



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Tlajomulco



TESIS

CON EL TEMA:

“EVALUACIÓN DEL ÓXIDO DE SILICIO (SiO₂) EN *agave tequilana* Weber variedad azul”

QUE PRESENTA:

CYNTHIA DANIELA RAMIREZ HURTADO

ASESOR:

MC. ALEJANDRO FRIAS CASTRO

REVISORES:

**MC. OSVALDO AMADOR CAMACHO
DR. MIGUEL ANGEL SEGURA CASTRUITA**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA EN AGRONOMÍA**

TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA, JALISCO. OCTUBRE, 2024.

Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, **17/Septiembre/2024**

No. DE OFICIO: D.SA/1073/2024
ASUNTO: Autorización de impresión definitiva y digitalización.

C. CYNTHIA DANIELA RAMIREZ HURTADO
PASANTE DE LA CARRERA DE INGENIERIA EN AGRONOMÍA
P R E S E N T E

Dado que el Comité dictaminó como **APROBADA** su TITULACIÓN INTEGRAL: OPCIÓN I (TESIS), con el tema **“EVALUACIÓN DEL ÓXIDO DE SILICIO (SiO₂) EN agave tequilana Weber variedad azul”** y determinó que da cumplimiento con los requisitos establecidos, se le notifica que tiene la autorización para su impresión definitiva y digitalización.

Sin otro particular quedo de usted.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
Educando para la Sociedad Actual y los Retos del Futuro

C. MARÍA ISABEL BECERRA RODRÍGUEZ
DIRECTORA DEL PLANTEL



C.c.p.- Coordinación de Apoyo a la Titulación. - Edificio
C.c.p.- Minutario. -

MIBR/RNP/VHPS/mjhc





Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, **14/Septiembre/2024**

No. DE OFICIO: D.SA/DCA/370/2024
ASUNTO: Liberación de proyecto para
la titulación integral.

MTI. VIOLETA HAIDE PLAZOLA SOLTERO
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
P R E S E N T E

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la titulación integral:

NOMBRE DEL ESTUDIANTE Y/O EGRESADO:	CYNTHIA DANIELA RAMIREZ HURTADO
NO. DE CONTROL:	19940226
PRODUCTO:	OPCIÓN I (TESIS)
CARRERA:	INGENIERÍA EN AGRONOMÍA
NOMBRE DEL PROYECTO:	"EVALUACIÓN DEL ÓXIDO DE SILICIO (SiO₂) EN agave tequilana Weber variedad azul"

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Educando para la Sociedad Actual y los Retos del Futuro



S.E.P.
TECNM
14DIT0003B
TLAJOMULCO
CIENCIAS
AGROPECUARIAS

MC. JORGE ARMANDO PERALTA NAVA
RESPONSABLE DEL DEPARTAMENTO
DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

 MC. ALEJANDRO FRIAS CASTRO Nombre y firma del asesor	 MC. OSVALDO AMADOR CAMACHO Nombre y firma del revisor	 DR. MIGUEL ANGEL SEGURA CASTRIOTA Nombre y firma del revisor
--	---	--

C.c.p.- Expediente.
JAPN/mjhc*



CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco; a los 17 días del mes de Septiembre del 2024.

A QUIEN CORRESPONDA

PRESENTE

Por medio del presente documento me permito otorgar la cesión de derechos de autor. Yo, **CYNTHIA DANIELA RAMIREZ HURTADO** egresada del programa de Licenciatura: **Ingeniería en Agronomía** y con número de control **19940226**. Expreso mi deseo y conformidad de ceder los derechos de nuestra obra "**EVALUACIÓN DEL ÓXIDO DE SILICIO (SIO₂) EN *agave tequilana* Weber variedad azul**" al Tecnológico Nacional de México, Campus Tlajomulco para que sea publicada en el Repositorio Institucional.

Manifestó que el trabajo es completamente original, no ha sido publicado ni mostrado, por ende, es inédito y soy la única autora del mismo.

Lo anterior con carácter permanente e irrevocable y a título gratuito. Teniendo efecto desde el momento en que se reciba la carta.

De antemano agradezco su comprensión y quedo atenta a la respuesta.

