cupreata* Trel. & Berger, en Arroyo Colorado, Morelia, Michoacán.

3.6. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.6.1. Material biológico.

Se evaluaron 69 plantas de 23 familias de *A. cupreata*, establecidas en jardín común, en la localidad de Arroyo Colorado, Municipio de Morelia.

3.6.2. Diseño experimental.

Las plantas se encontraban distribuidas al azar en jardín común, con un manejo de agro-biodiversidad.

3.6.3. Obtención de Grados Brix.

3.6.3.1. Material.

El material utilizado para la valoración de grados brix fue:

- ✚ Refractómetro (Sugar/Brix Refractometer 0 to 35% SPER SCIENTIFIC modelo 300001).
- ✚ Refractómetro (Sugar/Brix Refractometer 0 to 80% RHB—80ATC)
- ✚ Refractómetro 0-85% marca Milwaukee, modelos Ma871).
- ✚ Bisturí.
- ✚ Piseta.
- ✚ Agua destilada.
- ✚ Extractor de jugo o maceración de bulbos de *Allium sativum* (ajo).
- ✚ Cúter.

3.6.3.2. Método de extracción de grados Brix (°Bx).

Se recolectaron datos de altura, diámetro (considerando solamente hojas vivas), largo y ancho de hoja, de 3 plantas por familia tomadas al azar del jardín común, se etiquetaron con número de identificación de la planta, y se extrajeron completamente cuidando de no causar daño alguno, el proceso de toma de muestra por planta fue rápido, y se procesaron temprano a las 10:00 am; previo a esto, se marcaron de la siguiente manera:

Orientación:

Con ayuda de una brújula se marcaron los puntos cardinales en las hojas de cada planta para poder identificar la orientación Este, Oeste, Norte, Sur (Figura 3.2).

Se extrajeron las plantas y se llevaron al laboratorio para su posterior procesamiento, el cual se encontraba ubicado dentro del mismo predio.

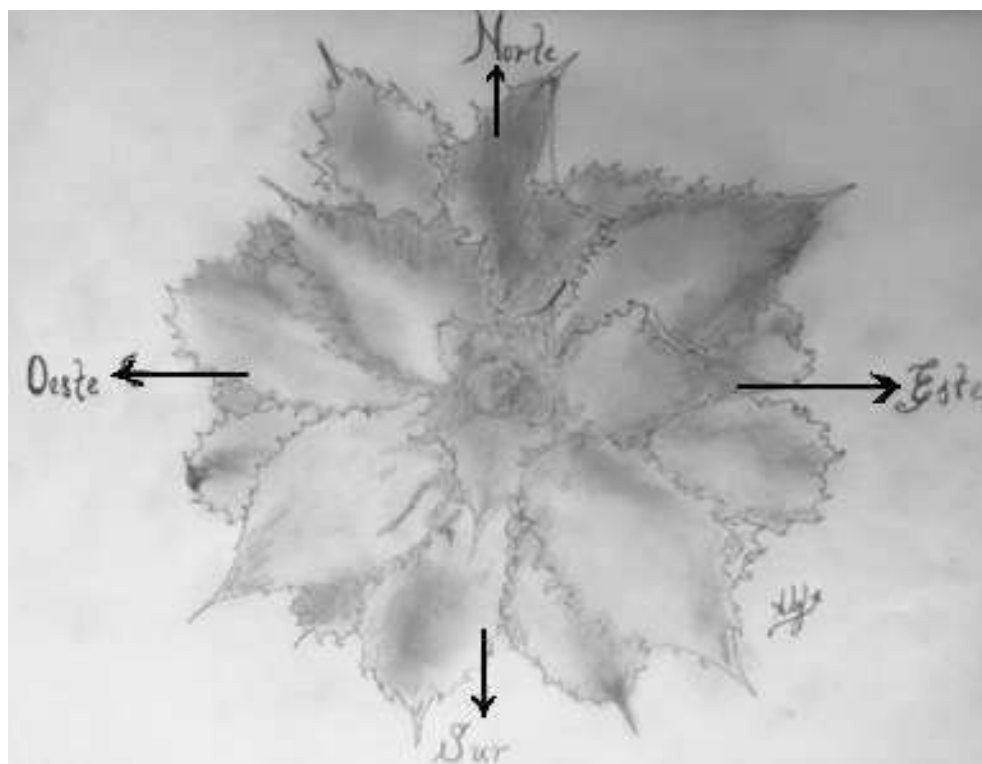


Figura 3.2. Orientaciones de medición de grados brix en hojas de plantas en un ensayo de progenies de 23 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* Trel. & Berger, establecidas en la comunidad de Arrollo Colorado, municipio de Morelia, Michoacán.

Niveles de hoja.

Se evaluaron las hojas por su ubicación en la planta en niveles, considerando la madurez de las hojas, Nivel 1 (hojas jóvenes), Nivel 2 (hojas maduras) y Nivel 3 (hojas muy maduras). Las hojas a analizar fueron separadas del tallo considerando todo el disco basal de color blanco unido al tallo (Fig. 3.3).

Niveles en tallo.

Del tallo se extrajo tejido, tres segmentos de cada nivel: el nivel uno correspondió a la parte más baja del tallo, ubicada por arriba de las raíces, nivel dos fue la parte intermedia del tallo y el nivel tres es el segmento del tallo más cerca de la zona de crecimiento, solo las partes donde se extrajeron las hojas y considerando cada trozo como un nivel (Figura 3.3).

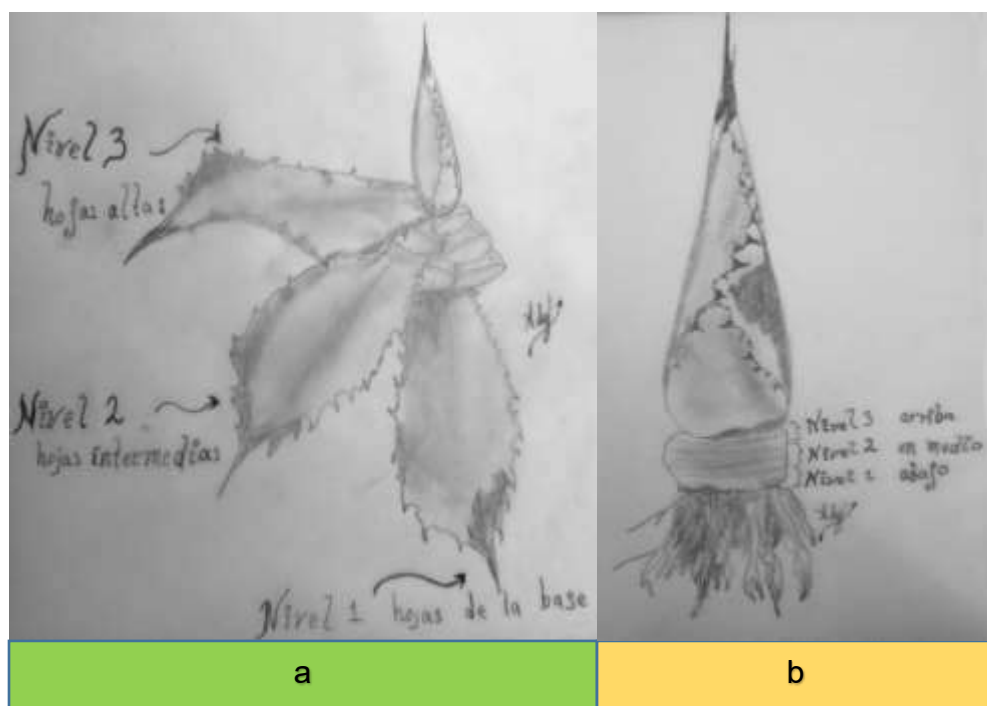


Figura 3.3. Niveles de medición de grados brix en hojas (a) y tallo (b) de plantas, en un ensayo de progenies de 23 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* Trel. & Berger, establecidas en la comunidad de Arrollo colorado, municipio de Morelia, Michoacán.

Distancia:

Se realizaron cortes transversales, cada centímetro de la hoja hasta llegar a una distancia máxima de 10 cm; Cada segmento se dividió en tres para generar tres repeticiones por segmento (Fig. 3.4).



Figura 3.4. Distancias de los segmentos de medición de grados brix en las hojas de plantas, en un ensayo de progenies de 23 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* Trel & Berger en condiciones de jardín común, en Arroyo Colorado, Municipio de Morelia, Michoacán.

Se extrajo el jugo de cada segmento a analizar, colocando 3-4 gotas sobre el refractómetro previamente calibrado con agua destilada y se midieron los grados Brix registrando los valores en bitácora de laboratorio (Anexo 19) con apoyo de la norma NMX-F-436-SCFI-2011, para la determinación de °Bx.

3.6.3.3. Análisis estadísticos.

Se realizó el procesamiento de datos con el programa estadístico SAS 9.4, haciendo un análisis de varianza para cada variable mediante el procedimiento GLM (Generalized Linear Models). (SAS 9.4 versión para Windows 1.0.17134).

Los datos se corrieron con las variables combinadas: Orientaciones + Niveles + Distancias; Niveles + Orientaciones + Distancias; Distancias + Niveles + Orientaciones, ya que las variables tenían en común la variable °Bx (Anexo 20) y posteriormente por punto de toma de muestra (Anexo 21).

3.6.3.4. Modelo estadístico.

Los datos fueron procesados con el programa estadístico SAS (SAS Institute, 2014). Se realizó un análisis de varianza a las variables medidas mediante el procedimiento GLM con el modelo modificado de Yamada (1962):

$$Y = \mu + F + e$$

Donde:

Y = Grados brix de variable evaluada (orientación, nivel de hoja, distancia de la hoja y nivel de tallo).

μ = media general de °Bx de la variable.

F = efecto de la familia.

e = efecto del error aleatorio.

Para el análisis de varianza de las variables de desarrollo, se utilizó el mismo modelo, reemplazando la variable °Bx por altura, diámetro, largo y ancho de hoja.

3.6.3.4.1. Cálculo de parámetros genéticos

Con el modelo aplicado para cada sitio se obtuvieron los componentes de la varianza con el procedimiento VARCOMP, para estimar la heredabilidad con las fórmulas propuestas por Zobel y Talbert (1988) a nivel individual (h^2_i) y a nivel de medias de familia (h^2_f):

$$h^2_i = 4\sigma^2_f / (\sigma^2_f + \sigma^2_e)$$

$$h^2_f = \sigma^2_f / [\sigma^2_f + (\sigma^2_e / (n))]$$

donde: 4 es el coeficiente de determinación genética, σ^2_f en la varianza de familia, σ^2_e es la varianza del error, n es la media armónica del número de individuos por familia en la parcela.

Se utilizó un coeficiente de determinación genética de 4 porque, al parecer, ésta especie es autoincompatible, por lo que se esperaría que las semillas provenientes de polinización libre dieran origen a familias de medios hermanos por cada planta-madre, así, la varianza de familias representaría $\frac{1}{4}$ de la varianza genética aditiva (σ^2_A) (Falconer y Makay, 2001).

3.7. RESULTADOS.

3.7.1. Grados Brix.

3.7.1.1. Concentración de grados brix en hojas por Distancias-Niveles-Orientación.

El análisis estadístico mostró diferencias significativas ($P < 0.05$) en grados brix. en distancias y niveles; sin embargo y solo se encontraron entre orientaciones a la distancia de diez centímetros, en el nivel 1. Los Anexos 22, 23 y 24 muestran las medias de grados Brix ($^{\circ}\text{Bx}$) por Orientación, Nivel de hoja y distancia, donde se observan las diferencias en concentración de $^{\circ}\text{Bx}$, siendo el nivel 2 que corresponde a las hojas maduras, el que tuvo una mayor concentración de grados brix y las distancias 1, 2, y 3 en distancias.

Se muestran resultados solamente para distancias-nivel-orientación, en las distancias 1, 2 y 3 de las hojas (correspondientes al disco basal), debido a que fueron las distancias donde se registró mayor cantidad de $^{\circ}\text{Bx}$ (Cuadro 3.1), siendo las familias 3, 5, 9 y 20 las que sobresalen con los mayores registros de $^{\circ}\text{Bx}$ para este análisis; mientras el resto de los resultados se muestran en el anexo 25 y en el anexo 26, se encuentran las familias que sobresalen de acuerdo a la prueba de Tukey para cada análisis colocándose en el grupo A de la prueba, con la mayor cantidad de $^{\circ}\text{Bx}$.

Cuadro 3.1. Respuesta de grados brix (°Bx) de las interacciones orientación, nivel y distancia (cm) de disco basal (1-3 cm) en hojas de *Agave cupreata* de 23 familias establecidas en jardín común.

Nivel/hoja	Orientación	°Bx en disco basal hoja (cm)		
		(1)	(2)	(3)
1	O	14.04	9.82	6.14
1	E	13.52	10.04	6.35
1	S	14.45	10.29	6.07
1	N	13.33	9.4	6.16
Prom. Nivel 1		13.84	9.89	6.18
2	O	22.13	17.15	9.76
2	E	21.77	16.84	8.99
2	S	22.17	16.94	9.33
2	N	22.14	17.19	8.82
Prom. Nivel 2		22.05	17.03	9.23
3	O	18.4	16.22	9.61
3	E	17.91	15.88	9.8
3	S	18.32	15.2	9.38
3	N	18.78	16.06	9.99
Prom. Nivel 3		18.35	15.84	9.70
Prom. Gral. de Nivel/cm		18.08	14.25	8.37

Significancia: Distancias, Familia*variable y variables fijas y Familia*punto fue $P < .0001$ Nivel de hoja 1 (base), 2 (media) y 3 (alta); O: oeste; S: sur, E: este; N: norte; Disco basal hoja 1, es de 1 cm unido al tallo.

Los cuadros 3.2 y 3.3 presentan la jerarquía de familias de °Bx, en niveles y distancias en las hojas, (excluyendo orientaciones al no encontrar diferencias significativas en el análisis), donde se observan las familias que sobresalen en cada variable con las medias más altas de °Bx, separando a las familias por conveniencia, en tres grupos, dos de ocho, (mejores y moderadas productoras de °Bx) y un grupo de siete familias (malas o con menor producción de °Bx), donde las familias 3, 24, 5, 9, 20 y 19 se mantienen entre las ocho mejores en niveles y en las distancias 1 y 2 de hoja, con los promedios más altos de °Bx.

Cuadro 3.2. Jerarquía de medias de familias por niveles de hoja durante el análisis de las variables en °Bx de un ensayo de progenies de 23 familias de *Agave cupreata* Trel. & Berger, en el periodo febrero-abril 2019, en la localidad de Arroyo colorado, municipio de Morelia.

Categoría	Nivel 1		Nivel 2		Nivel 3	
	Familia	°Bx	Familia	°Bx	Familia	°Bx
1	3	11.55	9	16.77	9	14.84
2	24	11.20	5	15.17	3	13.75
3	5	10.99	20	15.12	20	12.66
4	9	10.85	23	14.50	8	10.95
5	20	10.13	24	14.42	19	10.69
6	19	9.03	3	13.51	5	10.57
7	12	8.49	19	12.51	16	10.45
8	16	8.46	2	12.41	24	10.41
9	14	8.20	16	12.40	12	10.00
10	8	8.00	8	12.26	18	9.09
11	23	7.98	13	11.52	23	9.00
12	11	7.73	21	11.46	14	8.97
13	18	7.66	14	11.42	21	8.68
14	21	7.63	18	11.33	2	8.62
15	17	7.30	11	10.98	11	8.61
16	15	7.24	12	10.11	15	8.11
17	2	7.11	4	9.19	13	7.88
18	1	6.95	15	9.16	22	7.71
19	13	6.75	17	8.60	17	7.44
20	4	6.21	22	7.72	10	7.25
21	10	5.83	1	7.69	1	6.18
22	22	5.16	10	7.31	7	6.12
23	7	5.10	7	7.15	4	5.95

Nivel 1=hojas de la base, Nivel 1= hojas intermedias, Nivel 3= hojas altas.

Cuadro 3.3. Jerarquía de medias de familias por distancia (cm) en °Bx de un ensayo de progenies de 23 familias de Agave cupreata Trel. & Berger en el periodo febrero-abril 2019 en la localidad Arroyo Colorado, municipio de Morelia.

Orden	← Área basal						Segmento de hoja evaluada										Área apical →			
	Distancia 1		Distancia 2		Distancia 3		Distancia 4		Distancia 5		Distancia 6		Distancia 7		Distancia 8		Distancia 9		Distancia 10	
	Familia	°Brix	Familia	°Brix	Familia	°Brix	Familia	°Brix	Familia	°Brix	Familia	°Brix	Familia	°Brix	Familia	°Brix	Familia	°Brix	Familia	°Brix
1	<u>3</u>	26.20	<u>3</u>	23.66	<u>20</u>	15.10	<u>3</u>	8.09	<u>9</u>	8.07	<u>9</u>	8.13	<u>9</u>	9.06	<u>9</u>	11.62	<u>9</u>	11.42	14	8.97
2	<u>9</u>	25.83	<u>20</u>	22.03	<u>3</u>	14.43	<u>9</u>	7.70	12	7.74	12	7.71	12	8.35	12	8.46	12	11.13	8	8.45
3	<u>24</u>	24.43	<u>24</u>	21.31	<u>24</u>	13.69	<u>20</u>	7.44	<u>3</u>	7.13	<u>3</u>	7.35	<u>3</u>	7.57	<u>19</u>	7.64	8	8.39	18	8.37
4	<u>20</u>	23.38	<u>9</u>	17.33	11	11.58	<u>24</u>	7.29	18	6.98	18	7.01	<u>19</u>	6.72	14	7.45	18	7.96	<u>19</u>	8.03
5	<u>5</u>	22.58	<u>5</u>	17.29	2	10.13	12	6.87	8	6.96	8	6.60	8	6.69	18	7.32	14	7.65	<u>5</u>	7.87
6	<u>19</u>	22.20	11	16.90	<u>5</u>	9.05	18	6.59	14	6.55	14	6.15	14	6.66	<u>3</u>	7.31	<u>19</u>	6.90	<u>3</u>	7.80
7	<u>16</u>	20.26	<u>16</u>	16.67	<u>16</u>	8.90	14	6.47	<u>20</u>	6.34	<u>19</u>	6.07	18	6.55	8	7.22	<u>5</u>	6.87	23	7.29
8	23	20.07	<u>19</u>	15.89	<u>21</u>	8.39	8	6.26	<u>19</u>	6.11	<u>24</u>	6.02	<u>5</u>	6.01	<u>5</u>	6.54	<u>3</u>	6.86	<u>16</u>	7.15
9	8	19.49	2	15.55	18	8.22	<u>5</u>	6.20	13	6.02	23	5.98	13	5.85	23	6.39	<u>16</u>	6.67	10	6.97
10	17	19.26	8	14.79	13	8.05	13	6.16	23	5.93	<u>16</u>	5.84	15	5.78	15	6.25	23	6.62	21	6.78
11	11	18.57	21	14.56	8	8.01	11	6.12	15	5.86	13	5.77	23	5.70	<u>16</u>	5.97	10	6.42	15	6.32
12	21	18.24	17	14.21	<u>9</u>	7.82	<u>16</u>	6.09	<u>24</u>	5.83	15	5.75	<u>16</u>	5.61	13	5.92	13	6.10	<u>20</u>	6.28
13	2	18.00	23	13.71	14	7.48	<u>19</u>	6.01	<u>16</u>	5.82	<u>5</u>	5.59	<u>24</u>	5.44	<u>24</u>	5.70	21	5.97	13	6.09
14	14	17.81	14	12.74	22	7.47	15	5.96	<u>5</u>	5.78	<u>20</u>	5.58	10	5.42	10	5.65	15	5.79	1	6.08
15	12	16.52	18	11.71	12	6.82	23	5.85	2	5.45	2	5.47	<u>20</u>	5.41	<u>20</u>	5.64	1	5.79	<u>24</u>	5.70
16	18	14.76	1	10.89	1	6.73	2	5.75	11	5.41	21	5.40	21	5.27	21	5.49	<u>20</u>	5.72	4	5.70
17	15	14.46	13	10.76	<u>19</u>	6.59	22	5.69	21	5.19	10	5.23	2	5.22	2	5.45	2	5.61	2	5.66
18	13	14.38	4	10.15	23	6.16	10	5.52	22	5.14	22	4.97	17	5.15	1	5.30	<u>24</u>	5.55	22	5.60
19	4	14.08	22	10.13	15	6.12	21	5.27	10	5.08	1	4.93	22	5.06	22	5.29	4	5.41	7	5.41
20	1	12.77	12	10.01	10	5.94	7	4.70	7	4.67	11	4.93	1	5.02	4	5.24	22	5.38	17	5.23
21	22	11.57	10	9.49	7	5.89	1	4.57	1	4.50	4	4.70	11	4.79	17	4.91	17	5.34	11	4.86
22	10	11.02	15	9.38	17	5.51	4	4.22	4	4.46	7	4.65	4	4.79	7	4.76	7	5.01	<u>9</u>	...
23	7	9.91	7	8.70	4	5.21	17	4.10	17	4.20	17	4.60	7	4.60	11	4.68	11	4.70	12	...