Atentamente



CYNTHIA DANIELA RAMIREZ HURTADO

Nombre completo y firma

cynthia01drh@gmail.com

email

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la parcela llamada “El pirul” ubicada en la carretera a Arvento-Cajititlan, municipio de Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco., con el fin de evaluar el efecto del ácido ortosilícico en el cultivo de agave (*Agave tequilana* Weber var. azul). Se estableció un diseño experimental de bloques al azar, mediante 3 tratamientos: T1 (testigo), T2 (aplicación foliar), T3 (aplicación directo a la base de la planta), evaluando 12 plantas por tratamiento. Las variables utilizadas para cuantificar el efecto del silicio fueron: número de hojas mediante un conteo manual, longitud de la hoja no.2 con ayuda de un flexometro, numero de hijuelos desarrollados, medición del diámetro ecuatorial de la planta y grados Brix mediante el uso de un refractómetro, los conteos se realizaron cada 15 días exceptuando la medición de grados brix, la cual se realizó al finalizar los 6 meses del tratamiento. Los resultados mostraron que no hubo una diferencia significativa en cuanto al número de hojas, no obstante, se observa que la aplicación dirigida a la piña de la planta tiene una tendencia de crecimiento de 1 a 2 hojas más en comparación a los demás tratamientos. En el crecimiento del diámetro ecuatorial se observó una diferencia significativa en el tratamiento 2 (aplicación directa a la piña de la planta), el cual presenta un crecimiento constante de 2 centímetros más en comparación con los dos tratamientos. Estos resultados concluyen que la aplicación de silicio tiene efectos positivos en las plantas de agave cuando es aplicado directo a la piña de la planta (Drench).

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	5
RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	13
3. Hipótesis.....	15
4. Fundamento Teórico	16
4.1. Características generales del cultivo del agave.	16
4.1.1. Origen del Tequila	16
4.1.2. Distribución geográfica.....	16
4.1.3. Descripción botánica.	17
4.1.4. Hojas.....	18
4.1.5. Flores.....	18
4.1.6. Fruto.....	18
4.2. Requerimientos agroecológicos.....	18
4.2.1. Altitud.....	19
4.2.2. Precipitación.....	19
4.2.3. Temperatura.....	19
4.2.4. Suelo.....	20
4.2.5. Nutrientes esenciales.....	20
4.3. El silicio y sus características.....	22
4.3.1. Importancia del silicio en la agricultura.....	22
4.3.2. Disponibilidad de silicio en el suelo.....	22
4.3.3. El silicio como Bioestimulante.....	23
4.4. Antecedentes de investigación y aplicación de silicio en la agricultura.....	24
5. PROCEDIMIENTO	30
5.1. Localización del predio	30
5.2. Caracterización de la plantación.....	30
5.3. Establecimiento del Diseño experimental.....	32
5.4 Identificación de las variables.....	33
5.4.1 Número total de hojas	33
5.4.2 Tamaño de la hoja.....	33
5.4.3 Medición del diámetro ecuatorial.....	34
5.4.4 Medición de grados brix	35
5.4.5 Medición del número de hijuelos desarrollados por la planta.....	36

5.5 Aplicación del silicio.....	36
5.6 Tratamientos en evaluación.	37
5.7 Monitoreo de plagas y enfermedades.	40
5.8. Análisis estadístico.	41
6. RESULTADOS	42
6.1 Número total de hojas	42
6.2 Tamaño hoja No° 2.	44
6.3. Diámetro ecuatorial de la bola.....	46
6.4 Medición grados Brix.....	48
6.5 Numero de hijuelos desarrollados.	48
7. Conclusiones.....	50
8. Bibliografía	51