*En distintos subrayados se muestran a las familias con mayor promedio de °Bx en las primeras tres distancias y como se desplazan en el resto de las distancias.

3.7.1.2. Resultados del análisis de la concentración de grados Brix (°Bx) en tallos.

El cuadro 3.4 muestra los valores del análisis realizado por niveles de tallo, donde los resultados del análisis mostraron diferencias significativas ($p < .05$) entre niveles del tallo, siendo la familia 9 que de manera general presentó los valores más altos de °Bx.

Cuadro 3.4. Ranking genético en niveles de tallo, de °Bx en familias en un ensayo de progenies de 23 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* Trel. & Berger en el jardín común de Arroyo Colorado, municipio de Morelia

Orden	Nivel 1		Nivel 2		Nivel 3	
	Familia	°Bx	Familia	°Bx	Familia	°Bx
1*	9	23.17	9	26.17	9	30.50
2	8	17.17	21	20.83	21	24.67
3	21	17.00	8	20.67	3	24.50
4	11	16.33	11	20.17	8	23.33
5	24	16.17	24	19.83	24	23.00
6	23	15.83	23	18.83	11	22.83
7	15	14.50	3	18.67	23	22.17
8	16	13.50	15	18.17	5	21.00
9	19	13.50	5	18.00	2	20.93
10	3	13.33	19	17.17	16	20.93
11	17	12.67	2	16.83	4	20.83
12	10	12.50	16	16.67	19	20.67
13	2	12.00	17	16.67	15	20.33
14	5	12.00	4	15.17	20	19.67
15	13	11.33	14	15.17	13	19.33
16	4	10.67	13	15.00	14	18.17
17	14	10.00	12	14.5	12	17.83
18	12	9.83	20	13.83	17	17.00
19	18	9.77	10	13.33	10	16.50
20	7	9.43	1	12.33	22	16.33
21	20	8.67	22	12.17	18	16.20
22	22	8.67	18	11.33	1	14.33
23	1	7.67	7	10.83	7	13.53
Prom nivel		12.86		16.62		20.2

Nivel 1=segmento de abajo del tallo, Nivel 2= segmento de en medio del tallo, Nivel 3= segmento de arriba del tallo adherido a la base de las hojas superiores.

3.7.1.3. Heredabilidad en sentido estricto (h^2) en grados brix ($^{\circ}\text{Bx}$) de tallo.

Los valores de heredabilidad encontrados durante el análisis fueron muy altas. En heredabilidad a nivel de individuo ($h^2_i=1$) en los tres niveles, de igual manera la heredabilidad a nivel de familia (h^2_f) se registró con valores muy altos (Figura 3.5) los valores muy elevados en heredabilidad posiblemente asociado a un efecto materno en las familias y que en forestales se pierde a los dos años y en esta especie es posible que se pierda a edades mayores, ya que no se han realizado muchos estudios en esta especie.

Nivel 1=segmento de abajo del tallo, Nivel 2= segmento de en medio del tallo, Nivel 3= segmento de arriba del tallo adherido a la base de las hojas superiores.

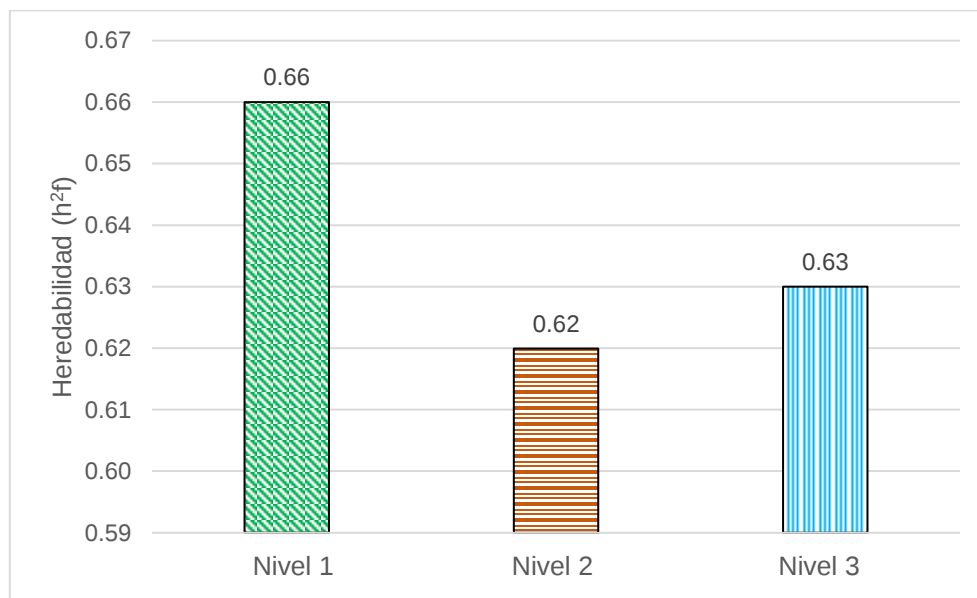


Figura 3.5 Valores de heredabilidad de familia obtenidos en el análisis de $^{\circ}\text{Bx}$ en niveles de tallo, de un ensayo de progenies de 23 familias de *Agave cupreata* Trel., & Berger en jardín común de Arroyo colorado, en el municipio de Morelia.

3.7.1.4. Resultados del análisis de varianza en variables de crecimiento.

El análisis mostró diferencias significativas entre las 23 familias analizadas, en las tres variables medidas ($P < 0.05$), comportándose de manera diferenciada al momento de ser analizadas, como respuesta de las familias al periodo en el que se encontraban. El cuadro 3.5 muestra la jerarquía de las variables de crecimiento de las 23 familias ($P < 0.05$), analizadas durante este ensayo, donde, se observan las familias que presentan mayor cantidad de °Bx en hojas y tallo, separando las familias en tres grupos (buenas, moderadas y malas), que permitieron observar el comportamiento de las familias en concentración de °Bx en relación con las variables de crecimiento, siendo las familias 20 (8.67-23.38 °Bx), 11 (7.73-22.83 °Bx) y 21 (8.39-24.63 °Bx) las que se mantienen entre los primeros lugares para la variable altura y °Bx en tallo y hojas, manteniéndose las familias 20 y 11 se mantienen entre los primeros lugares, mientras la 21 baja a las moderadas y donde se encuentran las familias 24 (10.41-24 °Bx), que sube a las primeras posiciones en la variable largo de hoja, la familias 3 que se mantuvo entre las moderadas en las cuatro variables y la 23 (7.98-22,17 °Bx) que se mantuvo entre las moderadas en largo y ancho de hoja y bajó a las malas en altura y diámetro.

Cuadro 3.5. Jerarquía de medias de familia en variables de crecimiento de un ensayo de progenies de 23 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* Trel. & Berger en jardín común, durante el periodo febrero-abril 2019, en Arroyo Colorado, municipio de Morelia, Michoacán.

Orden	Familia	Altura (cm)	Familia	Diámetro (cm)	Familia	Largo de hoja (cm)	Familia	Ancho de hoja (cm)
1	20	24.33	7	30.00	1	19.43	20	11.17
2	11	23.90	11	29.33	11	19.33	1	9.50
3	2	22.83	22	28.00	2	18.77	13	9.47
4	7	21.67	4	26.17	22	18.57	11	9.40
5	1	21.33	20	24.17	20	18.27	2	9.27
6	13	21.33	10	23.83	7	17.07	7	9.13
7	22	21.00	2	23.67	21	17.07	4	8.77
8	21	19.50	1	22.50	13	16.47	24	8.73
9	24	19.40	17	22.00	4	16.10	22	8.63
10	3	19.00	24	21.67	16	15.57	16	8.53
11	16	18.50	13	21.07	18	14.57	21	8.10
12	4	18.17	21	20.83	24	14.43	3	7.80
13	17	17.17	3	17.27	3	14.17	5	7.80
14	23	16.50	14	17.17	10	13.97	18	7.73
15	10	16.33	16	16.50	17	13.77	17	7.33
16	18	16.33	23	15.50	5	13.73	23	7.20
17	5	16.17	18	15.33	23	13.67	10	6.87
18	8	15.60	8	13.67	14	12.33	8	6.37
19	14	15.10	5	13.17	8	12.20	14	6.37
20	9	11.83	19	12.27	15	10.10	19	5.93
21	19	11.17	15	12.00	9	10.00	9	5.43
22	12	10.50	9	11.77	19	9.83	12	5.13
23	15	9.77	12	8.83	12	9.63	15	5.07

*En las familias que sobresalen en las variables de las hojas, mientras que líneas punteadas las familias que sobresalen en tallo.

3.8. DISCUSIÓN.

El periodo durante el cual se realizó este análisis quedó circunscrito a una época de sequía, de tal manera que, además del estrés inherente a la altura sobre el nivel del mar a la cual se instaló en ensayo y al factor hídrico de la temporada, las familias de agave ya habían sido expuestas a una helada. Razón por la cual, se observaron hojas quemadas y la pérdida de las mismas en algunas plantas.

Las Orientaciones no muestran diferencias significativas razón por la cual se descartó del resto de los análisis ($P \geq 0.05$).

Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en niveles de hoja, que indican que cada nivel de hoja es distinto entre sí, de tal manera que el nivel 2 que corresponde a las hojas de la parte media fue el que presentó la mayor cantidad de °Bx. Esto podría deberse a que es madura y activa fotosintéticamente, a diferencia de las de arriba que son más jóvenes o las de abajo, son hojas que entre más maduras y cerca de la superficie del suelo, fungen más como almacenadoras de agua, siendo las primeras en secarse cuando la planta requiere de agua en periodos de escases

Entre distancias de hojas se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) que identifican las distancias 1, 2, y 3 cm., como las que contenían mayores promedios de °Bx, siendo entre ellas la distancia 1 cm la que presentó mayor promedio, es importante mencionar aquí, que estas distancias corresponden a la parte de la base más unida al tallo, reportada como disco basal (caracterizada por su coloración blanca). Avendaño-Azarrate *et al.*, (2016) reporta valores de 5.04 °Bx a 7.40°Bx en hojas de plantas de *A. cupreata* y cercanos a los encontrados en los promedios por distancias de hoja (5.90°Bx -8.42°Bx)

Mientras que, en los niveles de tallo, se observan que son diferentes entre sí, destacando el nivel 3 que corresponde a la muestra de la parte de arriba del tallo y que está más cercana a las hojas de nueva formación, además que de manera general las

familias mostraron promedios °Bx mayores a los encontrados en hojas, lo que indica que el tallo funge como un reservorio de azúcares y es aquí donde se concentraron en mayor cantidad durante este periodo medido. Los promedios encontrados son menores a los reportados por Bautista-Justo *et al.* (2001) quienes encuentran valores promedios de 25.36 a 31.8 °Bx en jugo crudo de procedencias de *A. tequilana* Weber, y que además correlaciona positivamente los °Bx con los ART (azúcares reductores totales), mientras que el valor máximo es de 35.5°Bx mayor que los reportados en *A. tequilana* (30.7°Bx). Es posible que la diferencia entre niveles esté relacionada a que la parte de arriba está más en contacto con las hojas generadoras de azúcares y la de abajo además de almacenar, proporcionan la nutrición de este energético a las raíces.

Sánchez-Quezada *et al.*, 2016, reportaron valores de 9°Bx a 14.1°Bx en muestras de agua miel de diferentes individuos de *A. americana*, durante el periodo de mayo en 2013, que coinciden con los promedios encontrados en °Bx de jugo en hojas de agave de este trabajo y con los valores desde moderados hasta bajos en el caso de tallo, además encontraron que la cantidad de °Bx cambian con la fecha en que se realiza la medición, esto al registrar un descenso en °Bx durante noviembre del mismo año; destacando que las plantas de agave concentran mayor cantidad de azúcares durante el mes de mayo debido a las condiciones de estrés por sequía o dicho de otra manera, la pérdida de agua por la sequía, permite registrar azúcares en mayor concentración. El uso del agua almacenada permite a la planta sobrevivir durante el periodo de estrés por la sequía hasta que llegue el periodo de lluvias.

Los valores de heredabilidad encontrados en tallo, durante este estudio son considerados altos, superando el valor teórico de 1 en heredabilidad a nivel de individuo (h^2_i), mientras que los valores de heredabilidad a nivel de familia (h^2_f), los valores fueron considerablemente altos $h^2_f \leq 0.62$, similares a los reportados por Silva-Cifuentes *et al.*, (2011) en heredabilidad en sentido amplio, en caña de azúcar, donde los valores reportados en °Bx fueron considerados altos a los 12 meses de evaluación $H^2 = 0.62$, mientras a los 8 ($H^2 = 0.77$) y 10 ($H^2 = 0.81$) meses, fueron superiores a los

encontrados en este estudio. Hernández-Bautista et al., (2014), reportaron valores altos de $H^2=0.86$ para grados brix.

Los valores de heredabilidad obtenidos fueron considerablemente altos, razón por la cual se deben tomar con cautela, ya que es posible que sean un efecto de la fórmula y/o a un posible efecto materno.

Por otra parte, de acuerdo al análisis que se realizó por distancias-niveles-orientaciones, es decir con las variables combinadas de °Bx de hoja, se identifican las familias 3, 5, 9 y 20, como las que sobresalen con los mayores promedios de °Bx.

Mientras que, al seleccionar por variables separadas, en orientación sobresalen las familias 3, 5, 9, 16, 19, 20 y 24; en niveles de hoja, las familias fueron 3, 5, 9, 19, 20 y 24; finalmente en distancias las familias sobresalientes fueron las familias 3, 5, 16, 19, 20 y 24. De tal manera que, al seleccionar de manera general entre las tres variables, las familias **3, 5, 19, 20 y 24**, son las que sobresalen en la producción de °Bx en hojas.

En el caso del tallo, las familias que sobresalen son las familias **8, 9, 11, 21, 23 y 24**, que presentan la mayor cantidad de °Bx en promedios generales por familia, sería a nivel de tallo la mejor consideración a seleccionar, ya que es donde se almacena en mayor volumen y mayor concentración los azúcares.

Al comparar las familias que presentan los promedios de °Bx más altos contra los promedios que obtuvieron en tamaño, se encontró que hay dos familias que se muestran con valores elevados de °Bx y que presentan las tallas más grandes y se mantienen estables en las cuatro variables medidas, siendo las familias **11 y 20**; mientras que las familias 21 y 24 se mueven entre las variables con valores altos y moderados; mientras que la familia 3 se mantiene en los valores moderados y cercana a los valores altos; las familias 23 y 5 son inestables entre los valores moderados y bajos; y las familias 8, 9, 15 y 19 son estables en los valores más bajos en promedios de tamaño en las variables de desarrollo.

En base a los ya mencionado y a nuestros objetivos iniciales, podemos proponer una selección de familias con mejores promedios de °Bx y de mayor tamaño; siendo las familias 11, 20, 21 y 24 que muestran valores altos de °Bx ya sea en hoja y/o tallo y mayores tallas en jardín común. Silva-Cifuentes *et al* (2011) identifica 11 variedades de caña de azúcar comerciales, con valores elevados de azúcares en comparación con otra variedad de mayor importancia comercial y además presentan valores de H^2 (heredabilidad en sentido amplio) altos, lo que indica que esta variable medida es altamente heredable.

Es necesario aclarar, que será necesario observar si este comportamiento se mantiene después de dos años en campo, debido a que en jardín común las plantas estaban sujetas a estrés por haber sido establecidas fuera del intervalo altitudinal, además, la medición hecha en abril corresponde al momento de mayor estrés, y muchas de estas plantas con altos niveles de azúcares podría ser una respuesta momentánea o al daño recibido, la familia 4 a diferencia de lo que se esperaba, no registró daño por heladas, sin embargo, se esperaba que el azúcar era la causante de la protección, no fue así, ya que mostró niveles de azúcar por debajo de la media general.

3.9. CONCLUSIÓN

Los niveles en hojas muestran diferencias significativas y el nivel 2 que corresponde a la hoja media es la que se destaca con una mayor producción de azúcares (anexo 12).

Las distancias 1, 2 y 3 cm son las más cercanas al tallo y las que presentan la mayor cantidad de °Bx (anexo 13).

El análisis permite identificar a las familias 3, 5, 19, 20 y 24 como las que presentan mayor producción de °Bx en hojas; mientras que las familias 8, 9, 11, 21, 23 y 24, con mayor acumulación de azúcares en tallo, como una respuesta genética de las familias.

Las familias 11, 20, 21 y 24 se presentan como mejores candidatas a propuesta de selección por mayores promedios de °Bx y tamaño

3.10. BIBLIOGRAFÍA

- ✚ Avendaño-Arrazate, C., Iracheta-Donjuan, L., Gódinez-Aguilar, J., López-Gómez, P., y Barrios-Ayala, A., (2016). Caracterización morfológica de *Agave cupreata*, especie endémica de México. *Phyton, International Journal of Experimental Botany*, 84(1), 148-162.
- ✚ Ávila-Núñez, R., Rivas Pérez, B., Hernández Motzezak, R., y Chirinos, M. (2012). Contenido de azúcares totales, reductores y no reductores en *Agave cocui* Trelease. *Multiciencias*, 12 (2), 129-135
- ✚ Bautista-Justo, M., García-Oropeza, L., Salcedo-Hernández, R., y Parra-Negrete, L. (2001). Azúcares en agaves (*Agave tequilana* Weber) cultivados en el estado de Guanajuato. *Acta Universitaria*, 11 (1), 33-38.
- ✚ Consejo Regulador del Mezcal (2018). Informe estadístico 2018. Oaxaca, México. 30 p. Fecha de consulta: 25 de junio de 2019
<http://www.crm.org.mx/informes.php>
- ✚ Colunga-GarcíaMarín. P. y Zizumbo-Villarreal D. (2007). El tequila y otros mezcales del centro-occidente de México: domesticación, diversidad y conservación de germoplasma. 10.13140/RG.2.1.1266.1281.
- ✚ Falconer, DS y Mackay, TFC (2001). Introducción a la genética cuantitativa. ed. Acribia, Zaragoza, España, 163.
- ✚ García-Mendoza, A. (2007). Los agaves de México. *Ciencias*, núm. 87, pp. 14-23.
- ✚ Hernández-Bautista A., Lobato-Ortiz R., Cruz-Izquierdo S., García-Zavala J.J., y Chávez-Servia J. L. (2014). Variación fenotípica, heterosis y heredabilidad de una crusa interespecífica de jitomate. *Interciencia* 39 (5), 317-332.
- ✚ Hodgson, W. C. (2001). *Food plants of the Sonoran Desert*. University of Arizona Press.

- ✚ Illsley, C.G., (2004). Proyecto TS (2002). Manejo sustentable del maguey papalote de Chilapa. CONABIO-GEA.
- ✚ Illsley, C., Vega, E., Pisanty, I., Tlacotempa, A., García, P., Morales, P., y Calzada, M. (2007). Maguey papalote: hacia el manejo campesino sustentable de un recurso colectivo en el trópico seco de Guerrero, México. En *lo Ancestral hay Futuro: del Tequila, los Mezcales y otros Agaves*, 319-338.
- ✚ López, M. G. y Mancilla-Margalli, N. A. (2007). La naturaleza de los fructooligosacáridos en las plantas de agave. *Avances recientes en la investigación de fructooligosacáridos*, 2, 47-67.
- ✚ Luna-Zamora, R. (1991). La historia del tequila, de sus regiones y sus hombres (No. 080 R4 v. 4). Consejo Nacional para la Cultura y las Artes. México.
- ✚ Mancilla-Margalli, N. A., y López, M. G. (2006). Water-soluble carbohydrates and fructan structure patterns from Agave and Dasylirion species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(20), 7832-7839.
- ✚ Manjarrez Silva, J. (2001). Selección natural, genética cuantitativa y evolución en culebras. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 8(1), 55-61.
- ✚ Nobel, P. S., Castañeda, M., North, G., Pimienta-Barrios, E., y Ruiz, A. (1998). Temperature influences on leaf CO₂ exchange, cell viability and cultivation range for Agave tequilana. *Journal of Arid Environments*, 39(1), 1-9.
- ✚ NMX-F-274-1984. Diario Oficial de la Federación: Determinación del grado brix en muestras de meladura; masas cocidas; mieles "a" y "b" de refinería y miel final. por método hidrométrico. Agosto 2, 1984.
- ✚ NMX-F-436-SCFI-2011: Industria azucarera y alcoholera-determinación de grados brix en jugos de especies vegetales productoras de azúcar y materiales azucarados-método del refractómetro. Septiembre 19, 2012. Consultado 15 noviembre 2017:
<http://www.cndsca.gob.mx/eficienciaproductiva/normas/2013/NMX-f-436-SCFI-2011.pdf>

- ✚ Ramírez-Tobías, H. M., Peña-Valdivia, C. B., y Aguirre, J. R. (2014). Respuestas bioquímico-fisiológicas de especies de Agave a la restricción de humedad. *Botanical Sciences*, 92(1), 131-139.
- ✚ Sánchez-Quezada V., Concha- Herrera V., Prieto-Contreras L., y Carranza Téllez J. (2016). Encapsulación del jarabe de agave. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 1 (1). 600-605
- ✚ Sánchez-Vargas, N., Aparicio Rentería, A. y Brito Miranda, M. (2015). Programa de mejoramiento genético para *Agave cupreata* Trel. & Berger. Págs.: 105-114, en: Aspectos sobre el Manejo y Conservación de Agaves Mezcaleros en Michoacán, Martínez-Palacios A., J.L. Morales-García y S. Guillén Rodríguez (eds.), Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo – Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación - Consejo Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación. Michoacán México. ISBN: 9786078116430.
- ✚ SAS 9.4 TS Level 1 M4 X64 _10 PRO Plataforma versión para Windows 1.0.17134. Copyright (c) 2002-2012 by SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. All Rights Reserved.
- ✚ Silva-Cifuentes, E., Castillo González, F., Molina Galán, J. D., Benítez Riquelme, I., Santacruz Varela, A., y Castillo Torres, R. (2011). Selección de progenitores, varianzas genéticas y heredabilidad para acumulación temprana de sacarosa en caña de azúcar. *Revista fitotecnia mexicana*, 34(2), 107-114.
- ✚ Yamada, Y. (1962). Genotype by environment interaction and genetic correlation of the same trait under different environments. *The Japanese journal of genetics*, 37(6), 498-509.
- ✚ Zapata, A. G. V., y Nabhan, G. P. (2003). Tequila: a natural and cultural history. University of Arizona press.
- ✚ Zobel B. y Talbert J. (1988). Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Editorial Limusa. México, México, 545 p.

VII.-DISCUSIÓN GENERAL.

Los resultados mostraron que las familias de *A. cupreata* evaluadas durante estos ensayos, mantienen diferencias significativas ($P < 0.05$), entre fechas de medición, y se comportan de manera diferenciada dependiendo de la fecha en que se realizaron las evaluaciones.

El crecimiento de las variables medidas en jardín común y en sitios de plantación, se mostró como una disminución de tallas entre fechas, donde el mes de abril mostró los valores más bajos, lo que condujo a una disminución y no en aumentos coincidiendo con Castellanos-Acuña *et al.* (2015), quienes encontraron disminuciones significativas en crecimiento en especies forestales *Pinus. devoniana* arriba de 650 m de desplazamiento altitudinal ascendente o una reducción de 1.58C con la transferencia a sitios más fríos y en *P. pseudoestrobis* arriba de 400 m de desplazamiento altitudinal ascendente y con Mátyás *et al.*, (2010) quienes atribuyeron la disminución de tallas y vigor a sitios áridos-extremos. La reducción de las variables fue particularmente el diámetro, mismo que se asocia a su respuesta fisiológica de protección a las condiciones ambientales, donde el diámetro se caracteriza como una variable adaptativa de las especies a las condiciones de clima extremos (frio y sequía), siendo un mayor diámetro reflejo de vigor en la planta lo que le atribuye mayor posibilidad de supervivencia (Sánchez y Hernández-Zepeda, 2004).

Siendo la plantación dos, donde se observó mayor inestabilidad por parte de las familias, muy posiblemente causado por las características propias del suelo del sitio, que presentaba un nivel de acidez muy elevado ($pH=4.85$), una capa superficial muy delgada y no se considera como un suelo que retenga suficiente agua para mantener a la vegetación existente, a pesar de que durante el periodo de adaptación fue donde respondieron de manera más favorable.

Destacando que las familias que fueron evaluadas en jardín común al ser instaladas en campo en las plantaciones, las que presentaron mayor tamaño en jardín común, siguieron siendo más grandes en plantación particularmente las familias 4, 1, y 2 en

ese orden, a las que se les sumó la familia 24 y en tres de cuatro evaluaciones la familia 11, solo en la plantación de Charo.

Sin embargo, en crecimiento durante los cuatro periodos las familias 11 y 4 en los dos ensayos, fueron las que se mostraron en el grupo de las mejores durante dos periodos en el sitio de Charo, mientras que en el sitio de Tzitzio solo la familia 11, sin coincidir con las familias 7, 21 y 15 que destacaron en jardín común para las variables medidas. Mientras que los valores de heredabilidad calculados durante las fechas se presentan en su mayoría altos, éstos fueron incrementándose y variando entre fechas de medición desde jardín común, es decir la heredabilidad cambió con la edad de las plantas (Brand *et al.*, 2001), siendo los valores más bajos en diámetro (h^2_i nov-2017=0.10) y el resto de los valores de moderadamente altos (h^2_i altura nov-2017=0.31; h^2_i altura abril-2018=0.37) a altos (h^2_i diámetro nov-2017=0.49); mientras que los valores de h^2_i , variaron de altos a muy altos entre fechas (altura nov-2017=0.65; diámetro nov-2017=0.39; altura abril-2018=0.65; diámetro abril-2018=0.39). Donde se observó un incremento de noviembre a abril, muy posiblemente debido al estrés hídrico al que estaban sometidas las familias.

Mientras que, en plantaciones, los valores de heredabilidad, oscilaron entre plantaciones y a su vez entre fechas, para todas las variables, tanto en heredabilidad de familia como en heredabilidad a nivel de individuo, siendo constante el valor más elevado en heredabilidad de familia. La evaluación de las variables en agosto-2018, mostró valores elevados, siendo los valores muy cercanos a los obtenidos en jardín común durante la evaluación del mes de abril, donde destacaron los valores del ensayo dos, donde las heredabilidades en Charo se mostraron más elevados (h^2_i altura agosto-2018=0.64 y h^2_i diámetro agosto-2018=0.67; h^2_f altura agosto-2018=0.81 y h^2_f diámetro agosto -2018= 0.89), mientras que en Tzitzio, los valores en el mismo ensayo fueron de bajos (h^2_i diámetro agosto-2018=0.10) a moderadamente altos (h^2_i altura agosto-2018=0.23, h^2_f altura agosto-2018=0.43 y h^2_f diámetro agosto -2018=0.40).

Los valores de heredabilidad obtenidos durante este estudio deben tomarse con cautela, ya que pueden ser un reflejo de la formula o una respuesta materna (efecto

materno) que en forestales se pierde aproximadamente a los dos años y en esta especie se desconoce y es posible que perdure durante más años y eso se reflejara en heredabilidades elevadas.

De manera similar se mostraron los valores en las tres fechas siguientes, donde los valores más elevados se presentaron en el ensayo dos y en el sitio de Charo. Siendo en noviembre los valores más altos en noviembre que en abril contrastando con lo obtenido en jardín común, esto muy posiblemente debido a que las plantas no se encontraban en su ambiente natural. Mientras que los valores obtenidos en Tzitzio es muy probable que sea asociado al daño ocasionado por el manejo que le ha dado el productor y en segundo lugar a la acidez del suelo y su poca capacidad de retención de agua del sitio.

Ahora bien, una de las variables de importancia en la producción de mezcal son los °Bx, que se midieron durante el periodo seco y del cual se identifican las familias 11, 20, 21 y 24, con mayores tamaños y concentración de °Bx, contrastando con las familias que se identifican en jardín común y plantaciones en campo, como las que presentan mayores tallas, esto con base en la agrupación de familias (Bueno, moderado y mal desempeño), si bien, no tuvieron un desempeño sobresaliente durante algunas de las evaluaciones, si aparecen entre las ocho mejores, la familia 11 se desempeñó bien en el sitio de Charo excepto durante el mes de abril-2019 en el ensayo uno; mientras que en el sitio de Tzitzio tuvo promedios altos en agosto-2019 en el ensayo uno y en agosto-2018 en el ensayo dos. La familia 21 se destacó en el ensayo dos, en abril y agosto-2019, en Charo; mientras que en Tzitzio lo hizo en noviembre-2018 y agosto-2019 en el ensayo uno, mientras que en el ensayo dos lo hizo en las fechas agosto-2018, abril y agosto-2019 en el ensayo dos. Mientras que la familia 24 se destaca en todas fechas y en los dos ensayos de Charo, mientras que en Tzitzio solo lo hace en noviembre-2018 y abril-2019 en el ensayo dos. Si bien las familias mencionadas no tuvieron un buen desempeño en todas las mediciones, ensayos y sitios, es importante mencionar que son de las plantas más grandes en sitios de plantación y es posible que a futuro den mejores resultados.

VIII.- CONCLUSIÓN GENERAL.

Es posible proponer una selección de familias en condiciones de jardín común a edades tempranas y en fechas de evaluación diferenciadas, considerando variables de crecimiento como altura y diámetro.

En condiciones de plantación se pueden identificar familias con un buen desempeño en las dos plantaciones y que responden de manera favorable a pesar del ambiente en que se encuentren.

Siendo el crecimiento en las variables, un factor que se muestra con valores bajos a negativos en algunos periodos, por ello es preferible que se realicen las comparaciones de forma anual en el mismo periodo, para que se pueda observar un crecimiento más acertado en las variables.

La heredabilidad muestra incrementos que permiten observar que los valores dependerán del periodo de medición y de las condiciones ambientales en que se encuentren las familias.

Es importante considerar el ensayo dos como prioritario debido a que es en éste donde se presenta mayor estabilidad en las familias durante las evaluaciones.

Los valores de °Bx permiten identificar el Nivel 2 que corresponde a las hojas maduras y distancia del disco basal (1, 2 y 3 cm) con mayor concentración de azúcares en plantas de agave y que permitirán a futuro evitar el análisis destructivo de plantas y realizar la evaluación de forma más simple.

Se pudieron identificar familias que producen las mayores cantidades de °Bx en condiciones de jardín común y que también se presentan entre las mejores en sitios de plantación.

IX.-PERSPECTIVAS Y/O RECOMENDACIONES.

El trabajo realizado durante este estudio dio respuesta varias interrogantes respecto a la especie *A. cupreata* y su manejo, sin embargo, también dio apertura a más interrogantes, razón por la cuál es importante realizar más estudios.

Capítulo uno:

En condiciones de jardín común es importante realizar estudios a nivel de jardín común en condiciones altitudinales recomendables para la especie, y en distintos lugares.

Capítulo dos:

Es importante continuar con las mediciones en los periodos importantes para la especie como el periodo de lluvias, estiaje y al final del temporal de lluvias.

Evaluar el Incremento de las plantas de manera anual para obtener incrementos más significativos.

Capítulo tres:

Es de gran importancia repetir estos estudios en periodos favorables para la planta en temporal de lluvia (julio-agosto) y después del temporal de lluvias en noviembre (previos al estiaje), para descartar el efecto de estrés hídrico y por helada con estas mismas plantas considerando que se procuró su supervivencia y se encuentran instalas en jardín común en Arroyo colorado, (Anexo 28).

Cuantificar hojas por planta y por familia, para poderlo asociar con la producción de °Bx en las familias.

Evaluar en diferentes edades y comparar con otras especies, para correlacionar °Bx, especies y edades.

Medir tamaño de cada hoja medida, así como el ancho y grosor de cada centímetro medido, para poder asociar la producción de °Bx con el ancho y distancia de la hoja,

ya que durante el análisis fue evidente una gran diversidad en morfología de las hojas de las familias (Anexo 29) y en área (Anexo 30), en caso de que el enfoque fuera más fisiológico.

Analizar azúcares reductores directos (ARD) y totales (ART), los cuales presentan una correlación directa con los °Bx y están asociados a la producción de alcohol.

Es importante que se dé seguimiento a este trabajo que hasta esta evaluación permitió identificar familias con buena respuesta en variables en jardín común, plantaciones y concentración de °Bx que son factores de importancia para los productores.

Además, es recomendable comenzar a desarrollar un método biotecnológico exitoso que permita realizar la clonación de las familias que en su momento lleguen a ser seleccionadas, poniendo énfasis en la parte basal de la hoja, así como detectar posibles hibridaciones dentro de las familias estudiadas.

X.-BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- ✚ Aguirre-Dugua, X. y Eguiarte, L.E. (2013). Genetic diversity, conservation and sustainable use of wild *Agave cupreata* and *Agave potatorum* extracted for mezcal production in Mexico. *Journal of Arid Environments* 90: 36-44.
- ✚ Andrade J. L. De la Barrera E. Reyes-García C. Ricalde M. F. Vargas-Soto G. Cervera C. J. (2007). El metabolismo ácido de las Crasulaceas: Diversidad, Fisiología ambiental y productividad. *Boletín de la sociedad Botánica de México*. 81:37-50
- ✚ Bernardo, R. 2002. *Breeding for Quantitative Traits in Plants*. Stemma Press, Minnesota.
- ✚ Castro-Díaz, A. S., y Guerrero-Beltrán, J. A. (2013). El agave y sus productos. *Temas selectos de Ingeniería de alimentos*, 7(2), 53-61.
- ✚ Castellanos-Acuña, D., Lindig-Cisneros, R., y Sáenz-Romero, C. (2015). Altitudinal assisted migration of Mexican pines as an adaptation to climate change. *Ecosphere*, 6(1), 1-16.
- ✚ Consejo Regulador del Mezcal (2018). Informe estadístico 2018. Oaxaca, México. 30 p. Fecha de consulta: 25 de junio de 2019
<http://www.crm.org.mx/informes.php>
- ✚ Colunga-GarcíaMarín. P. y Zizumbo-Villarreal D. (2007). El tequila y otros mezcales del centro-occidente de México: domesticación, diversidad y conservación de germoplasma. 10.13140/RG.2.1.1266.1281.
http://www.crm.org.mx/PDF/INF_ACTIVIDADES/INFORME2018.pdf
- ✚ Cornide, T. M. (2001) La genética vegetal, el mejoramiento y la sociedad. *Cultivos Tropicales*. 22(3), 73-82
- ✚ Fehr, W. R. (1987). *Principles of cultivar development: crop species*. Macmillan publishing company.
- ✚ García-Mendoza A. y Galván V. R. (1995). Riqueza de las familias Agavaceae y Nolinaceae. *Bol. Soc. Bot. México*. México 56: 7-24

- ✚ García-Mendoza, A., Ordoñez, M., y Briones, M. (2004). Agaváceas. Biodiversidad de Oaxaca, pp. 159-169.
- ✚ García-Mendoza J. A. (2007). Los agaves de México. *Ciencias*. México. 87.pp 14-23.
- ✚ García-Herrera E. J. Méndez-Gallegos S. J. y Talavera-Magaña D. (2010). El género *Agave* spp. En México: principales usos de importancia socioeconómicas y agroecológica. *Revista Salud Pública y Nutrición*, Special Ed. 5, 109-129.
- ✚ Geydan T. D. y Melgarejo L. M. (2005). Metabolismo de las Acido Crasulaceas. Colombia. Vol 10 num 2. Pp 3-13.
- ✚ Goncalves de Lima O. (1956). El maguey y el pulque en los códigos mexicanos, ilustraciones Honorima Lima, México, 303 pp.
- ✚ Ipinza R. (1998). Importancia del Mejoramiento genético a nivel mundial. Pp 1-25.
- ✚ Mátyás, C., Berki, I., Czúcz, B., Gálos, B., Móricz, N., y Rasztoivits, E. (2010). Future of beech in Southeast Europe from the perspective of evolutionary ecology. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 6, 91-110.
- ✚ Martínez-Palacios, A., Gómez-Sierra, J. M., Sáenz-Romero, C., Pérez-Nasser, N., y Sánchez-Vargas, N. (2011). Diversidad genética de *Agave cupreata* Trel. & Berger. Consideraciones para su conservación. *Revista fitotecnica mexicana*, 34(3), 159-165.
- ✚ Brand, M. y Gutierrez C., Braulio e Ipinza, R. (2001). Comportamiento de la heredabilidad y los "rankings" individuales en un ensayo de progenies-procedencias de *Eucalyptus nitens* en función del tiempo e intervenciones de raleo.
- ✚ NMX-F-274-1984. Diario Oficial de la Federación: Determinación del grado brix en muestras de meladura; masas cocidas; mieles "a" y "b" de refinería y miel final. por método hidrométrico. Agosto 2, 1984.

- ✚ NOM-070-SCFI-1994. Diario Oficial de la Federación: Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-070-SCFI-1994, Bebidas Alcohólicas-Mezcal-Especificaciones. 17 de agosto de 1994. pp11
- ✚ Pérez-Hernández E. Chávez-Parga M. Del C. y González-Hernández J. C. (2016). Revisión del agave y el mezcal. Revista Colombiana de Biotecnología. 8 (1). pp148-164
- ✚ Sánchez, O. S., y Zepeda, C. H. (2004). Estudio morfológico de plántulas de la familia Bombacaceae en Quintana Roo, México. Foresta Veracruzana, 6(2), 1-6.
- ✚ Sánchez-Vargas N. M., Aparicio-Rentería A., y Brito-Miranda M. A. (2015). Programa de mejoramiento genético para *Agave cupreata* Trel. & Berger. En: Martínez-Palacios, A. Morales-García, J. y Rodríguez, S. (2015). Aspectos sobre manejo y conservación de Agaves mezcaleros en Michoacán. México. Pp 105-114.

ANEXOS

Anexo 1. Mapa del sitio uno, “Plantación Charo”, perteneciente al Señor Raúl Cortes.