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Nutrientes esenciales para las plantas.....	18
Tabla 2. Identificación de los tratamientos a evaluar.....	29
Tabla 3. Distribución y aplicación del producto susceptible a evaluar.....	35
Tabla 4. Distribución de los tratamientos en el cultivo de agave.....	35
Tabla 5. Numero de hojas promedio en etapa vegetativa del cultivo de agave.....	39
Tabla 6. Tamaño de la hoja Numero 2.....	41
Tabla 7. Diámetro ecuatorial de la base de la planta.....	44
Tabla 8. Numero de hijuelos desarrollados por las plantas.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. DOT con los municipios que la constituyen.....	14
Figura 2. Ubicación de la parcela en estudio.....	27
Figura 3. Condición de la planta en el momento de la identificación del predio, donde se observa el estado de la plantación y la presencia de algunas malezas, principalmente grama.....	28
Figura 4. Plantas con afección de herbicida en hojas basales causado por las aplicaciones del manejo en el año anterior.....	28
Figura 5. Diferenciación de los tratamientos.....	29
Figura 6. Medición de longitud de la hoja.....	31
Figura 7. Medición diámetro de la planta.....	32
Figura 8. Producto por evaluar.....	34
Figura 9. Aplicación foliar.....	36
Figura 10. Aplicación dirigida a la piña de la planta.....	37

ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1. Número de hojas emergidas cada 15 días en el cultivo de agave.....	40
Gráfica 2. Tamaño de la hoja número dos.....	42
Grafica 3. Comportamiento de los tratamientos con respecto al diámetro ecuatorial.....	44
Grafica 4. Promedio del nivel de grados brix por tratamiento.....	45
Grafica 5. Numero de hijuelos.....	46

INTRODUCCIÓN

Actualmente el papel del silicio en el campo agrícola ha tomado gran importancia, ya que gracias a diversos estudios se ha observado que actúa estructuralmente en la planta, esto ayuda positivamente en el balance de nutrientes, disminuyendo la absorción de elementos tóxicos y también se obtiene una mayor tolerancia al estrés hídrico y a golpes de calor.

Otros efectos benéficos comprobados del silicio son la reducción de pérdida de agua cuticular por la acumulación de silicio en la epidermis, en pruebas realizadas sobre cultivos de arroz y trigo. Otros autores reportan que con un adecuado suministro de silicio en cereales se obtiene mayor resistencia al acame. Finalmente se considera que el silicio aumenta la tolerancia de las plantas a toxicidades por manganeso (Mn). Marschner sugiere que el silicio genera una distribución más uniforme del Mn dentro de la hoja, de los vasos a los tejidos que los rodean.

Las investigaciones demuestran que hay beneficios con el uso del silicio en algunos cultivos agrícolas (arroz, trigo, cañas de azúcar, etc.), especialmente si se cultivan en tierras de baja calidad. Por su parte el cultivo del tomate presentó un incremento de su floración y del conjunto de frutos cuando el silicio fue aplicado, sin embargo, no presentó una disminución en la toxicidad de nutrientes.

Hoy en día el cultivo del agave azul y la exportación de tequila representa una de las más importantes actividades del sector agroalimentario. La producción nacional de *Agave tequilana* en 2020 fue de un millón 519 mil toneladas, por su parte Jalisco es la entidad que aportó 74.3 por ciento de la producción nacional. (SIAP 19 de marzo de 2022).

El agave se ha establecido como un cultivo de gran importancia económica es por ello que los agricultores buscan nuevas alternativas para lograr el correcto desarrollo de su cultivo y obtener los rendimientos esperados, por ello, el uso del silicio en el cultivo del agave es una opción que permitirá obtener mejores resultados ya que ayudara a la planta contra el estrés hídrico, estrés por altas temperaturas, mayor número de hojas, además de disminuir la intoxicación por el mal manejo de herbicidas.

En virtud de, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar el impacto del óxido de silicio en el desarrollo vegetativo del cultivo de *Agave*.

3. Hipótesis.

El silicio mejora el desarrollo del *Agave tequilana* cuando se aplica directo a la piña.