2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056	2057	2058	2059	2060	2061	2062	2063	2064	2065	2066	2067	2068	2069	2070	2071	2072	2073	2074	2075	2076	2077	2078	2079	2080	2081	2082	2083	2084	2085	2086	2087	2088	2089	2090	2091	2092	2093	2094	2095	2096	2097	2098	2099	2100	2101	2102	2103	2104	2105	2106	2107	2108	2109	2110	2111	2112	2113	2114	2115	2116	2117	2118	2119	2120	2121	2122	2123	2124	2125	2126	2127	2128	2129	2130	2131	2132	2133	2134	2135	2136	2137	2138	2139	2140	2141	2142	2143	2144	2145	2146	2147	2148	2149	2150	2151	2152	2153	2154	2155	2156	2157	2158	2159	2160	2161	2162	2163	2164	2165	2166	2167	2168	2169	2170	2171	2172	2173	2174	2175	2176	2177	2178	2179	2180	2181	2182	2183	2184	2185	2186	2187	2188	2189	2190	2191	2192	2193	2194	2195	2196	2197	2198	2199	2200	2201	2202	2203	2204	2205	2206	2207	2208	2209	2210	2211	2212	2213	2214	2215	2216	2217	2218	2219	2220	2221	2222	2223	2224	2225	2226	2227	2228	2229	2230	2231	2232	2233	2234	2235	2236	2237	2238	2239	2240	2241	2242	2243	2244	2245	2246	2247	2248	2249	2250	2251	2252	2253	2254	2255	2256	2257	2258	2259	2260	2261	2262	2263	2264	2265	2266	2267	2268	2269	2270	2271	2272	2273	2274	2275	2276	2277	2278	2279	2280	2281	2282	2283	2284	2285	2286	2287	2288	2289	2290	2291	2292	2293	2294	2295	2296	2297	2298	2299	2300	2301	2302	2303	2304	2305	2306	2307	2308	2309	2310	2311	2312	2313	2314	2315	2316	2317	2318	2319	2320	2321	2322	2323	2324	2325	2326	2327	2328	2329	2330	2331	2332	2333	2334	2335	2336	2337	2338	2339	2340	2341	2342	2343	2344	2345	2346	2347	2348	2349	2350	2351	2352	2353	2354	2355	2356	2357	2358	2359	2360	2361	2362	2363	2364	2365	2366	2367	2368	2369	2370	2371	2372	2373	2374	2375	2376	2377	2378	2379	2380	2381	2382	2383	2384	2385	2386	2387	2388	2389	2390	2391	2392	2393	2394	2395	2396	2397	2398	2399	2400	2401	2402	2403	2404	2405	2406	2407	2408	2409	2410	2411	2412	2413	2414	2415	2416	2417	2418	2419	2420	2421	2422	2423	2424	2425	2426	2427	2428	2429	2430	2431	2432	2433	2434	2435	2436	2437	2438	2439	2440	2441	2442	2443	2444	2445	2446	2447	2448	2449	2450	2451	2452	2453	2454	2455	2456	2457	2458	2459	2460	2461	2462	2463	2464	2465	2466	2467	2468	2469	2470	2471	2472	2473	2474	2475	2476	2477	2478	2479	2480	2481	2482	2483	2484	2485	2486	2487	2488	2489	2490	2491	2492	2493	2494	2495	2496	2497	2498	2499	2500	2501	2502	2503	2504	2505	2506	2507	2508	2509	2510	2511	2512	2513	2514	2515	2516	2517	2518	2519	2520	2521	2522	2523	2524	2525	2526	2527	2528	2529	2530	2531	2532	2533	2534	2535	2536	2537	2538	2539	2540	2541	2542	2543	2544	2545	2546	2547	2548	2549	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573	2574	2575	2576	2577	2578	2579	2580	2581	2582	2583	2584	2585	2586	2587	2588	2589	2590	2591	2592	2593	2594	2595	2596	2597	2598	2599	2600	2601	2602	2603	2604	2605	2606	2607	2608	2609	2610	2611	2612	2613	2614	2615	2616	2617	2618	2619	2620	2621	2622	2623	2624	2625	2626	2627	2628	2629	2630	2631	2632	2633	2634	2635	2636	2637	2638	2639	2640	2641	2642	2643	2644	2645	2646	2647	2648	2649	2650	2651	2652	2653	2654	2655	2656	2657	2658	2659	2660	2661	2662	2663	2664	2665	2666	2667	2668	2669	2670	2671	2672	2673	2674	2675	2676	2677	2678	2679	2680	2681	2682	2683	2684	2685	2686	2687	2688	2689	2690	2691	2692	2693	2694	2695	2696	2697	2698	2699	2700	2701	2702	2703	2704	2705	2706	2707	2708	2709	2710	2711	2712	2713	2714	2715	2716	2717	2718	2719	2720	2721	2722	2723	2724	2725	2726	2727	2728	2729	2730	2731	2732	2733	2734	2735	2736	2737	2738	2739	2740	2741	2742	2743	2744	2745	2746	2747	2748	2749	2750	2751	2752	2753	2754	2755	2756	2757	2758	2759	2760	2761	2762	2763	2764	2765	2766	2767	2768	2769	2770	2771	2772	2773	2774	2775	2776	2777	2778	2779	2780	2781	2782	2783	2784	2785	2786	2787	2788	2789	2790	2791	2792	2793	2794	2795	2796	2797	2798	2799	2800	2801	2802	2803	2804	2805	2806	2807	2808	2809	2810	2811	2812	2813	2814	2815	2816	2817	2818	2819	2820	2821	2822	2823	2824	2825	2826	2827	2828	2829	2830	2831	2832	2833	2834	2835	2836	2837	2838	2839	2840	2841	2842	2843	2844	2845	2846	2847	2848	2849	2850	2851	2852	2853	2854	2855	2856	2857	2858	2859	2860	2861	2862	2863	2864	2865	2866	2867	2868	2869	2870	2871	2872	2873	2874	2875	2876	2877	2878	2879	2880	2881	2882	2883	2884	2885	2886	2887	2888	2889	2890	2891	2892	2893	2894	2895	2896	2897	2898	2899	2900	2901	2902	2903	2904	2905	2906	2907	2908	2909	2910	2911	2912	2913	2914	2915	2916	2917	2918	2919	2920	2921	2922	2923	2924	2925	2926	2927	2928	2929	2930	2931	2932	2933	2934	2935	2936	2937	2938	2939	2940	2941	2942	2943	2944	2945	2946	2947	2948	2949	2950	2951	2952	2953	2954	2955	2956	2957	2958	2959	2960	2961	2962	2963	2964	2965	2966	2967	2968	2969	2970	2971	2972	2973	2974	2975	2976	2977	2978	2979	2980	2981	2982	2983	2984	2985	2986	2987	2988	2989	2990	2991	2992	2993	2994	2995	2996	2997	2998	2999	3000	3001	3002	3003	3004	3005	3006	3007	3008	3009	3010	3011	3012	3013	3014	3015	3016	3017	3018	3019	3020	3021	3022	3023	3024	3025	3026	3027	3028	3029	3030	3031	3032	3033	3034	3035	3036	3037	3038	3039	3040	3041	3042	3043	3044	3045	3046	3047	3048	3049	3050	3051	3052	3053	3054	3055	3056	3057	3058	3059	3060	3061	3062	3063	3064	3065	3066	3067	3068	3069	3070	3071	3072	3073	3074	3075	3076	3077	3078	3079	3080	3081	3082	3083	3084	3085	3086	3087	3088	3089	3090	3091	3092	3093	3094	3095	3096	3097	3098	3099	3100	3101	3102	3103	3104	3105	3106	3107	3108	3109	3110	3111	3112	3113	3114	3115	3116	3117	3118	3119	3120	3121	3122	3123	3124	3125	3126	3127	3128	3129	3130	3131	3132	3133	3134	3135	3136	3137	3138	3139	3140	3141	3142	3143	3144	3145	3146	3147	3148	3149	3150	3151	3152	3153	3154	3155	3156	3157	3158	3159	3160	3161	3162	3163	3164	3165	3166	3167	3168	3169	3170	3171	3172	3173	3174	3175	3176	3177	3178	3179	3180	3181	3182	3183	3184	3185	3186	3187	3188	3189	3190	3191	3192	3193	3194	3195	3196	3197	3198	3199	3200	3201	3202	3203	3204	3205	3206	3207	3208	3209	3210	3211	3212	3213	3214	3215	3216	3217	3218	3219	3220	3221	3222	3223	3224	3225	3226	3227	3228	3229	3230	3231	3232	3233	3234	3235	3236	3237	3238	3239	3240	3241	3242	3243	3244	3245	3246	3247	3248	3249	3250	3251	3252	3253	3254	3255	3256	3257	3258	3259	3260	3261	3262	3263	3264	3265	3266	3267	3268	3269	3270	3271	3272	3273	3274	3275	3276	3277	3278	3279	3280	3281	3282	3283	3284	3285	3286	3287	3288	3289	3290	3291	3292	3293	3294	3295	3296	3297	3298	3299	3300	3301	3302	3303	3304	3305	3306	3307	3308	3309	3310	3311	3312	3313	3314	3315	3316	3317	3318	3319	3320	3321	3322	3323	3324	3325	3326	3327	3328	3329	3330	3331	3332	3333	3334	3335	3336	3337	3338	3339	3340	3341	3342	3343	3344	3345	3346	3347	3348	3349	3350	3351	3352	3353	3354	3355	3356	3357	3358	3359	3360	3361</
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	--------

Anexo 2. Mapa del Sitio dos “Plantación Tzitzio”, perteneciente al señor José Guadalupe.

[illegible]

	Ensayo 1
	Ensayo 2
	Relleno
	Bordes

Anexo 3. Jerarquización de medias de familias en cuatro fechas de medición, de ALTURA en un sub-ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.

Jerarquía	Charo								Tzitzio							
	Familia	ago-18	Familia	nov-18	Familia	abr-19	Familia	ago-19	Familia	ago-18	Familia	nov-18	Familia	abr-19	Familia	ago-19
1	4	14.20	4	17.04	1	20.50	4	25.70	4	15.51	4	16.81	4	21.04	4	21.33
2	2	14.03	1	16.73	4	20.25	1	23.71	18	12.67	18	14.10	11	16.65	11	18.87
3	1	14.00	2	15.70	2	18.77	2	22.61	12	12.47	21	14.09	21	16.19	12	18.59
4	24	13.31	24	14.46	24	18.19	8	21.89	11	12.40	23	13.50	12	16.13	23	18.23
5	11	12.78	10	14.42	11	17.91	11	21.88	9	12.12	2	13.38	16	15.70	24	17.86
6	7	12.56	11	14.34	12	17.05	18	20.86	21	12.04	22	13.32	6	15.48	3	17.20
7	12	12.51	8	13.43	9	17.00	24	20.85	1	11.97	20	13.30	18	15.42	20	17.08
8	18	12.48	7	13.21	18	16.91	7	20.08	22	11.92	7	13.26	23	15.29	6	16.85
9	9	11.88	18	12.81	8	16.83	14	20.00	23	11.89	1	13.21	20	15.14	21	16.50
10	10	11.81	3	12.58	10	16.33	10	19.98	16	11.83	24	13.12	1	14.94	17	16.30
11	8	11.80	20	12.50	7	16.21	12	19.57	3	11.73	11	13.04	24	14.91	15	16.15
12	3	11.59	19	12.39	14	16.14	23	19.06	10	11.63	12	13.02	2	14.63	19	15.96
13	23	11.12	14	12.38	16	15.55	17	19.00	24	11.46	3	12.99	7	14.57	1	15.93
14	17	11.08	23	12.28	23	15.53	3	18.95	7	11.42	6	12.28	3	14.45	9	15.80
15	21	11.03	21	12.19	17	15.45	21	18.40	2	11.33	15	12.05	17	14.43	16	15.77
16	22	10.88	9	12.17	22	15.30	9	17.86	6	11.08	9	11.83	15	14.34	18	15.55
17	5	10.88	5	12.07	20	15.21	19	17.72	20	11.06	19	11.83	22	14.17	22	15.46
18	19	10.87	12	12.01	3	15.14	22	17.60	15	10.86	16	11.70	19	14.04	8	15.43
19	13	10.53	17	11.94	19	15.00	5	17.59	5	10.68	17	11.65	14	14.00	7	14.88
20	6	10.33	16	11.77	5	14.71	20	17.33	17	10.48	14	11.48	10	13.59	10	14.85
21	16	10.30	15	11.53	21	14.49	16	17.25	14	10.45	10	11.21	9	13.36	2	14.78
22	14	10.29	6	11.31	6	14.18	6	17.13	19	10.33	5	11.04	13	13.05	5	14.65
23	20	10.29	22	11.23	13	14.05	13	16.00	13	9.40	13	11.02	5	12.73	14	14.65
24	15	10.00	13	10.96	15	13.15	15	15.50	8	9.28	8	10.33	8	10.97	13	12.45

Anexo 4. Jerarquización de medias de familias en cuatro fechas de medición, de DIÁMETRO en un sub-ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.

Jerarquía	Charo								Tzitzio							
	Familia	ago-18	Familia	nov-18	Familia	abr-19	Familia	ago-19	Familia	ago-18	Familia	nov-18	Familia	abr-19	Familia	ago-19
1	4	19.84	4	28.83	4	22.32	1	36.75	4	22.53	4	35.67	4	25.13	4	38.21
2	1	19.60	11	27.41	1	20.21	4	36.19	22	21.42	11	30.33	2	19.78	11	33.42
3	2	18.92	2	27.29	11	19.84	24	33.90	23	19.80	21	29.50	18	18.53	24	32.95
4	24	18.87	1	26.75	2	19.66	18	33.89	18	19.63	22	29.42	12	17.88	18	31.95
5	11	18.47	10	26.53	24	19.44	11	33.77	11	18.72	2	29.11	24	17.66	6	31.85
6	18	18.45	24	26.50	10	18.32	2	33.59	12	18.30	24	28.92	11	17.58	22	31.67
7	7	18.03	20	26.13	18	18.30	8	32.54	21	18.29	18	28.89	20	17.38	12	31.59
8	9	17.97	18	25.18	22	18.00	7	32.27	10	18.15	1	28.83	21	17.11	16	31.39
9	23	17.94	9	24.92	9	17.53	14	32.18	24	18.07	7	28.42	6	17.00	1	30.92
10	8	17.93	8	24.49	14	17.32	10	31.25	20	17.99	12	28.00	1	16.60	20	30.46
11	10	17.18	6	24.18	7	17.30	21	31.23	7	17.88	10	26.77	22	16.46	21	30.43
12	6	17.05	7	23.46	8	17.07	20	31.07	9	17.88	20	26.74	23	16.23	15	30.10
13	19	16.81	14	23.38	20	16.75	17	31.05	1	17.78	6	26.66	16	16.08	23	30.08
14	12	16.76	5	22.95	17	16.65	23	30.78	6	17.23	16	26.33	15	15.95	10	29.95
15	20	16.45	22	22.86	23	16.14	5	30.64	2	17.22	23	26.29	5	15.90	2	29.71
16	22	16.33	21	22.79	19	15.98	22	30.63	19	16.83	17	25.60	19	15.87	7	29.29
17	5	16.27	19	22.72	5	15.68	12	29.77	14	16.21	3	25.54	3	15.65	3	29.20
18	14	15.90	12	22.54	12	15.62	9	29.64	16	16.09	5	25.26	10	15.23	17	28.43
19	13	15.80	17	22.30	3	15.53	19	28.93	5	15.83	14	25.08	7	15.21	5	27.65
20	15	15.51	3	21.75	6	15.41	13	28.78	3	15.80	9	24.30	9	14.82	14	27.50
21	21	15.12	23	21.11	21	15.00	6	28.41	17	15.53	19	24.20	17	14.69	8	27.04
22	3	14.97	16	21.00	15	14.23	3	28.27	15	15.40	15	24.17	14	13.90	19	27.00
23	17	14.85	15	20.83	16	13.65	16	27.70	13	14.58	8	21.83	13	13.78	9	26.82
24	16	13.67	13	18.73	13	12.91	15	26.15	8	14.05	13	21.10	8	12.64	13	26.73

Anexo 5. Jerarquización de medias de familias en cuatro fechas de medición, de LARGO DE HOJA en un ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.

Jerarquía	Charo								Tzitzio							
	Familia	ago-18	Familia	nov-18	Familia	abr-19	Familia	ago-19	Familia	ago-18	Familia	nov-18	Familia	abr-19	Familia	ago-19
1	1	13.26	2	16.43	2	17.42	2	22.07	4	14.11	4	16.23	4	18.51	4	21.50
2	2	13.18	4	15.75	4	16.68	4	20.48	16	12.73	21	14.38	2	15.40	12	19.18
3	4	12.39	1	14.83	1	16.13	1	20.47	23	12.47	2	14.36	12	14.89	11	18.58
4	24	12.33	24	14.71	24	14.73	24	20.20	11	12.39	6	14.16	21	14.71	23	18.51
5	10	12.25	11	13.87	11	14.56	11	19.37	2	12.38	1	13.88	23	14.63	6	18.47
6	9	11.98	8	13.79	14	14.11	18	19.17	21	12.35	18	13.83	11	14.62	21	17.78
7	11	11.98	12	13.62	8	14.11	8	18.77	12	12.14	23	13.73	24	14.56	1	17.72
8	23	11.93	18	13.30	21	13.97	3	18.18	22	12.07	24	13.61	22	14.29	3	17.71
9	12	11.85	14	13.29	23	13.97	12	18.13	24	12.07	12	13.59	6	14.10	20	17.67
10	8	11.84	23	13.19	7	13.89	21	17.92	1	11.95	11	13.52	20	14.01	2	17.17
11	22	11.61	7	12.92	22	13.84	22	17.87	6	11.85	16	13.44	7	13.68	22	17.10
12	7	11.56	10	12.91	10	13.80	23	17.76	7	11.79	22	13.14	5	13.61	24	16.88
13	18	11.50	21	12.78	16	13.80	14	17.69	18	11.78	20	13.13	18	13.48	18	16.82
14	19	11.42	20	12.68	18	13.64	7	17.54	5	11.70	7	12.68	16	13.43	17	16.62
15	3	11.29	22	12.59	12	13.51	16	17.41	9	11.48	3	12.43	10	13.04	10	16.51
16	5	11.18	16	12.55	5	13.30	20	17.41	10	11.40	17	12.41	15	12.78	9	16.33
17	6	11.11	17	12.55	9	13.23	5	17.32	3	11.23	5	12.09	3	12.64	15	16.25
18	21	10.79	9	12.45	3	13.16	10	17.29	15	11.08	13	12.05	1	12.60	5	16.20
19	14	10.78	6	12.21	17	13.08	17	16.67	20	10.78	10	11.75	14	12.34	7	15.93
20	13	10.73	5	11.90	19	13.01	9	16.06	13	10.56	9	11.65	17	12.24	14	15.78
21	20	10.53	3	11.87	20	12.89	13	15.94	17	10.43	14	11.56	19	12.05	8	15.71
22	16	10.24	19	11.82	6	12.51	6	15.65	19	10.37	15	11.43	13	11.99	16	14.96
23	17	10.06	15	11.49	13	12.35	19	15.13	14	10.18	19	11.14	8	11.95	19	14.89
24	15	9.65	13	11.26	15	11.27	15	14.83	8	9.73	8	10.52	9	11.95	13	13.92

Anexo 6. Jerarquización de medias de familias en cuatro fechas de medición, de ANCHO DE HOJA en un ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.

Jerarquía	Charo								Tzitzio							
	Familia	ago-18	Familia	nov-18	Familia	abr-19	Familia	ago-19	Familia	ago-18	Familia	nov-18	Familia	abr-19	Familia	ago-19
1	23	8.04	4	9.33	4	8.53	24	11.78	4	8.13	4	8.98	4	9.34	4	11.00
2	1	7.98	2	8.60	1	8.17	4	11.38	24	7.36	18	7.79	24	7.65	12	9.41
3	4	7.60	1	8.55	2	7.98	1	11.29	23	7.03	2	7.48	12	7.64	11	8.98
4	2	7.53	24	8.28	24	7.32	2	11.09	18	6.97	24	7.47	23	7.36	2	8.68
5	24	7.44	18	7.53	18	7.22	11	10.24	1	6.89	12	7.23	22	7.19	20	8.68
6	18	6.94	23	7.52	14	6.95	18	10.14	2	6.88	21	7.15	7	7.11	23	8.63
7	11	6.46	11	7.37	12	6.93	21	9.99	12	6.71	1	7.09	18	7.00	24	8.48
8	7	6.29	9	7.18	21	6.75	12	9.89	21	6.48	23	7.08	2	6.85	3	8.45
9	12	6.18	10	7.18	23	6.61	3	9.66	11	6.43	22	6.50	1	6.84	1	8.42
10	10	6.18	20	7.14	11	6.60	7	9.09	10	6.18	11	6.44	20	6.79	18	8.30
11	14	6.13	12	7.11	16	6.52	14	9.09	6	6.13	13	6.41	21	6.79	6	8.15
12	3	6.08	21	7.03	10	6.50	20	8.92	7	6.13	10	6.41	6	6.66	10	8.14
13	6	5.99	14	6.99	7	6.46	16	8.85	15	5.96	20	6.33	15	6.55	15	8.05
14	21	5.97	17	6.82	17	6.41	23	8.82	19	5.93	3	6.31	11	6.50	21	7.97
15	20	5.93	8	6.74	8	6.41	10	8.82	5	5.85	19	6.18	17	6.28	22	7.78
16	13	5.88	16	6.63	3	6.28	13	8.78	16	5.82	17	6.13	3	6.12	9	7.62
17	19	5.78	19	6.52	22	6.28	17	8.73	22	5.77	14	6.12	10	6.11	17	7.58
18	17	5.72	6	6.48	9	6.19	8	8.57	14	5.74	15	6.11	13	6.09	5	7.57
19	9	5.68	7	6.45	6	6.16	9	8.27	3	5.70	7	6.05	16	6.06	7	7.35
20	16	5.59	3	6.39	20	6.16	5	8.11	9	5.60	16	5.95	9	6.03	14	7.33
21	8	5.58	22	6.39	19	6.07	22	7.99	17	5.49	6	5.93	14	5.89	19	7.23
22	22	5.28	5	6.24	13	6.06	19	7.91	20	5.46	9	5.91	5	5.77	8	7.03
23	5	5.25	15	6.11	5	5.99	6	7.74	13	5.43	5	5.52	19	5.63	16	7.03
24	15	5.03	13	5.97	15	5.99	15	7.05	8	4.73	8	4.89	8	5.59	13	6.32

Anexo 7. Jerarquización de medias de familias en cuatro fechas de medición, de ALTURA en un ensayo de progenies de 22 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.

Jerarquía	Charo								Tzitzio							
	Familia	ago-18	Familia	nov-18	Familia	abr-19	Familia	ago-19	Familia	ago-18	Familia	nov-18	Familia	abr-19	Familia	ago-19
1	4	15.08	4	19.30	4	24.70	4	26.70	4	13.08	21	14.52	4	15.31	4	17.81
2	24	13.60	11	16.93	24	22.72	11	25.08	1	12.13	23	14.14	21	15.19	21	17.10
3	1	13.45	24	16.47	11	21.83	24	24.15	21	12.00	1	13.77	9	14.65	8	16.62
4	11	13.24	1	16.01	1	20.77	1	23.98	11	11.93	4	13.73	23	14.36	1	16.14
5	23	13.15	23	16.00	22	20.76	22	23.21	2	11.49	9	13.23	24	14.28	23	15.95
6	21	12.71	21	15.29	23	20.51	2	22.35	23	11.23	2	13.14	2	14.00	22	15.72
7	2	12.64	2	14.79	2	20.21	21	22.27	22	11.17	11	12.98	1	13.96	5	15.39
8	20	12.33	22	14.55	21	20.20	17	21.58	17	11.05	24	12.89	11	13.52	2	15.25
9	18	12.20	20	14.33	5	19.03	13	21.52	24	11.05	22	12.52	20	13.39	9	15.09
10	19	12.12	17	14.27	19	18.67	23	21.33	16	10.97	20	12.48	22	13.38	17	15.05
11	5	12.09	16	13.99	17	18.60	8	20.84	9	10.97	17	12.42	7	12.95	24	15.01
12	17	12.02	19	13.95	8	18.30	20	20.76	8	10.93	7	12.35	8	12.93	11	14.90
13	7	11.86	7	13.93	18	17.89	19	20.63	5	10.62	8	12.08	13	12.90	3	14.74
14	13	11.64	18	13.77	7	17.60	18	20.44	18	10.50	3	11.90	5	12.78	19	14.61
15	22	11.62	5	13.68	9	17.57	16	19.94	20	10.38	13	11.84	16	12.45	20	13.90
16	8	11.58	8	13.48	16	17.43	7	19.82	6	10.30	16	11.60	3	12.32	6	13.49
17	6	11.56	9	13.42	20	17.35	5	19.80	3	10.23	19	11.42	17	12.32	13	13.47
18	9	11.47	6	13.25	13	17.30	6	19.79	19	9.92	5	11.29	6	12.21	18	13.03
19	16	10.90	13	13.15	6	17.24	9	19.41	7	9.91	6	11.27	19	12.11	16	13.00
20	15	10.75	10	12.44	3	16.93	3	19.18	13	9.60	18	11.08	18	11.79	7	12.84
21	10	10.65	15	12.25	10	16.70	10	18.26	15	9.45	10	10.98	15	11.14	15	12.57
22	3	10.45	3	12.22	15	15.67	15	18.22	10	9.00	15	10.85	10	10.58	10	12.34

Anexo 8. Jerarquización de medias de familias en cuatro fechas de medición, de DIÁMETRO en un ensayo de progenies de 22 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.

Jerarquía	Charo								Tzitzio							
	Familia	ago-18	Familia	nov-18	Familia	abr-19	Familia	ago-19	Familia	ago-18	Familia	nov-18	Familia	abr-19	Familia	ago-19
1	4	23.96	4	33.88	4	27.54	4	47.46	4	19.52	21	29.10	4	17.21	4	31.66
2	24	22.45	22	28.83	24	25.97	24	40.39	21	17.82	4	28.85	22	16.86	8	31.07
3	20	21.06	24	28.62	22	24.71	11	39.63	1	17.49	2	27.18	21	15.52	21	30.21
4	23	20.84	11	27.71	23	23.45	21	38.82	11	17.38	1	26.83	24	15.08	2	30.08
5	11	20.47	23	27.60	21	22.88	22	38.67	20	17.24	23	26.42	9	14.78	20	28.85
6	22	20.33	21	27.31	11	22.73	20	37.50	23	17.09	8	26.29	20	14.76	22	28.60
7	1	19.57	1	27.02	1	22.33	23	37.15	22	16.50	24	25.81	23	14.49	24	28.13
8	21	19.42	20	26.71	20	21.62	2	36.85	24	16.23	9	25.80	2	14.48	3	27.79
9	7	19.17	17	25.56	7	21.20	5	35.45	2	16.19	20	25.67	5	14.38	23	27.65
10	5	19.13	7	25.11	17	20.99	1	35.44	7	16.19	22	25.54	11	13.81	5	27.10
11	13	18.85	8	24.88	5	20.61	18	35.23	5	16.17	5	24.88	1	13.75	11	26.79
12	18	18.75	18	24.77	2	20.56	17	34.72	8	16.12	11	24.62	7	13.24	15	26.73
13	2	18.23	2	24.66	19	20.42	7	34.40	9	15.65	18	24.52	19	12.83	19	26.67
14	8	17.88	13	24.48	16	20.18	13	34.34	3	15.63	7	23.85	6	12.51	1	26.08
15	17	17.86	5	24.48	18	19.88	8	34.28	17	15.49	17	23.83	3	12.41	13	25.97
16	19	17.71	19	24.21	6	19.56	16	33.87	6	15.28	10	23.38	8	12.40	17	25.79
17	9	17.56	6	23.92	3	19.53	6	33.57	16	15.17	13	22.92	16	12.20	9	25.66
18	6	17.54	9	23.29	9	19.50	19	33.18	18	14.76	16	22.91	13	11.94	6	25.33
19	10	17.11	16	22.98	8	19.28	3	33.06	19	14.37	3	22.55	17	11.74	18	25.28
20	15	16.86	10	22.48	13	18.42	9	30.94	10	14.24	6	22.19	10	11.15	10	25.22
21	3	15.38	3	22.08	15	17.67	10	30.84	15	13.90	19	22.06	15	11.05	16	24.90
22	16	15.30	15	19.92	10	17.40	15	30.61	13	13.77	15	21.86	18	11.01	7	24.21

Anexo 9. Jerarquización de medias de familias en cuatro fechas de medición, de LARGO DE HOJA en un ensayo de progenies de 22 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.

Jerarquía	Charo								Tzitzio							
	Familia	ago-18	Familia	nov-18	Familia	abr-19	Familia	ago-19	Familia	ago-18	Familia	nov-18	Familia	abr-19	Familia	ago-19
1	4	14.63	4	17.67	4	19.23	4	22.25	4	13.08	21	14.47	4	15.72	4	17.40
2	23	13.05	23	15.02	24	17.32	11	19.57	21	12.69	4	14.24	2	14.38	21	17.12
3	1	12.94	24	14.83	22	16.65	24	19.27	1	12.29	1	14.16	22	14.37	5	16.66
4	24	12.93	11	14.78	21	16.58	21	18.75	11	12.08	23	13.37	21	14.31	22	16.52
5	22	12.73	1	14.72	2	16.52	1	18.73	22	11.95	2	13.24	1	13.78	23	16.29
6	11	12.61	21	14.51	23	16.40	22	18.67	23	11.86	22	13.08	23	13.71	3	16.11
7	2	12.60	20	14.22	11	16.32	2	17.52	2	11.82	24	12.69	24	13.53	11	15.60
8	21	12.42	2	14.13	1	15.80	8	17.33	17	11.50	16	12.60	9	13.29	1	15.55
9	5	12.32	22	14.04	20	15.21	23	17.30	3	11.49	17	12.56	8	13.11	8	15.23
10	17	12.04	5	13.58	5	14.95	20	17.23	24	11.49	20	12.53	11	13.06	2	15.09
11	20	12.02	8	13.47	8	14.82	17	16.95	16	11.48	9	12.42	20	12.98	20	14.70
12	6	11.75	17	13.29	16	14.61	3	16.93	6	11.35	8	12.26	3	12.93	24	14.65
13	13	11.70	3	13.07	17	14.60	5	16.91	20	11.10	11	12.19	16	12.87	9	14.47
14	8	11.53	16	12.95	7	14.50	18	16.66	8	10.99	5	12.14	5	12.83	19	14.38
15	18	11.52	18	12.76	19	14.00	6	16.30	5	10.88	3	11.90	6	12.65	17	14.29
16	16	11.50	19	12.65	13	13.93	19	16.30	9	10.82	13	11.82	19	12.13	18	13.89
17	19	11.38	7	12.45	3	13.88	16	16.25	7	10.62	6	11.60	13	12.04	15	13.81
18	3	11.38	9	12.16	18	13.86	13	16.16	13	10.36	19	11.57	18	11.82	16	13.63
19	7	11.36	13	12.12	9	13.82	7	15.95	18	10.33	7	11.54	7	11.59	6	13.56
20	9	11.21	6	12.04	6	13.61	9	15.69	19	9.88	15	11.41	17	11.59	13	13.38
21	10	10.77	10	11.41	10	12.84	15	14.52	15	9.53	18	10.98	15	11.20	10	13.26
22	15	10.24	15	11.29	15	12.22	10	14.45	10	9.31	10	10.86	10	10.19	7	12.72

Anexo 10. Jerarquización de medias de familias en cuatro fechas de medición, de ANCHO DE HOJA en un ensayo de progenies de 22 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.

Jerarquía	Charo								Tzitzio							
	Familia	ago-18	Familia	nov-18	Familia	abr-19	Familia	ago-19	Familia	ago-18	Familia	nov-18	Familia	abr-19	Familia	ago-19
1	4	9.20	4	10.25	4	10.67	4	12.00	4	7.72	4	7.79	4	7.93	4	8.79
2	24	8.78	24	8.98	24	9.35	24	10.97	24	7.48	1	7.46	24	7.46	23	7.90
3	1	7.76	1	8.34	1	8.38	1	9.77	1	7.16	24	7.36	21	7.18	1	7.89
4	23	7.28	23	8.02	23	8.02	11	9.51	21	6.95	21	7.15	1	7.07	24	7.75
5	20	7.18	11	7.71	21	7.99	2	9.28	23	6.67	2	6.86	22	6.64	21	7.55
6	11	7.08	2	7.46	20	7.89	18	9.04	2	6.65	23	6.82	2	6.57	2	7.43
7	2	7.02	20	7.40	18	7.67	21	9.00	11	6.33	11	6.46	23	6.50	5	7.29
8	18	6.68	18	7.40	11	7.57	23	8.84	18	6.19	16	6.37	11	6.45	11	7.26
9	19	6.56	21	7.15	2	7.55	22	8.50	16	6.13	18	6.23	9	6.40	3	7.26
10	21	6.53	19	7.00	22	7.48	8	8.48	17	6.05	9	6.22	20	6.18	9	7.16
11	17	6.45	13	7.00	16	7.47	20	8.41	22	6.05	17	6.11	19	6.15	19	7.15
12	13	6.30	22	6.88	19	7.33	17	8.40	20	5.97	13	6.08	13	6.11	13	6.84
13	5	6.26	17	6.88	13	7.16	13	8.36	7	5.86	20	6.06	16	6.11	8	6.84
14	22	5.98	5	6.86	5	7.00	19	8.00	3	5.83	19	6.06	8	6.10	18	6.79
15	8	5.91	8	6.78	8	6.85	5	7.84	6	5.78	22	5.97	18	6.06	22	6.74
16	16	5.89	6	6.53	17	6.84	3	7.75	8	5.72	6	5.92	5	6.04	17	6.68
17	6	5.86	16	6.51	3	6.78	16	7.67	9	5.68	8	5.91	17	6.02	20	6.53
18	15	5.75	7	6.46	6	6.67	6	7.65	19	5.52	5	5.87	15	5.87	16	6.50
19	7	5.65	15	6.37	9	6.67	7	7.56	5	5.34	15	5.86	3	5.80	6	6.38
20	9	5.65	3	6.26	7	6.43	15	7.52	15	5.32	7	5.85	7	5.70	10	6.33
21	3	5.57	10	6.16	15	6.30	9	7.11	13	5.27	3	5.49	6	5.63	7	6.33
22	10	5.54	9	6.08	10	6.18	10	6.58	10	4.72	10	5.47	10	5.29	15	6.23

Anexo 11. Jerarquización de medias de familias en cuatro periodos de INCREMENTO DE ALTURA en un sub-ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.

Jerarquía	Charo								Tzitzio							
	Familia	agosto-noviembre 2018	Familia	Noviembre 2018-abril 2019	Familia	Abril-agosto 2019	Familia	Agosto 2018-2019	Familia	agosto-noviembre 2018	Familia	Noviembre 2018-abril 2019	Familia	Abril-agosto 2019	Familia	Agosto 2018-2019
1	4	2.842	9	4.83	4	5.45	4	11.5	20	2.24	4	4.23	23	2.94	11	6.47
2	1	2.733	12	4.73	8	5.06	8	10.09	2	2.05	16	3.94	12	2.64	23	6.34
3	10	2.608	24	4.24	11	3.97	1	9.71	21	2.05	11	3.61	11	2.22	12	6.15
4	20	2.208	18	4.1	21	3.91	14	9.4	7	1.84	12	3.11	3	2.01	20	6.03
5	14	2.083	22	4.05	14	3.86	11	9.34	24	1.66	17	2.78	24	1.95	24	5.92
6	11	1.799	1	3.77	2	3.84	24	8.43	13	1.62	6	2.55	20	1.94	4	5.83
7	2	1.675	11	3.57	3	3.81	23	8.38	23	1.61	14	2.53	19	1.92	19	5.63
8	8	1.633	17	3.47	17	3.55	2	8.19	19	1.5	10	2.38	17	1.87	17	5.3
9	23	1.6	8	3.4	23	3.52	10	8.15	22	1.4	19	2.21	9	1.77	3	4.95
10	15	1.525	23	3.26	7	3.35	3	8.13	4	1.3	21	2.1	8	1.71	6	4.8
11	5	1.427	14	3.25	1	3.21	18	8.12	3	1.27	20	1.84	5	1.45	15	4.57
12	16	1.327	4	3.21	10	3.16	17	7.82	1	1.24	23	1.79	22	1.29	21	4.46
13	21	1.167	16	3.2	6	2.95	7	7.58	6	1.2	24	1.79	15	1.18	14	4.2
14	24	1.15	2	3.17	18	2.91	21	7.32	15	1.19	15	1.78	6	1.07	5	4.04
15	6	1.118	7	3	5	2.88	22	7.14	8	1.06	1	1.73	1	0.99	1	3.97
16	3	0.992	6	2.87	19	2.72	16	7.13	14	1.03	5	1.69	10	0.97	8	3.91
17	19	0.933	20	2.71	12	2.72	20	7.04	18	1.01	9	1.53	14	0.65	9	3.86
18	17	0.867	5	2.64	24	2.66	5	6.95	17	0.65	3	1.46	7	0.31	16	3.82
19	7	0.65	19	2.61	15	2.35	6	6.94	11	0.64	13	1.39	21	0.31	22	3.54
20	22	0.536	3	2.59	22	2.3	12	6.72	5	0.57	18	1.32	4	0.29	7	3.46
21	13	0.425	21	2.19	20	2.13	19	6.27	12	0.55	7	1.31	2	0.15	2	3.44
22	18	0.327	13	2.15	16	2.12	9	5.98	16	-0.13	2	1.24	18	0.13	13	3.41
23	9	0.292	10	1.92	13	1.61	15	5.04	9	-0.28	22	0.85	16	0.07	10	2.97
24	12	-0.5	15	0.42	9	0.86	13	4.81	10	-0.43	8	0.06	13	-0.83	18	2.45

Anexo 12. Jerarquización de medias de familias en cuatro periodos de INCREMENTO DE DIÁMETRO en un sub-ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.

Jerarquía	Charo								Tzitzio							
	Familia	agosto-noviembre 2018	Familia	Noviembre 2018-abril 2019	Familia	Abril-agosto 2019	Familia	Agosto 2018-2019	Familia	agosto-noviembre 2018	Familia	Noviembre 2018-abril 2019	Familia	Abril-agosto 2019	Familia	Agosto 2018-2019
1	20	9.68	22	-4.95	1	16.54	1	17.15	4	13.14	19	-8.33	11	15.84	4	15.68
2	10	9.35	23	-4.97	21	16.23	4	16.35	2	11.89	15	-8.5	16	15.31	16	15.11
3	4	8.99	4	-6.52	8	15.48	17	16.21	11	11.62	2	-9.33	24	15.29	11	14.7
4	11	8.81	1	-6.54	18	15.33	24	16.14	21	11.21	20	-9.36	22	15.21	24	13.93
5	2	8.38	3	-6.56	13	15.32	14	15.88	1	11.06	3	-9.75	13	14.38	15	13.92
6	21	7.68	17	-6.68	7	14.97	21	15.6	24	10.85	9	-9.96	1	14.32	12	13.53
7	24	7.63	19	-6.74	5	14.95	11	15.17	7	10.53	5	-9.99	6	14.2	1	13.14
8	14	7.48	7	-6.93	14	14.86	18	15.16	16	10.23	23	-10.06	7	14.08	3	13.09
9	17	7.45	14	-7	16	14.83	22	15.04	3	9.74	13	-10.11	10	13.93	6	12.97
10	16	7.41	24	-7.02	23	14.63	2	14.72	12	9.7	12	-10.12	23	13.85	2	12.49
11	6	7.31	18	-7.1	24	14.46	5	14.68	5	9.68	16	-10.36	17	13.74	20	12.47
12	1	7.15	5	-7.27	17	14.4	8	14.62	6	9.43	18	-10.36	14	13.6	21	12.14
13	5	7	9	-7.39	20	14.32	20	14.62	17	9.16	4	-10.53	12	13.47	17	11.99
14	9	6.95	8	-7.43	12	14.15	16	14.56	14	8.88	17	-10.91	18	13.43	13	11.84
15	3	6.78	11	-7.57	11	13.94	10	14.42	15	8.77	14	-11.18	21	13.33	18	11.82
16	22	6.69	13	-7.62	2	13.93	3	14.08	18	8.75	6	-11.25	4	13.08	5	11.71
17	18	6.67	15	-7.67	4	13.88	7	13.97	20	8.75	10	-11.53	20	13.08	7	11.41
18	8	6.57	21	-7.77	9	13.25	23	13.81	10	8.62	1	-12.23	8	12.93	14	11.29
19	12	5.78	12	-7.84	6	13	12	12.81	22	8	21	-12.39	15	12.8	10	11.25
20	7	5.43	16	-7.95	19	12.96	9	11.85	8	7.78	24	-12.47	3	12.65	23	10.28
21	19	5.37	10	-8.21	3	12.75	13	11.82	19	7.38	8	-12.58	9	11.92	22	10.25
22	15	5.33	2	-8.29	22	12.63	19	11.58	13	6.53	11	-12.76	5	11.75	19	10.18
23	23	4.14	6	-8.77	15	11.92	6	11.54	23	6.49	22	-12.96	19	11.13	8	9.46
24	13	2.93	20	-9.38	10	11.9	15	11.14	9	6.43	7	-13.21	2	9.93	9	7.91

Anexo 13. Jerarquización de medias de familias en cuatro periodos de INCREMENTO DE LARGO DE HOJA en un sub-ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.

Jerarquía	Charo								Tzitzio							
	Familia	agosto-noviembre 2018	Familia	Noviembre 2018-abril 2019	Familia	Abril-agosto 2019	Familia	Agosto 2018-2019	Familia	agosto-noviembre 2018	Familia	Noviembre 2018-abril 2019	Familia	Abril-agosto 2019	Familia	Agosto 2018-2019
1	4	3.358	3	1.72	24	5.47	2	8.71	20	2.35	4	1.77	1	5.12	4	7.39
2	2	3.258	22	1.49	18	5.23	24	8.61	6	2.31	12	1.3	17	4.38	12	7.04
3	17	2.492	5	1.4	3	5.02	4	8.08	4	2.12	10	1.29	9	4.35	20	6.88
4	24	2.375	21	1.31	11	4.81	3	7.45	21	2.03	22	1.27	3	4.34	11	6.18
5	16	2.309	1	1.29	8	4.66	11	7.4	2	1.98	11	1.1	12	4.3	3	6.16
6	14	2.164	19	1.19	2	4.65	16	7.36	1	1.95	5	1.05	11	3.96	23	6.04
7	20	2.15	4	0.93	12	4.62	18	7.23	13	1.72	2	1.04	6	3.91	1	5.77
8	21	1.983	10	0.89	20	4.52	1	7.21	24	1.54	15	1	23	3.88	6	5.68
9	23	1.978	7	0.89	1	4.34	21	7.01	18	1.53	19	0.91	20	3.66	14	5.61
10	8	1.95	16	0.89	22	4.03	8	6.93	12	1.45	23	0.9	4	3.58	17	5.58
11	11	1.9	2	0.85	5	4.02	20	6.88	14	1.38	20	0.88	15	3.54	21	5.43
12	15	1.842	14	0.82	21	3.95	14	6.56	17	1.37	7	0.85	14	3.44	22	5.03
13	12	1.767	9	0.78	16	3.81	23	6.54	23	1.26	14	0.78	18	3.34	10	4.89
14	18	1.664	23	0.78	4	3.8	22	6.49	3	1.21	24	0.45	8	3.2	2	4.79
15	1	1.575	11	0.69	23	3.79	17	6.46	11	1.13	21	0.33	10	3.17	18	4.79
16	7	1.358	13	0.69	7	3.65	5	6.35	22	1.08	3	0.25	21	3.07	5	4.61
17	6	1.136	24	0.6	10	3.62	12	6.13	7	0.88	18	0.25	13	2.98	15	4.6
18	19	1	17	0.32	17	3.59	7	6.07	8	0.79	16	0.08	22	2.91	19	4.53
19	22	0.973	8	0.32	14	3.58	10	5.3	19	0.78	17	-0.17	19	2.84	9	4.52
20	5	0.936	6	0.3	15	3.56	15	5.07	16	0.72	9	-0.22	7	2.79	13	4.51
21	10	0.658	20	0.22	13	3.39	6	4.58	5	0.67	8	-0.26	5	2.59	24	4.51
22	3	0.575	18	0.11	6	3.15	9	4.36	9	0.53	13	-0.73	24	2.32	7	4.14
23	13	0.525	15	-0.37	9	2.85	19	4.31	10	0.35	6	-0.8	2	1.77	8	3.86
24	9	0.475	12	-0.42	19	2.12	13	4.3	15	0.34	1	-1.32	16	1.54	16	2.01

Anexo 14. Jerarquización de medias de familias en cuatro periodos de INCREMENTO DE ANCHO DE HOJA en un sub-ensayo de progenies de 24 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.