4. Fundamento Teórico

4.1. Características generales del cultivo del agave.

4.1.1. Origen del Tequila

El antes llamado "Agave mexicana" fue bautizado en honor al botánico Weber, quien en 1898 estableció las diferencias entre las especies de agaves y propuso que su nombre científico fuera "Agave tequilana". Esta planta se dio originalmente al noroeste de Guadalajara, en la zona que durante la Colonia era conocida como el Corregimiento de Tequila (lugar de hierbas silvestres). Carrillo en 2009 describe la elaboración del tequila en su proceso así como la evolución de las normas y denominación de origen, la primera regulación que menciona en su trabajo "los destilados de agave en México y su denominación de origen se referencia en enero de 1928, de ahí la importancia del tequila ya económica así como su inicio de posicionamiento en el mundo hace mención ya en su trabajo sobre como la demanda obliga a producir tequila que no es 100% y como afecta en el consumidor extranjero. El CRT en 2023, menciona que en 1940 ya el tequila empieza a competir con bebidas como el whisky, en 1950 inician las mejoras con fines industriales y el agave detona en producción de muchas fábricas destiladoras.

4.1.2. Distribución geográfica.

El *Agave tequilana* variedad azul, llamado agave azul, es endémico de una zona de México; crece en un área restringida del estado de Jalisco, aunque también lo han sembrado en otras localidades de Guanajuato, Michoacán y Tamaulipas.

En 2006, se contabilizaron 178 mil 625 hectáreas de esa planta, de las que se cosecharon 12 mil 297 toneladas, de acuerdo con el Servicio de Información

Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).

Revelan que en los últimos seis años el precio de la tonelada de agave ha disminuido de manera drástica, al pasar de siete mil 807 pesos en 2001 a mil 664 en 2005, y a mil 242 pesos en 2006.

La denominación de origen. Se basa en el artículo 156 de la LPI y exige entre otras cosas, una zona geográfica delimitada, reconocimiento del lugar geográfico, y condiciones precisas de producción, en base al clima, suelo, especie vegetal y actividad humana. CRT. 2023.



Figura 1. DOT con los municipios que la constituyen

4.1.3. Descripción botánica.

Agave tequilana Weber variedad azul pertenece al subgénero *Agave* y a la sección *Rigidae*, a la cual también pertenecen una gran cantidad de especies fibreras y mezcaleras que se extienden en México y Centroamérica estando ausentes en los Estados Unidos. La descripción botánica del mezcal tequilero es la siguiente: *Agave tequilana* Weber 1902 (Weber) Planta suculenta que se extiende radicalmente de

1.2 a 1.8 m de longitud. Su tallo es grueso, corto de 30 a 50 cm. de altura al madurar. Pérez y Del Real. 2007.

4.1.4. Hojas.

Las hojas de 90 a 120 cm. lanceoladas, acuminadas de fibras firmes, casi siempre rígidamente estiradas, cóncavas de ascendentes a horizontales; lo más ancho se encuentra hacia la mitad de la hoja, angosta y gruesa hacia la base, generalmente de color glauco azulado a verde grisáceo. El margen es recto a ondulado o retando, los dientes generalmente de tamaño regular y espaciados irregularmente, en su mayoría de 3 a 6 mm de largo a la mitad de la hoja. Pérez y Del Real. 2007.

4.1.5. Flores.

La inflorescencia es una panícula de 5 a 6 ms de altura, densamente ramosa a lo largo, con 20 a 25 umbelas largas difusas de flores verdes y estambres rosados. Flores de 68 a 75 mm de largo con bractéolas sobre los pedicelos de 3 a 8 mm de longitud. Ovario de 32 a 38 mm de largo, cilíndrico con cuello corto, inconstricto, casi terminado en punta sobre la base.

4.1.6. Fruto.

El fruto es una cápsula ovalada a brevemente cúspida.

4.2. Requerimientos agroecológicos.

El *Agave tequilana* Weber se adapta a regiones subtropicales semiáridas y subhúmedas con régimen térmico templado, semicálido o cálido. Pérez y Del Real. 2007. Por su parte Tena-Meza, et al. 2023. Hicieron un estudio en la zona de la barranca del río Santiago y encontraron que ahí se cultivan más de 1000 has de Agave en dicha zona delimitada con más de 72 000 has en estudio. Encontraron que el 72% de la zona corresponde a un clima cálido subhúmedo Awo y el resto del

área corresponde a semicalido subhúmedo y una fracción mínima de clima templado, de las más de 1000 has analizadas, la mayoría se encuentran en cálido subhúmedo, cabe mencionar que esta zona de la barranca no presenta heladas, lo cual le confiere una ventaja al desarrollo del agave.