Jerarquía	Charo								Tzitzio							
	Familia	agosto-noviembre 2018	Familia	Noviembre 2018-abril 2019	Familia	Abril-agosto 2019	Familia	Agosto 2018-2019	Familia	agosto-noviembre 2018	Familia	Noviembre 2018-abril 2019	Familia	Abril-agosto 2019	Familia	Agosto 2018-2019
1	4	1.73	3	0.04	24	4.46	24	4.66	20	0.87	7	0.96	11	2.48	20	3.23
2	9	1.51	7	-0.03	11	3.64	21	3.88	4	0.85	22	0.76	3	2.27	4	2.87
3	20	1.21	14	-0.04	3	3.38	3	3.84	22	0.73	20	0.47	4	2.12	12	2.82
4	5	1.19	15	-0.09	21	3.25	4	3.78	13	0.72	6	0.43	20	1.89	11	2.54
5	8	1.17	22	-0.1	1	3.13	11	3.68	21	0.68	12	0.41	10	1.84	3	2.51
6	22	1.13	21	-0.15	13	3.13	2	3.63	3	0.61	23	0.28	2	1.83	22	2.01
7	17	1.1	16	-0.22	2	3.11	12	3.57	2	0.6	15	0.26	5	1.8	15	1.99
8	15	1.08	5	-0.25	12	2.96	1	3.31	18	0.58	4	0.17	12	1.75	10	1.85
9	2	1.08	6	-0.32	18	2.92	18	3.11	12	0.53	16	0.17	9	1.7	2	1.8
10	21	1.06	8	-0.33	4	2.86	5	3.06	14	0.38	17	0.15	15	1.65	5	1.8
11	10	1.01	12	-0.34	20	2.76	17	3.06	1	0.27	5	0.08	19	1.59	9	1.79
12	16	0.95	18	-0.36	7	2.63	8	2.99	19	0.25	11	0.06	1	1.58	17	1.68
13	12	0.93	1	-0.38	10	2.32	20	2.98	17	0.23	8	-0.03	14	1.44	23	1.6
14	24	0.84	13	-0.43	17	2.32	7	2.94	10	0.23	3	-0.04	6	1.37	14	1.59
15	11	0.82	17	-0.45	16	2.3	16	2.93	8	0.16	9	-0.12	17	1.3	1	1.53
16	14	0.72	19	-0.46	23	2.21	14	2.82	15	0.15	24	-0.13	18	1.3	6	1.5
17	18	0.67	10	-0.68	8	2.16	22	2.75	16	0.15	14	-0.23	8	1.29	21	1.49
18	19	0.62	24	-0.69	14	2.14	9	2.72	9	0.12	1	-0.25	23	1.27	8	1.49
19	1	0.57	2	-0.73	5	2.12	10	2.67	24	0.11	10	-0.3	21	1.18	18	1.34
20	6	0.51	11	-0.77	9	2.11	13	2.41	23	0.05	21	-0.36	16	0.96	19	1.3
21	3	0.32	4	-0.81	19	1.84	6	2.02	11	0.01	19	-0.54	24	0.83	16	1.26
22	7	0.16	23	-0.91	22	1.71	19	2.01	7	-0.08	13	-0.58	13	0.74	7	1.22
23	23	0.09	20	-0.98	6	1.61	15	1.92	5	-0.18	2	-0.63	7	0.5	13	0.93
24	13	0.08	9	-0.99	15	1.06	23	1.39	6	-0.21	18	-0.64	22	0.25	24	0.79

Anexo 15. Jerarquización de medias de familias en cuatro periodos de INCREMENTO DE ALTURA en un sub-ensayo de progenies de 22 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.

Jerarquía	Charo								Tzitzio							
	Familia	agosto-noviembre 2018	Familia	Noviembre 2018-abril 2019	Familia	Abril-agosto 2019	Familia	Agosto 2018-2019	Familia	agosto-noviembre 2018	Familia	Noviembre 2018-abril 2019	Familia	Abril-agosto 2019	Familia	Agosto 2018-2019
1	4	4.21	24	6.25	1	3.46	11	11.89	23	2.91	4	1.58	5	2.643	8	5.24
2	11	3.74	22	6.22	11	3.25	4	11.62	21	2.52	24	1.39	4	2.405	5	4.93
3	16	2.95	2	5.52	13	3.06	22	11.59	7	2.45	9	1.33	8	2.353	4	4.8
4	22	2.93	4	5.4	20	2.92	1	10.71	13	2.24	5	1.09	3	2.195	21	4.65
5	24	2.87	5	5.12	17	2.8	24	10.55	20	2.05	6	0.94	1	2.048	24	4.44
6	23	2.85	11	4.9	15	2.56	2	9.95	24	2.02	8	0.91	19	2.026	3	4.29
7	21	2.58	8	4.82	8	2.54	13	9.76	10	1.98	13	0.89	17	1.975	23	4.25
8	1	2.56	1	4.75	16	2.5	17	9.48	9	1.94	16	0.85	21	1.709	22	3.99
9	17	2.35	21	4.66	22	2.45	21	9.28	3	1.66	18	0.78	22	1.268	1	3.99
10	2	2.29	23	4.51	6	2.33	8	9.25	2	1.65	2	0.63	24	1.128	2	3.9
11	20	2.19	3	4.49	19	2.3	19	8.7	1	1.63	22	0.62	6	1.109	19	3.76
12	7	2.08	19	4.38	18	2.28	16	8.68	19	1.42	11	0.54	23	1	13	3.63
13	9	1.95	17	4.33	3	2.26	20	8.25	15	1.4	7	0.5	10	0.844	17	3.56
14	8	1.89	10	4.26	7	2.22	18	8.23	17	1.37	3	0.43	18	0.814	9	3.16
15	19	1.83	9	4.15	2	2	3	8.19	22	1.35	21	0.4	13	0.719	6	3.01
16	10	1.82	18	4.12	4	2	23	8.19	8	1.15	20	0.38	11	0.577	20	2.59
17	13	1.77	13	4	9	1.84	5	8.17	11	1.05	23	0.22	2	0.55	11	2.59
18	18	1.57	6	3.78	21	1.62	7	7.97	6	0.96	1	0.08	20	0.465	15	2.55
19	5	1.53	7	3.67	10	1.55	9	7.94	5	0.67	15	0	15	0.087	10	2.49
20	15	1.49	15	3.19	5	1.48	6	7.85	18	0.67	17	0	16	-0.035	7	2.49
21	6	1.48	16	3.17	24	1.43	10	7.63	4	0.65	19	-0.03	9	-0.216	18	2.04
22	3	1.47	20	3.02	23	0.83	15	7.28	16	0.63	10	-0.92	7	-1.205	16	1.38

Anexo 16. Jerarquización de medias de familias en cuatro periodos de INCREMENTO DE DIÁMETRO en un sub-ensayo de progenies de 22 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.

Jerarquía	Charo								Tzitzio							
	Familia	agosto-noviembre 2018	Familia	Noviembre 2018-abril 2019	Familia	Abril-agosto 2019	Familia	Agosto 2018-2019	Familia	agosto-noviembre 2018	Familia	Noviembre 2018-abril 2019	Familia	Abril-agosto 2019	Familia	Agosto 2018-2019
1	4	9.92	24	-2.65	4	19.92	4	23.5	21	11.28	22	-9.92	8	16.94	8	13.98
2	22	8.5	15	-2.85	11	16.9	11	19.43	2	10.99	3	-10.43	3	15.88	2	13.35
3	21	7.88	3	-2.97	2	16.14	2	19.2	8	10.17	16	-10.68	15	15.19	24	12.96
4	17	7.88	16	-3.37	20	15.88	21	18.87	18	9.79	24	-10.73	2	14.95	15	12.6
5	16	7.57	2	-3.85	5	15.48	22	18.34	9	9.69	19	-11.04	21	14.38	4	11.92
6	11	7.52	9	-3.88	8	15	16	18.18	24	9.69	6	-11.08	4	14.12	22	11.67
7	1	7.45	7	-3.9	21	14.9	24	17.94	1	9.33	13	-11.09	20	14.1	3	11.45
8	8	7.01	22	-4.12	18	14.88	3	16.85	23	9.33	5	-11.17	18	14.04	21	11.42
9	2	6.86	23	-4.15	24	14.42	5	16.72	4	9.33	11	-11.19	13	13.87	13	10.72
10	23	6.75	19	-4.2	13	14.04	18	16.64	13	9.15	7	-11.22	24	13.68	19	10.49
11	13	6.52	17	-4.58	22	13.96	17	16.49	10	9.14	15	-11.62	6	13.58	20	10.43
12	19	6.5	5	-4.6	23	13.7	8	16.41	22	9.04	10	-11.64	10	13.51	18	10.32
13	24	6.17	1	-4.68	16	13.69	20	16.38	5	8.71	4	-11.64	16	13.03	5	10.29
14	3	6.12	6	-4.79	1	13.61	23	16.31	20	8.35	9	-11.68	19	12.79	6	9.9
15	6	6.1	21	-4.88	3	13.53	1	16.16	17	8.34	17	-11.74	23	12.75	23	9.86
16	18	6.02	18	-4.89	10	13.44	13	15.89	15	7.95	20	-12.03	17	12.75	17	9.78
17	20	5.95	11	-4.98	6	13.41	6	15.59	16	7.73	23	-12.51	5	12.75	10	9.63
18	7	5.94	10	-5.08	7	13.2	19	15.5	7	7.66	1	-13.53	1	12.27	16	9.18
19	9	5.73	8	-5.6	17	13.18	7	15.24	19	7.44	2	-13.75	22	12.19	11	8.99
20	10	5.34	20	-5.84	19	13.11	10	13.7	11	7.23	8	-14.15	11	12.16	9	8.57
21	5	5.34	13	-6.2	15	12.94	15	13.47	6	6.98	18	-14.28	9	11.26	7	8.26
22	15	3.06	4	-6.34	9	11.92	9	13.38	3	6.92	21	-14.33	7	9.77	1	8.23

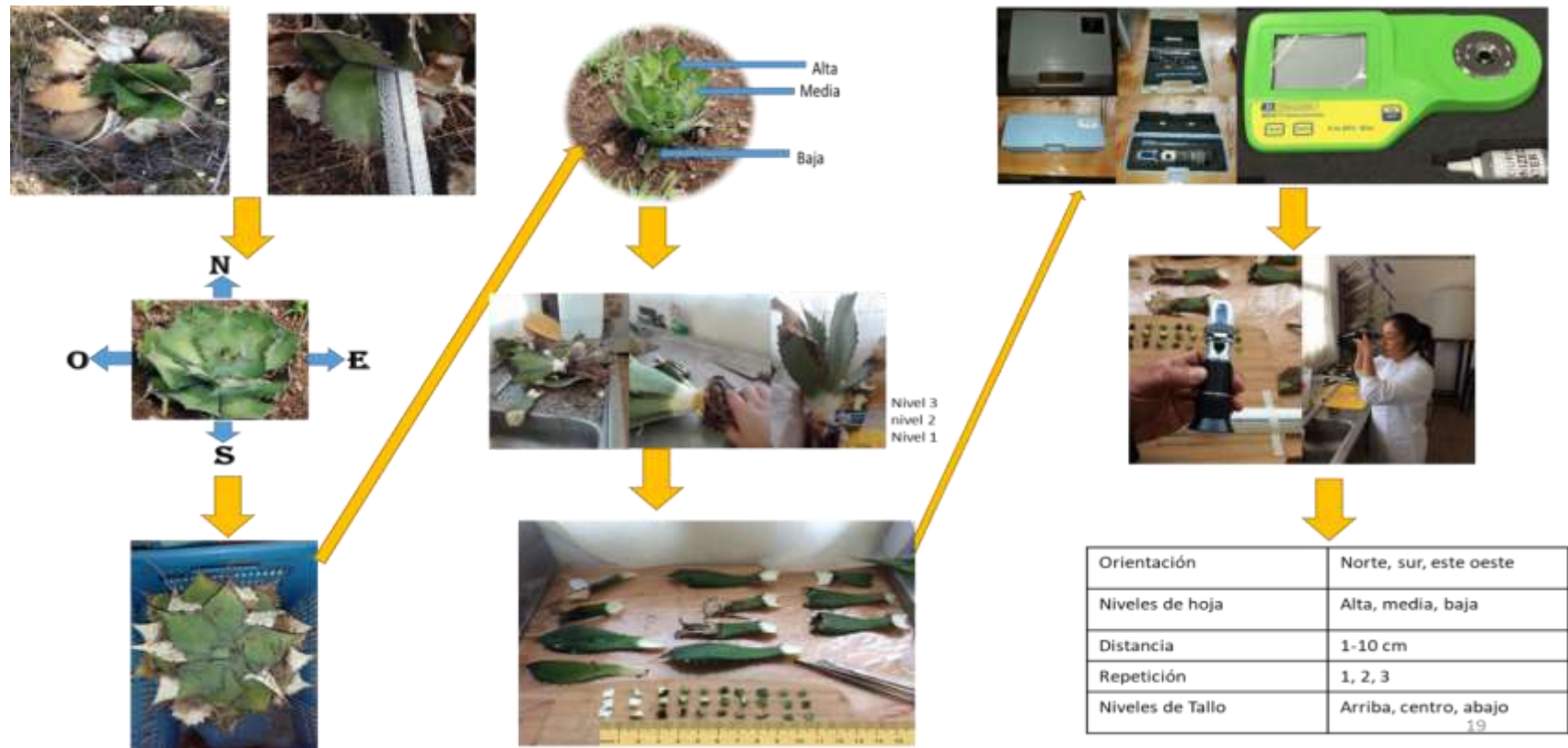
Anexo 17. Jerarquización de medias de familias en cuatro periodos de INCREMENTO DE LARGO DE HOJA en un sub-ensayo de progenies de 22 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.

Jerarquía	Charo								Tzitzio							
	Familia	agosto- noviemb e 2018	Familia	Noviemb e 2018- abril 2019	Familia	Abril- agosto 2019	Familia	Agosto 2018- 2019	Familia	agosto- noviemb e 2018	Familia	Noviemb e 2018- abril 2019	Familia	Abril- agosto 2019	Familia	Agosto 2018- 2019
1	4	3.04	22	2.61	11	3.25	4	7.62	15	1.88	4	1.21	5	4.45	5	5.91
2	20	2.33	24	2.49	1	3.14	11	7	1	1.87	2	0.97	3	3.44	4	4.34
3	11	2.21	2	2.47	3	3.05	24	6.35	21	1.78	22	0.93	21	2.77	22	4.32
4	21	2.09	7	2.05	4	3.04	21	6.06	10	1.72	11	0.75	10	2.51	3	4.29
5	23	1.97	21	1.89	18	2.8	1	5.98	19	1.57	8	0.74	15	2.45	21	4.16
6	8	1.94	13	1.6	6	2.59	22	5.94	23	1.51	6	0.72	1	2.39	23	4.16
7	24	1.91	9	1.55	8	2.51	8	5.8	20	1.47	24	0.67	18	2.39	19	3.85
8	2	1.81	11	1.55	5	2.43	3	5.47	13	1.46	3	0.5	19	2.38	15	3.85
9	1	1.78	4	1.53	19	2.36	2	5.44	9	1.34	18	0.48	11	2.35	8	3.69
10	3	1.69	6	1.49	17	2.35	18	5.2	2	1.31	9	0.44	22	2.35	24	3.32
11	17	1.46	16	1.45	15	2.3	17	5.12	24	1.29	5	0.42	17	2.34	1	3.32
12	16	1.32	10	1.43	9	2.14	20	5.1	8	1.27	16	0.18	23	2.11	11	3.25
13	22	1.31	23	1.38	21	2.08	5	4.9	5	1.26	13	0.13	20	1.8	18	3.13
14	19	1.27	8	1.36	22	2.02	19	4.88	4	1.16	23	-0.09	4	1.76	10	3.02
15	5	1.25	17	1.31	20	2.02	7	4.59	22	1.14	20	-0.14	8	1.46	2	3.02
16	18	1.24	5	1.24	24	1.95	16	4.49	17	1.14	7	-0.15	9	1.43	20	3
17	7	1.09	18	1.1	13	1.84	9	4.48	16	1.12	21	-0.22	24	1.34	9	2.74
18	9	0.95	1	1.08	16	1.64	13	4.43	7	0.92	19	-0.38	6	1.24	13	2.44
19	15	0.94	19	1.08	10	1.61	6	4.33	18	0.67	10	-0.46	13	1.09	17	2.22
20	13	0.77	15	0.93	7	1.45	23	4.26	3	0.41	15	-0.64	7	1.02	6	2.07
21	10	0.68	20	0.79	2	1.09	15	4.17	6	0.32	1	-0.71	16	0.95	7	2.03
22	6	0.18	3	0.7	23	0.9	10	3.72	11	0.11	17	-1.08	2	0.61	16	1.7

Anexo 18. Jerarquización de medias de familias en cuatro periodos de INCREMENTO DE ANCHO DE HOJA en un sub-ensayo de progenies de 22 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* establecido en condiciones de campo en dos sitios de Morelia, Michoacán.

Jerarquía	Charo								Tzitzio							
	Familia	agosto-noviembre 2018	Familia	Noviembre 2018-abril 2019	Familia	Abril-agosto 2019	Familia	Agosto 2018-2019	Familia	agosto-noviembre 2018	Familia	Noviembre 2018-abril 2019	Familia	Abril-agosto 2019	Familia	Agosto 2018-2019
1	4	1.04	16	0.86	11	1.95	4	2.79	19	1.3	22	0.45	3	1.62	5	1.84
2	22	0.91	21	0.7	2	1.71	11	2.61	10	0.82	8	0.17	5	1.45	19	1.29
3	13	0.89	22	0.6	8	1.63	8	2.57	13	0.81	3	0.14	23	1.4	13	1.23
4	8	0.87	9	0.54	24	1.62	22	2.53	15	0.54	5	0.13	19	1.06	3	1.17
5	11	0.81	4	0.45	17	1.61	2	2.49	5	0.52	24	0.05	6	0.87	23	1.12
6	7	0.81	3	0.39	1	1.41	18	2.36	9	0.38	21	0.03	4	0.87	9	1.03
7	23	0.74	24	0.37	5	1.32	21	2.28	1	0.3	4	0.02	2	0.84	4	0.95
8	18	0.72	20	0.33	18	1.31	24	2.19	16	0.24	9	0.01	1	0.81	10	0.85
9	3	0.69	18	0.27	4	1.3	1	2.16	21	0.2	11	-0.05	9	0.78	8	0.81
10	10	0.64	19	0.23	15	1.28	3	2.11	6	0.19	15	-0.08	11	0.71	11	0.79
11	21	0.62	2	0.18	7	1.13	17	2.08	8	0.18	13	-0.09	18	0.68	1	0.59
12	5	0.6	6	0.16	13	1.03	5	1.98	23	0.16	20	-0.13	13	0.65	6	0.59
13	15	0.58	5	0.12	22	1.02	13	1.94	2	0.12	17	-0.18	17	0.62	15	0.55
14	1	0.58	8	0.07	3	0.97	7	1.91	11	0.12	7	-0.24	7	0.59	7	0.49
15	6	0.58	1	0.05	6	0.9	15	1.74	18	0.09	2	-0.25	10	0.51	2	0.48
16	17	0.56	10	0.02	21	0.86	16	1.63	4	0.07	16	-0.3	16	0.46	24	0.46
17	16	0.53	23	0	23	0.82	6	1.62	17	0.06	18	-0.3	8	0.43	18	0.39
18	2	0.52	13	0	19	0.71	23	1.57	7	-0.01	10	-0.33	24	0.36	17	0.39
19	19	0.44	17	-0.03	9	0.53	9	1.46	20	-0.01	1	-0.44	20	0.35	21	0.35
20	9	0.43	7	-0.03	20	0.53	19	1.33	24	-0.06	6	-0.44	21	0.2	22	0.32
21	20	0.25	15	-0.12	10	0.41	10	1.07	22	-0.08	23	-0.46	22	0.13	20	0.21
22	24	0.2	11	-0.14	16	0.2	20	1.05	3	-0.34	19	-1.34	15	0.05	16	0.13

Anexo 19. Método de extracción de °Bx.



Se midieron un total de 12 hojas por planta con tres repeticiones por centímetro medido y tres mediciones por tallo (30 muestras por hoja x 4 orientaciones x 3 niveles de hojas x 69 plantas, tres de cada familia= 24,840 datos aproximadamente).

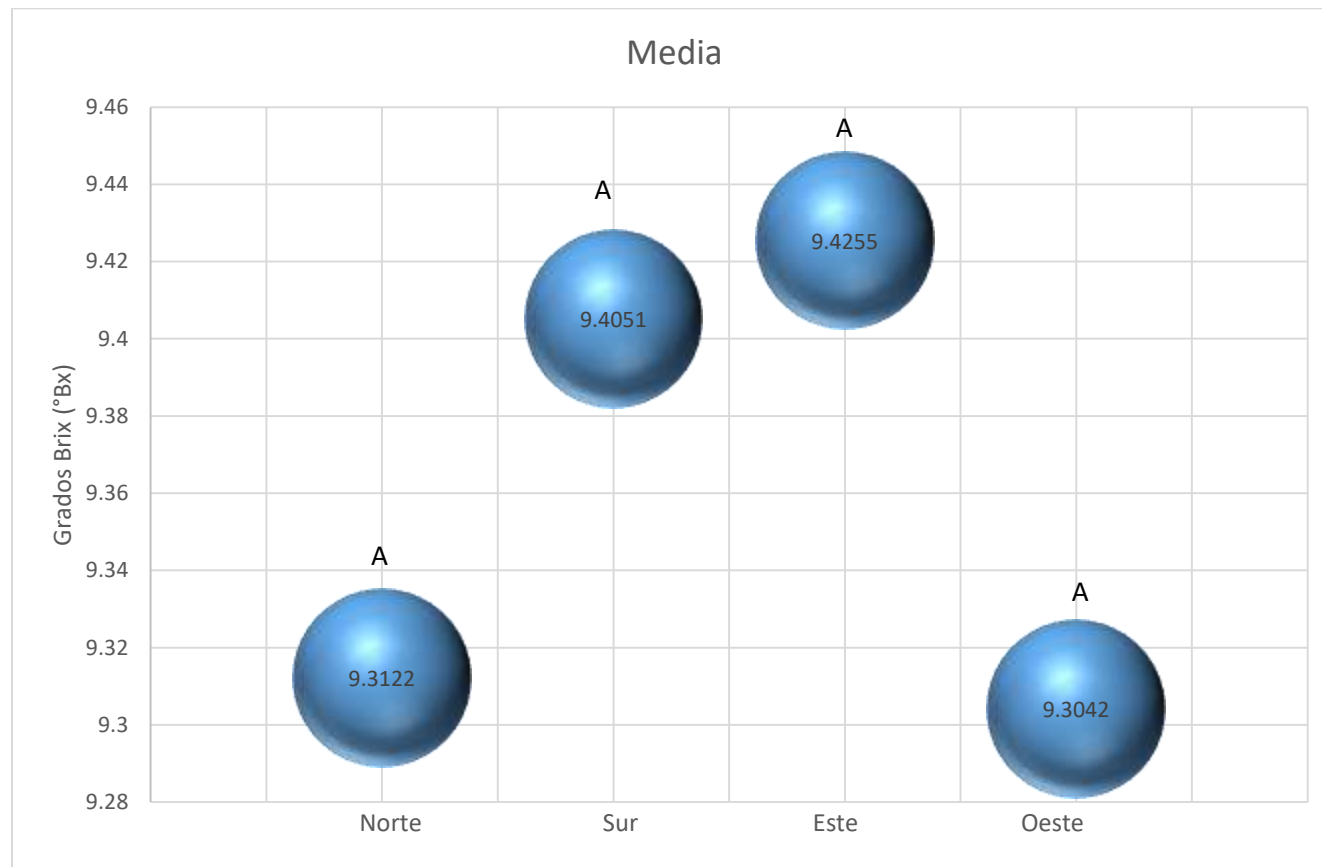
Anexo 20. Corrida estadística de las combinaciones de las variables en el análisis de varianza de grados Brix (°Bx)

Niveles			Orientaciones			Distancias		
Variables			Variables			Variables		
Variable	Variables fijas		Variable	Variables fijas		Variable	Variables fijas	
Niveles	Orientación 1	Distancia 1	Orientaciones	Nivel 1	Distancia 1	Distancias	Nivel 1	Orientación 1
Niveles	Orientación 1	Distancia 2	Orientaciones	Nivel 1	Distancia 2	Distancias	Nivel 1	Orientación 2
Niveles	Orientación 1	Distancia 3	Orientaciones	Nivel 1	Distancia 3	Distancias	Nivel 1	Orientación 3
Niveles	Orientación 1	Distancia 4	Orientaciones	Nivel 1	Distancia 4	Distancias	Nivel 1	Orientación 4
Niveles	Orientación 1	Distancia 5	Orientaciones	Nivel 1	Distancia 5	Distancias	Nivel 2	Orientación 1
Niveles	Orientación 1	Distancia 6	Orientaciones	Nivel 1	Distancia 6	Distancias	Nivel 2	Orientación 2
Niveles	Orientación 1	Distancia 7	Orientaciones	Nivel 1	Distancia 7	Distancias	Nivel 2	Orientación 3
Niveles	Orientación 1	Distancia 8	Orientaciones	Nivel 1	Distancia 8	Distancias	Nivel 2	Orientación 4
Niveles	Orientación 1	Distancia 9	Orientaciones	Nivel 1	Distancia 9	Distancias	Nivel 3	Orientación 1
Niveles	Orientación 1	Distancia 10	Orientaciones	Nivel 1	Distancia 10	Distancias	Nivel 3	Orientación 2
Niveles	Orientación 2	Distancia 1	Orientaciones	Nivel 2	Distancia 1	Distancias	Nivel 3	Orientación 3
Niveles	Orientación 2	Distancia 2	Orientaciones	Nivel 2	Distancia 2	Distancias	Nivel 3	Orientación 4
Niveles	Orientación 2	Distancia 3	Orientaciones	Nivel 2	Distancia 3			
Niveles	Orientación 2	Distancia 4	Orientaciones	Nivel 2	Distancia 4			
Niveles	Orientación 2	Distancia 5	Orientaciones	Nivel 2	Distancia 5			
Niveles	Orientación 2	Distancia 6	Orientaciones	Nivel 2	Distancia 6			
Niveles	Orientación 2	Distancia 7	Orientaciones	Nivel 2	Distancia 7			
Niveles	Orientación 2	Distancia 8	Orientaciones	Nivel 2	Distancia 8			
Niveles	Orientación 2	Distancia 9	Orientaciones	Nivel 2	Distancia 9			
Niveles	Orientación 2	Distancia 10	Orientaciones	Nivel 2	Distancia 10			
Niveles	Orientación 3	Distancia 1	Orientaciones	Nivel 3	Distancia 1			
Niveles	Orientación 3	Distancia 2	Orientaciones	Nivel 3	Distancia 2			
Niveles	Orientación 3	Distancia 3	Orientaciones	Nivel 3	Distancia 3			
Niveles	Orientación 3	Distancia 4	Orientaciones	Nivel 3	Distancia 4			
Niveles	Orientación 3	Distancia 5	Orientaciones	Nivel 3	Distancia 5			
Niveles	Orientación 3	Distancia 6	Orientaciones	Nivel 3	Distancia 6			
Niveles	Orientación 3	Distancia 7	Orientaciones	Nivel 3	Distancia 7			
Niveles	Orientación 3	Distancia 8	Orientaciones	Nivel 3	Distancia 8			
Niveles	Orientación 3	Distancia 9	Orientaciones	Nivel 3	Distancia 9			
Niveles	Orientación 3	Distancia 10	Orientaciones	Nivel 3	Distancia 10			
Niveles	Orientación 4	Distancia 1						
Niveles	Orientación 4	Distancia 2						
Niveles	Orientación 4	Distancia 3						
Niveles	Orientación 4	Distancia 4						
Niveles	Orientación 4	Distancia 5						
Niveles	Orientación 4	Distancia 6						
Niveles	Orientación 4	Distancia 7						
Niveles	Orientación 4	Distancia 8						
Niveles	Orientación 4	Distancia 9						
Niveles	Orientación 4	Distancia 10						

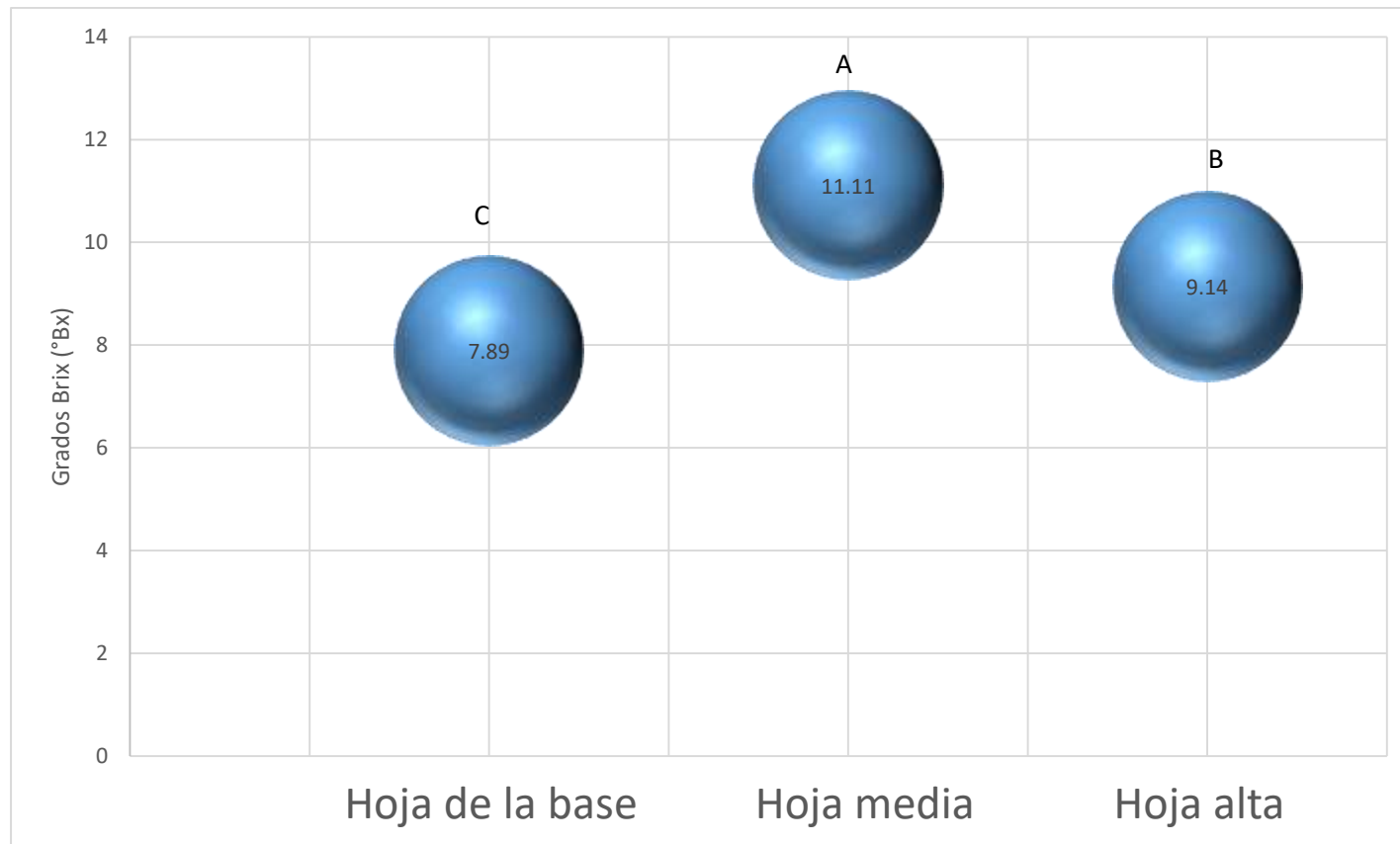
Anexo 21. Valores de significancia y heredabilidades, obtenidas en las variables Orientación-Nivel-Distancia, en un ensayo de progenies en condiciones de jardín común.

Puntos por Orientaciones				Puntos por distancias				Puntos por Niveles									
Orientación	Nivel	Distancia (cm)	Orientación	Nivel	Distancia (cm)	Distancia (cm)	Nivel	Orientación	Distancia (cm)	Nivel	Orientación	Nivel	Orientación	Distancia	Nivel	Orientación	Distancia
Orientación 1	nivel 1	1	Orientación 3	nivel 1	1	1	Nivel 1	Orientación 1	6	Nivel 1	Orientación 1	Nivel 1	Orientación 1	1	Nivel 2	Orientación 1	1
Orientación 1	nivel 1	2	Orientación 3	nivel 1	2	1	Nivel 1	Orientación 2	6	Nivel 1	Orientación 2	Nivel 1	Orientación 2	2	Nivel 2	Orientación 2	2
Orientación 1	nivel 1	3	Orientación 3	nivel 1	3	1	Nivel 1	Orientación 3	6	Nivel 1	Orientación 3	Nivel 1	Orientación 3	3	Nivel 2	Orientación 3	3
Orientación 1	nivel 1	4	Orientación 3	nivel 1	4	1	Nivel 1	Orientación 4	6	Nivel 1	Orientación 4	Nivel 1	Orientación 4	4	Nivel 2	Orientación 4	4
Orientación 1	nivel 1	5	Orientación 3	nivel 1	5	1	Nivel 2	Orientación 1	6	Nivel 2	Orientación 1	Nivel 1	Orientación 1	5	Nivel 2	Orientación 1	5
Orientación 1	nivel 1	6	Orientación 3	nivel 1	6	1	Nivel 2	Orientación 2	6	Nivel 2	Orientación 2	Nivel 1	Orientación 2	6	Nivel 2	Orientación 2	6
Orientación 1	nivel 1	7	Orientación 3	nivel 1	7	1	Nivel 2	Orientación 3	6	Nivel 2	Orientación 3	Nivel 1	Orientación 3	7	Nivel 2	Orientación 3	7
Orientación 1	nivel 1	8	Orientación 3	nivel 1	8	1	Nivel 2	Orientación 4	6	Nivel 2	Orientación 4	Nivel 1	Orientación 4	8	Nivel 2	Orientación 4	8
Orientación 1	nivel 1	9	Orientación 3	nivel 1	9	1	Nivel 3	Orientación 1	6	Nivel 3	Orientación 1	Nivel 1	Orientación 1	9	Nivel 2	Orientación 1	9
Orientación 1	nivel 1	10	Orientación 3	nivel 1	10	1	Nivel 3	Orientación 2	6	Nivel 3	Orientación 2	Nivel 1	Orientación 2	10	Nivel 2	Orientación 2	10
Orientación 1	nivel 2	1	Orientación 3	nivel 2	1	1	Nivel 3	Orientación 3	6	Nivel 3	Orientación 3	Nivel 1	Orientación 3	1	Nivel 2	Orientación 3	1
Orientación 1	nivel 2	2	Orientación 3	nivel 2	2	1	Nivel 3	Orientación 4	6	Nivel 3	Orientación 4	Nivel 1	Orientación 4	2	Nivel 2	Orientación 4	2
Orientación 1	nivel 2	3	Orientación 3	nivel 2	3	2	Nivel 1	Orientación 1	7	Nivel 1	Orientación 1	Nivel 1	Orientación 1	3	Nivel 2	Orientación 1	3
Orientación 1	nivel 2	4	Orientación 3	nivel 2	4	2	Nivel 1	Orientación 2	7	Nivel 1	Orientación 2	Nivel 1	Orientación 2	4	Nivel 2	Orientación 2	4
Orientación 1	nivel 2	5	Orientación 3	nivel 2	5	2	Nivel 1	Orientación 3	7	Nivel 1	Orientación 3	Nivel 1	Orientación 3	5	Nivel 2	Orientación 3	5
Orientación 1	nivel 2	6	Orientación 3	nivel 2	6	2	Nivel 1	Orientación 4	7	Nivel 1	Orientación 4	Nivel 1	Orientación 4	6	Nivel 2	Orientación 4	6
Orientación 1	nivel 2	7	Orientación 3	nivel 2	7	2	Nivel 2	Orientación 1	7	Nivel 2	Orientación 1	Nivel 1	Orientación 1	7	Nivel 2	Orientación 1	7
Orientación 1	nivel 2	8	Orientación 3	nivel 2	8	2	Nivel 2	Orientación 2	7	Nivel 2	Orientación 2	Nivel 1	Orientación 2	8	Nivel 2	Orientación 2	8
Orientación 1	nivel 2	9	Orientación 3	nivel 2	9	2	Nivel 2	Orientación 3	7	Nivel 2	Orientación 3	Nivel 1	Orientación 3	9	Nivel 2	Orientación 3	9
Orientación 1	nivel 2	10	Orientación 3	nivel 2	10	2	Nivel 2	Orientación 4	7	Nivel 2	Orientación 4	Nivel 1	Orientación 4	10	Nivel 2	Orientación 4	10
Orientación 1	nivel 3	1	Orientación 3	nivel 3	1	2	Nivel 3	Orientación 1	7	Nivel 3	Orientación 1	Nivel 1	Orientación 1	1	Nivel 2	Orientación 1	1
Orientación 1	nivel 3	2	Orientación 3	nivel 3	2	2	Nivel 3	Orientación 2	7	Nivel 3	Orientación 2	Nivel 1	Orientación 2	2	Nivel 2	Orientación 2	2
Orientación 1	nivel 3	3	Orientación 3	nivel 3	3	2	Nivel 3	Orientación 3	7	Nivel 3	Orientación 3	Nivel 1	Orientación 3	3	Nivel 2	Orientación 3	3
Orientación 1	nivel 3	4	Orientación 3	nivel 3	4	2	Nivel 3	Orientación 4	7	Nivel 3	Orientación 4	Nivel 1	Orientación 4	4	Nivel 2	Orientación 4	4
Orientación 1	nivel 3	5	Orientación 3	nivel 3	5	3	Nivel 1	Orientación 1	8	Nivel 1	Orientación 1	Nivel 1	Orientación 1	5	Nivel 2	Orientación 1	5
Orientación 1	nivel 3	6	Orientación 3	nivel 3	6	3	Nivel 1	Orientación 2	8	Nivel 1	Orientación 2	Nivel 1	Orientación 2	6	Nivel 2	Orientación 2	6
Orientación 1	nivel 3	7	Orientación 3	nivel 3	7	3	Nivel 1	Orientación 3	8	Nivel 1	Orientación 3	Nivel 1	Orientación 3	7	Nivel 2	Orientación 3	7
Orientación 1	nivel 3	8	Orientación 3	nivel 3	8	3	Nivel 1	Orientación 4	8								

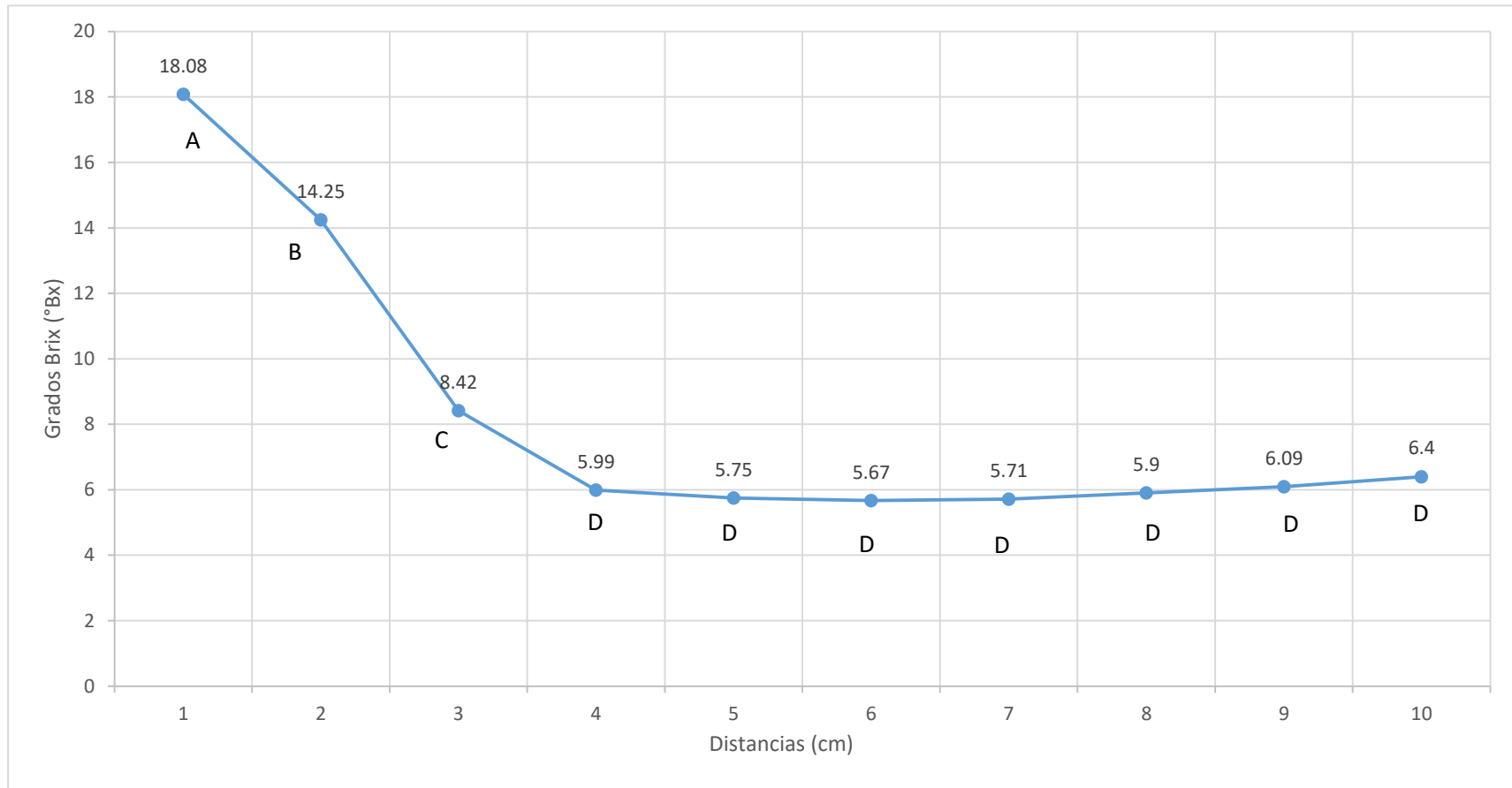
Anexo 22. Medias generales de Orientación ($P \geq 0.05$) en cuanto a producción de °Bx en hojas de agave, de un ensayo de progenies de 23 familias de *Agave cupreata* Trel. & Berger, en condiciones de jardín común, en Arroyo Colorado, municipio de Morelia.



Anexo 23. Medias generales de Nivel, en cuanto a producción de °Bx en hojas de agave, de un ensayo de progenies de 23 familias de *Agave cupreata* Trel. & Berger, en condiciones de jardín común, en Arroyo Colorado, municipio de Morelia.