4.2.1. Altitud.

Aunque el *A. tequilana* se adapta a un amplio rango altitudinal, parece favorecerle el intervalo que va de 1 000 a 2 200 msnm. En altitudes inferiores a 1 000 m, el desarrollo inicial del cultivo es rápido y prometedor. En altitudes superiores a 2 200 msnm, la velocidad de desarrollo del cultivo se reduce significativamente y el riesgo de daño por bajas temperaturas y/o heladas se incrementa de manera significativa.

4.2.2. Precipitación.

El agave prospera bajo un régimen de precipitación anual de 700 a 1 000 mm y una atmósfera de seca a moderadamente seca la mayor parte del año. Las regiones productoras de agave más importantes, localizadas en el Estado de Jalisco, México, presentan una precipitación anual que va de 700 a 1 100 mm

4.2.3. Temperatura.

El *Agave tequilana* es una planta que presenta pobre tolerancia a las bajas temperaturas, en comparación con la mayoría de las especies de la familia *Agavaceae*. Dado que es una planta MAC, el agave es muy sensible a las temperaturas nocturnas. La asimilación de CO₂ se favorece con temperaturas diurnas/nocturnas de bajas a moderadas y disminuye drásticamente en ambientes donde, sobre todo, las temperaturas nocturnas son elevadas. En estas condiciones también se incrementa la respiración. Pérez y Del Real. 2007. De 11 a 34° encontraron en la zona de la barranca del río Santiago. Tena-Meza, et al. 2023.

4.2.4. Suelo.

Los agaves prefieren suelos de textura media, por ejemplo, suelos francos, franco-arenosos o franco-arcillosos. Aunque en zonas con baja precipitación, los agaves prefieren suelos con mayor retención de humedad, es decir suelos de textura pesada, como arcillosos o limo-arcillosos, pero pueden desarrollarse adecuadamente en suelos delgados o profundos. Además, el género *Agave* presenta tolerancia de ligera a intermedia a sales y prospera mejor en un rango de pH de 6.0 a 8.0; y no son recomendables suelos con problemas de acidez o alcalinidad para su cultivo Ruiz et al. 2013.

4.2.5. Nutrientes esenciales.

Los primeros se dividen en elementos primarios e incluyen al nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K), y elementos secundarios, como el calcio (Ca), el magnesio (Mg) y el azufre (S). Los micronutrientes son hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn), zinc (Zn), boro (Bo) y molibdeno (Mo). (Zúñiga, 2013)

Tabla 1. Nutrientes esenciales para las plantas. Tomado de (Zúñiga, 2013)

Elemento	Fuente	Forma asimilable	Principal función dentro de la planta
Macronutrientes			
Nitrógeno	Suelo y aire	NO_3^- , NH_4^+	Síntesis de clorofila, proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas.
Fósforo	Suelo	HPO_4^{2-} , H_2PO_4^-	Formación y transportador de energía ATP, ácidos nucleicos, coenzimas,
Potasio	Suelo	K^+	Regulación hídrica, apertura estomática, glicólisis
Calcio	Suelo	Ca^{2+}	Estructura y permeabilidad de la membrana, constituye la lámina media
Magnesio	Suelo	Mg^{2+}	Asimilación del CO_2 , parte principal de la molécula de clorofila
Azufre	Suelo	SO_4^{2-}	Síntesis de proteínas y función estructural
Micronutrientes			
Hierro	Suelo	Fe^{2+} , Fe^{3+}	Transporte de electrones, síntesis de clorofila
Manganeso	Suelo	Mn^{2+}	Óxido-reducción en el transporte de electrones (fotosíntesis)
Zinc	Suelo	Zn^{2+} , $\text{Zn}(\text{OH})_2$	Metabolismo de auxinas y síntesis del nucleótido (Zn^{2+} , $\text{Zn}(\text{OH})_2$)
Cobre	Suelo	Cu^+ , Cu^{2+}	Activador enzimático; síntesis de lignina, melanina e hidratos de carbono
Boro	Suelo	H_3BO_3^-	Síntesis del nucleótido, translocación y asimilación de carbohidratos
Cloro	Suelo	Cl^-	Mantiene la neutralidad eléctrica y la turgencia
Molibdeno	Suelo	MoO_4^{2-}	Fijación de nitrógeno, componente de la nitrato-reductasa y la nitrogenasa

En la planta de agave se ha observado que cuando el suministro de nitrógeno es limitado, el crecimiento disminuye y su follaje empieza a tomar un color verde, en lugar del azul característico. En una deficiencia severa de N, las plantas se autoajustan, enviando el N presente en las hojas maduras hacia las hojas jóvenes. Ante esta situación, se afectan negativamente los rendimientos.