Anexo 24. Medias generales de distancias, en cuanto a producción de °Bx en hojas de agave, de un ensayo de progenies de 23 familias de *Agave cupreata* Trel. & Berger, en condiciones de jardín común, en Arroyo colorado, municipio de Morelia.



Anexo 25. Valores de significancia y heredabilidades, obtenidas en las variables Niveles-Orientación-Distancia, por punto de muestra de °Bx, en un ensayo de progenies de 23 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* en condiciones de jardín común, en Arroyo Colorado, Morelia, Michoacán.

Variables			Máximo		Significancias			Heredabilidades	
Variable	Variables fijas		Máximo	Media °Bx	Variables	a*variable y variable	Familia*punto	h^2_1	h^2_2
Niveles	Orientación 1	distancia 1	2	22.13	<.0001	<.0001	<.0001	1.79	0.71
Niveles	Orientación 1	distancia 2	2	17.15	<.0001	<.0001	<.0001	1.53	0.65
Niveles	Orientación 1	distancia 3	2	9.76	<.0001	<.0001	<.0001	1.69	0.69
Niveles	Orientación 1	distancia 4	3	6.20	0.0007	<.0001	<.0001	0.94	0.48
Niveles	Orientación 1	distancia 5	3	5.91	0.011	<.0001	<.0001	1.73	0.70
Niveles	Orientación 1	distancia 6	2	5.59	0.9354	<.0001	<.0001	2.76	0.87
Niveles	Orientación 1	distancia 7	3	5.71	0.1821	<.0001	<.0001	1.71	0.69
Niveles	Orientación 1	distancia 8	2	6.21	0.0128	<.0001	<.0001	2.55	0.84
Niveles	Orientación 1	distancia 9	2	6.22	0.0477	<.0001	0.0015	1.86	0.72
Niveles	Orientación 1	distancia 10	3	6.76	0.0032	<.0001	<.0001	1.36	0.61
Niveles	Orientación 2	distancia 1	2	21.77	<.0001	<.0001	<.0001	1.88	0.73
Niveles	Orientación 2	distancia 2	2	16.84	<.0001	<.0001	<.0001	1.88	0.73
Niveles	Orientación 2	distancia 3	3	9.80	<.0001	<.0001	<.0001	1.85	0.72
Niveles	Orientación 2	distancia 4	3	6.46	0.0002	<.0001	<.0001	0.92	0.47
Niveles	Orientación 2	distancia 5	3	5.95	0.5959	<.0001	<.0001	1.14	0.55
Niveles	Orientación 2	distancia 6	3	5.84	0.9131	<.0001	<.0001	1.58	0.66
Niveles	Orientación 2	distancia 7	3	5.96	0.7938	<.0001	<.0001	1.55	0.65
Niveles	Orientación 2	distancia 8	1	6.20	0.4344	<.0001	<.0001	2.83	0.88
Niveles	Orientación 2	distancia 9	3	6.45	0.0075	<.0001	<.0001	2.05	0.76
Niveles	Orientación 2	distancia 10	3	6.76	0.0035	<.0001	0.0006	0.92	0.47
Niveles	Orientación 3	distancia 1	2	22.17	<.0001	<.0001	<.0001	2.02	0.75
Niveles	Orientación 3	distancia 2	2	16.94	<.0001	<.0001	<.0001	2.11	0.77
Niveles	Orientación 3	distancia 3	3	9.38	<.0001	<.0001	<.0001	2.32	0.81
Niveles	Orientación 3	distancia 4	3	6.30	0.0016	<.0001	<.0001	1.33	0.60
Niveles	Orientación 3	distancia 5	3	5.98	0.0105	<.0001	<.0001	1.25	0.58
Niveles	Orientación 3	distancia 6	3	5.84	0.0118	<.0001	<.0001	1.86	0.72
Niveles	Orientación 3	distancia 7	3	6.05	0.0153	<.0001	<.0001	1.63	0.67
Niveles	Orientación 3	distancia 8	3	6.09	<.0001	<.0001	<.0001	1.30	0.59
Niveles	Orientación 3	distancia 9	2	6.57	0.0008	<.0001	0.0001	2.39	0.82
Niveles	Orientación 3	distancia 10	3	6.76	0.0207	<.0001	<.0001	1.34	0.60
Niveles	Orientación 4	distancia 1	2	22.14	<.0001	<.0001	<.0001	2.12	0.77
Niveles	Orientación 4	distancia 2	2	17.19	<.0001	<.0001	<.0001	1.82	0.71
Niveles	Orientación 4	distancia 3	3	9.99	<.0001	<.0001	<.0001	2.13	0.77
Niveles	Orientación 4	distancia 4	3	6.75	<.0001	<.0001	<.0001	1.47	0.64
Niveles	Orientación 5	distancia 5	2	5.89	0.3002	<.0001	<.0001	1.85	0.72
Niveles	Orientación 6	distancia 6	1	5.90	0.404	<.0001	<.0001	2.25	0.79
Niveles	Orientación 7	distancia 7	3	5.83	0.0035	<.0001	<.0001	1.24	0.57
Niveles	Orientación 8	distancia 8	2	6.21	<.0001	<.0001	<.0001	2.88	0.88
Niveles	Orientación 9	distancia 9	3	6.27	0.0023	<.0001	<.0001	1.85	0.72
Niveles	Orientación 10	distancia 10	3	6.67	<.0001	<.0001	<.0001	1.37	0.61

Anexo 26. Medias de familias destacadas en el análisis de las variables Niveles-Orientación-Distancia (Tukey $P \leq 0.05$), en un ensayo de progenies de 23 familias de medios hermanos de *Agave cupreata* en condiciones de jardín común, en Arroyo Colorado, Morelia, Michoacán.

Variables			por variable+variable fija	
Variable	Variables fijas		Tukey familia	Media °Bx familia
Niveles	Orientación 1	distancia 1	3	25.86
Niveles	Orientación 1	distancia 2	3	23.27
Niveles	Orientación 1	distancia 3	20	14.37
Niveles	Orientación 1	distancia 4	3	8.10
Niveles	Orientación 1	distancia 5	9	10.30
Niveles	Orientación 1	distancia 6	9	11.07
Niveles	Orientación 1	distancia 7	3	5.71
Niveles	Orientación 1	distancia 8	2	6.21
Niveles	Orientación 1	distancia 9	2	6.22
Niveles	Orientación 1	distancia 10	3	6.76
Niveles	Orientación 2	distancia 1	3	26.65
Niveles	Orientación 2	distancia 2	3	24.04
Niveles	Orientación 2	distancia 3	3	15.18
Niveles	Orientación 2	distancia 4	3	8.04
Niveles	Orientación 2	distancia 5	12	8.16
Niveles	Orientación 2	distancia 6	12	8.67
Niveles	Orientación 2	distancia 7	9	9.77
Niveles	Orientación 2	distancia 8	9	13.18
Niveles	Orientación 2	distancia 9	9	13.17
Niveles	Orientación 2	distancia 10	14	9.99
Niveles	Orientación 3	distancia 1	3	27.60
Niveles	Orientación 3	distancia 2	3	24.31
Niveles	Orientación 3	distancia 3	20	17.09
Niveles	Orientación 3	distancia 4	9	8.49
Niveles	Orientación 3	distancia 5	12	7.66
Niveles	Orientación 3	distancia 6	9	7.53
Niveles	Orientación 3	distancia 7	3	8.76
Niveles	Orientación 3	distancia 8	12	8.93
Niveles	Orientación 3	distancia 9	8	10.46
Niveles	Orientación 3	distancia 10	3	10.93
Niveles	Orientación 4	distancia 1	9	26.75
Niveles	Orientación 4	distancia 2	3	23.02
Niveles	Orientación 4	distancia 3	20	15.16
Niveles	Orientación 4	distancia 4	24	8.77
Niveles	Orientación 5	distancia 5	14	7.47
Niveles	Orientación 6	distancia 6	3	7.65
Niveles	Orientación 7	distancia 7	19	7.79
Niveles	Orientación 8	distancia 8	19	10.03
Niveles	Orientación 9	distancia 9	12	10.86
Niveles	Orientación 10	distancia 10	8	9.16

Anexo 27. Medias de familias con mayor cantidad de °Bx de acuerdo con Tukey ($P < 0.05$), obtenidas en las variables Orientación-Nivel-Distancia en un ensayo de progenies en condiciones de jardín común.

Variables			Por variable+variable fija	
Variable	Variables fijas		Tukey familia	Media °Bx familia
Orientación	Nivel 1	distancia 1	24	26.20
Orientación	Nivel 1	distancia 2	24	21.29
Orientación	Nivel 1	distancia 3	24	10.07
Orientación	Nivel 1	distancia 4	3	8.28
Orientación	Nivel 1	distancia 5	15	11.17
Orientación	Nivel 1	distancia 6	8	9.50
Orientación	Nivel 1	distancia 7	8	12.83
Orientación	Nivel 1	distancia 8	9	16.30
Orientación	Nivel 1	distancia 9	12	11.00
Orientación	Nivel 1	distancia 10	18	12.75
Orientación	Nivel 2	distancia 1	9	30.74
Orientación	Nivel 2	distancia 2	3	26.52
Orientación	Nivel 2	distancia 3	20	17.93
Orientación	Nivel 2	distancia 4	9	8.31
Orientación	Nivel 2	distancia 5	23	11.28
Orientación	Nivel 2	distancia 6	9	9.03
Orientación	Nivel 2	distancia 7	9	10.25
Orientación	Nivel 2	distancia 8	19	10.50
Orientación	Nivel 2	distancia 9	12	12.50
Orientación	Nivel 2	distancia 10	8	12.25
Orientación	Nivel 3	distancia 1	9	31.25
Orientación	Nivel 3	distancia 2	3	28.43
Orientación	Nivel 3	distancia 3	3	19.41
Orientación	Nivel 3	distancia 4	20	9.75
Orientación	Nivel 3	distancia 5	9	8.52
Orientación	Nivel 3	distancia 6	9	7.95
Orientación	Nivel 3	distancia 7	9	8.73
Orientación	Nivel 3	distancia 8	9	9.28
Orientación	Nivel 3	distancia 9	9	11.42
Orientación	Nivel 3	distancia 10	14	9.03

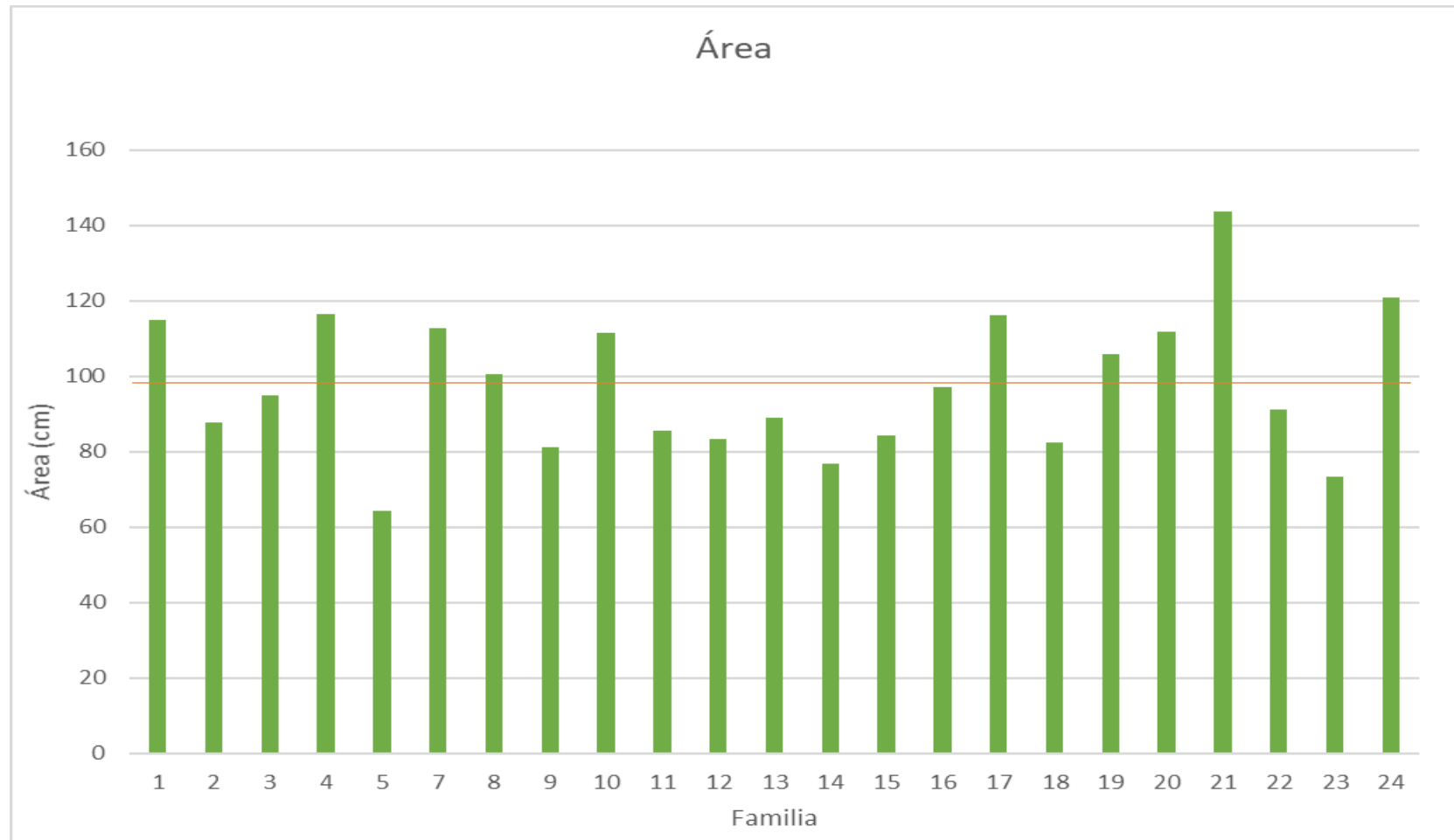
Anexo 28. Fotografía del ensayo instalado completamente al azar de 23 familias de *Agave cupreata* Trel. & Berger, analizadas en producción de °Bx, durante el ensayo correspondiente al capítulo 3.



Anexo 29. Fotografías de las hojas de 23 de 24 familias analizadas durante el estudio, obtenidas de su estadio en condiciones de jardín común, donde se observan las distintas morfologías, de las hojas de cada familia.



Anexo 30. Área de hojas de 23 familias, obtenidas con image J, donde se observan familias que superan la media general con un área por encima del resto.



Anexo 31. Constancias de participación en foros, simposiums, coloquios y talleres, realizados.



9^o Foro Académico
del Posgrado
en Ciencias Biológicas
y Agropecuarias
2018



La Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo a través de los
Programas Institucionales de Maestría y Doctorado en Ciencias Biológicas
otorga la presente

CONSTANCIA A:

ADYLENE AVILA BAUTISTA, ALEJANDRO MARTÍNEZ PALACIOS, NAHÚM MODESTO
SANCHEZ VARGAS, CUAUHTÉMOC SÁENZ ROMERO, SELENE RAMOS ORTÍZ, ABRIL MUNRO
ROJAS

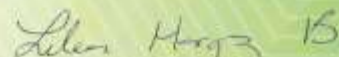
POR SU PARTICIPACIÓN
CON EL TRABAJO:

Selección genética temprana de individuos de *Agave cupreata* para
plantaciones comerciales

EN EL 9° FORO ACADÉMICO DE POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS Y
AGROPECUARIAS,
realizado los días 12 y 13 de diciembre del 2018


DRA. ROSA ELVA NORMA DEL RÍO TORRES
COORDINADORA GENERAL DE
ESTUDIOS DE POSGRADO


DRA. ESPERANZA MELENDEZ HERRERA
COORDINADORA GENERAL DEL PROGRAMA
INSTITUCIONAL DE DOCTORADO EN
CIENCIAS BIOLÓGICAS


DRA. LILIANA MÁRQUEZ BENAVIDES
COORDINADORA GENERAL DEL PROGRAMA
INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN CIENCIAS
BIOLÓGICAS



IV INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF AGAVE Integral and Sustainable Use of Agave

Otorga el presente

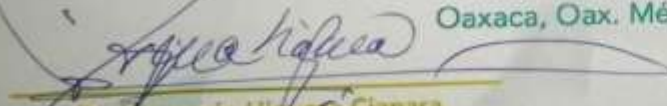
RECONOCIMIENTO

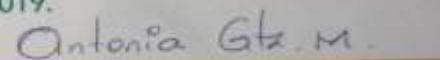
a:

**Adylene Avila Bautista, Nahum M. Sánchez Vargas,
Alejandro Martínez Palacios**

Por su participación con el tema **Behavior of variables for the selection of families of
Agave cupreata Trel. & Berger**, en modalidad oral.

Oaxaca, Oax. México 6-9 de marzo 2019.


Dr. Inocencio Higuera Ciapara
Director General CIATEJ


Dra. Antonia Gutiérrez Mora
Presidenta del Comité Organizador





CONSTANCIA

a:

ADYLENE ÁVILA BAUTISTA

Por su participación en el IV Simposio Internacional de Agave, celebrado del 6 al 9 de marzo 2019, en la ciudad de Oaxaca.

Dr. Inocencio Higuera Zapara
Director General CIATEJ

Oaxaca, Oax., México. Marzo de 2019.

Dra. Antonia Gutiérrez Mora
Presidenta del Comité Organizador





IV INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF AGAVE Integral and Sustainable Use of Agave

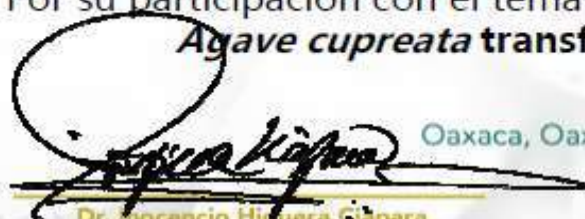
Otorga el presente

RECONOCIMIENTO

a:

Toledo-Esquivel L., Ávila B.A., Sáenz-Romero C. & Martínez-Palacios A.

Por su participación con el tema **Effect of environmental stress on plants of *Agave cupreata* transferred in field** en modalidad póster.



Dr. Mucencio Higuera Espinoza
Director General CIATEJ

Oaxaca, Oax. México 6-9 de marzo 2019.



Dra. Antonia Gutiérrez Mora
Presidenta del Comité Organizador



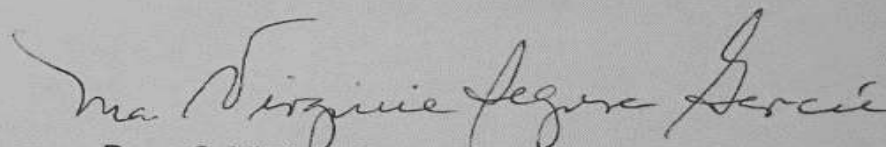
A QUIEN CORRESPONDA

Por medio de la presente hago constar que la alumna *Adylene Avila Bautista*, con matrícula 0714373G asistió como oyente al curso *TSBI Taller de redacción y edición de textos académicos* que se imparte en la licenciatura de Biología de esta universidad, al cual solo asistió el 75% del semestre 2019-2019 en el que se impartió la mencionada materia.

Aun cuando no cubrió la totalidad del curso, cabe resaltar que la participación de la alumna fue realizada con sumo empeño y responsabilidad.

La presente se extiende para los fines que crea convenientes.

ATENTAMENTE



D. en C. Virginia Segura García
Profesora de la materia
Morelia, Mich., 24 de mayo de 2019

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Coordinación de Investigación Científica a través del
Departamento de Comunicación de la Ciencia

otorgan la presente

CONSTANCIA

a

Adylene Avila Bautista

por su participación como:

Propagación, selección y conservación de plantas a
través del sistema agroforestal

con una participación de **17** horas en el **XXIX Tianguis de la Ciencia**

29 y 30 de marzo, Ciudad Universitaria, Morelia, Michoacán 2019



Dr. Marco Antonio Landavazo Arias
Coordinador de la Investigación Científica





Foro Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas y Agropecuarias



La Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y la Coordinación General de Estudios de Posgrado
a través de los Programas Institucionales de Maestría y Doctorado en Ciencias Biológicas
otorga la presente:

CONSTANCIA A:

Adylene Avila Bautista, Alejandro Martinez Palacios, Nahum Modesto Sánchez Vargas, Abril Munro Rojas,
Selene Ramos Ortiz, Cuauhtémoc Sáenz Romero

POR SU PARTICIPACIÓN

En 10º Foro Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas y Agropecuarias, los días 27 y 28 de noviembre del 2019, en
la ciudad de Morelia, Michoacán.

CON LA PONENCIA TITULADA

SELECCIÓN DE FAMILIAS DE AGAVE CUPREATA, DURANTE EL PERIODO DE ESTIAJE


DR. LUIS FELIPE MENDOZA CUENCA
COORDINADOR GENERAL DEL PROGRAMA
INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN CIENCIAS
BIOLÓGICAS


DRA. ESPERANZA MELENDEZ HERRERA
COORDINADORA GENERAL DEL PROGRAMA
INSTITUCIONAL DE DOCTORADO EN CIENCIAS
BIOLÓGICAS