4.3. El silicio y sus características.

4.3.1. Importancia del silicio en la agricultura.

El silicio, aun cuando no es considerado un elemento esencial para las plantas, presenta infinidad de beneficios, dentro de sus características principales, después del oxígeno es el elemento más abundante de la corteza terrestre. Se ha demostrado que este elemento aporta una serie de beneficios para las plantas, dentro de los cuales se puede mencionar, la turgencia de la planta, la resistencia a plagas, la disminución de impactos de toxicidad, entre tantos. Las plantas absorben silicio en forma de ácido silícico, y en estudios realizados a materia seca se ha observado que se encuentra entre el .1 y el 10% de silicio en las plantas. En cultivos de gramíneas se consideran plantas acumuladoras de este elemento.

Algunas plantas absorben el silicio de forma pasiva pero algunas pocas familias también de forma activa, se sabe que el silicio una vez entrando en el transporte xilemático, se acumula en células estomáticas, así como en tricomas.

Es necesario comprender que el silicio se relaciona en absorción más a géneros y especies específicas y no a condiciones ambientales o fisiológicas generales, siendo esto lógico ya que el elemento no cumple con los criterios de esencialidad vegetal. Castellanos, et al. 2015.

4.3.2. Disponibilidad de silicio en el suelo.

El silicio se encuentra sin duda en el suelo, pero este participa en infinidad de compuestos, por ejemplo, las unidades estructurales de las láminas de arcilla que se comportan como tetraedros de silicatos, pero no disponibles al encontrarse químicamente estables en dichas laminas, uno de los factores importantes a considerar sobre la ausencia de silicio en el suelo como lo mencionan Moncada, et al. 1991 que en suelos tropicales altamente lixiviados así como en suelos con alto grado de desgaste donde se han hecho aplicaciones de silicio que mejoran la condición de diversos cultivos. Castellanos, et al. En el 2015 hacen mención del silicio en la solución del suelo, que se encuentra como ácido monosilícico ($\text{Si}(\text{OH})_4$), la mayor parte en forma no disociada, siendo disponible para las plantas.

4.3.3. El silicio como Bioestimulante.

El efecto bioestimulante del silicio se basa en su acción de mejora del balance de nutrientes. A igual disponibilidad de nutrientes las plantas con un mayor contenido en silicio conseguirán mejores rendimientos

Otro efecto bioestimulante será el conseguido en situaciones de exceso de sodio y de metales pesados, como puede el caso del aluminio en suelos ácidos. En estas situaciones, las plantas con más silicio absorberán en menor medida estos elementos y tendrán un mayor crecimiento.

El último efecto bioestimulante vendrá determinado por la menor parada vegetativa que se va a producir en situaciones de fuerte estrés hídrico y/o golpe de calor.

4.4. Antecedentes de investigación y aplicación de silicio en la agricultura.

A través del tiempo las necesidades de alimentación en el mundo son bastante preocupantes, debido al crecimiento de la población y aun cuando el Agave no es un alimento, dentro del contexto de las bebidas del mundo es considerado de importancia.

La creciente necesidad de cumplir con materias primas demandadas en un contexto de alta cantidad y escasas de suelo agrícola, obliga a buscar nuevas técnicas de producción e investigar cómo funcionan de manera óptima las tecnologías que se tienen, es el silicio un elemento de importancia al presentar la tetravalencia de manera similar al carbono y encontrarse dentro del mismo grupo o familia de la tabla periódica, por ello se le ha encontrado un sin número de aplicaciones, como nutriente, insecticida, inductor o bioestimulante, estructural entre otros como se evidencia en los siguientes autores.

Vinces. (2021) Evaluó el control de la severidad de la mancha de asfalto en el cultivo de maíz, usando oxido de silicio. Para la evaluación se utilizaron bloques completamente al azar y los datos fueron registrados en el programa estadístico infostat, también se realizaron pruebas visuales en el programa leaf Doctor. Se evaluaron 6 tratamientos los cuales fueron T1: manejo convencional, T2: dosis de 504 Kg/ha, T3: dosis de 420 Kg/ha, T4: dosis de 336 Kg/ha, T5: dosis de 252 Kg/ha, T6: dosis de 168 Kg/ha, también fueron evaluados diferentes grados de severidad los cuales fueron Sev.0%, Sev. 1-6%, Sev. 7-22%, Sev. 56-84%, Sev. 85-95% y Sev. 96-100%, se observó que las hojas más bajas de las plantas fueron las que tuvieron un daño mayor (4.47%), además se indicó que una dosis de silicio de 168 Kg/ha presenta una alta resistencia a la enfermedad, en diferencia a las demás dosis utilizadas.

Castellanos *et al.*, (2015) por su parte, evaluaron el uso del silicio contra plagas en el cultivo de trigo, se observó una disminución en las poblaciones de áfidos *Metopolophium dirhodum* y *Sitobion avenae*, después de la aplicación foliar de silicio. Se evaluaron 6 tratamientos con silicato de sodio (0,4 % de NaSiO²) los

cuales fueron aplicados en intervalos de 5 días a una dosis de 50 mL por maceta, en los resultados observaron que se logró reducir la longevidad y preferencia de las del pulgón verde *Schizaphis graminum*, además encontraron que la fertilización con silicio induce resistencia en las plantas de trigo contra *S. graminum*, debido a que este elemento produce un aumento en la síntesis de compuestos de defensa de la planta.

Por su parte Naranjo y Solórzano en 2018 analizaron el efecto de la aplicación foliar en el cultivo de arroz con diferentes dosis de silicio, además de la resistencia de las plantas al estrés hídrico. Realizaron dos experimentos, el primero lo establecieron en un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. Se realizó una aplicación con 6 dosis diferentes las cuales fueron (0, 0.54, 0.81, 1.35, 1.62 kg/ha) estas mismas fueron aplicadas en 2 etapas fenológicas (macollamiento y floración). Las variables evaluadas fueron: número de macollas, días a floración, altura y biomasa de la planta, silicio foliar y rendimiento. Se encontraron diferencias significativas en la altura de la planta, el número de macollas, biomasa y rendimiento, la dosis que presentó un mayor rendimiento fue la de 1.35 Kg/ha aplicada en etapa de macollamiento. También se observó que las aplicaciones de silicio no presentaron una resistencia a la sequía, contrario a lo que se esperaba, ya que el silicio genera resistencia al estrés provocado por factores bióticos y abióticos.

Quiroga (2016) realizó un experimento donde evaluó los efectos de la aplicación foliar en el cultivo de pepino aplicando cuatro dosis de silicio ante dos condiciones de riego. Se desarrollaron 8 tratamientos los cuales fueron el resultado de la combinación de dos factores: riego al 50% y al 100% y las dosis de silicio las cuales fueron: 0ml, 500ml, 100ml y 1500ml, con un diseño de bloques totalmente al azar. La aplicación del silicio incrementó considerablemente las variables de rendimiento, este aumento se debe al gran efecto que tiene el silicio en las hojas de la planta lo cual evita la transpiración de esta ante una situación de estrés biótico o abiótico. Se encontraron 3 tratamientos con resultados similares en número y peso de frutos los

cuales fueron T2 (Riego 50%- 500 ml Si), T3 (Riego 50% - 1000 ml Si) y T4 (Riego 50% -1500 ml Si), estos mostraron una diferencia significativa a los tratamientos que tenían un riego completo (100%). Se observó que la dosis o (1500 ml Si / 100 L agua) tuvo un mayor promedio en las variables evaluadas durante el ciclo productivo del cultivo, cabe mencionar que el papel de agua es parte fundamental para el desarrollo del cultivo, pues si se tiene una menor disponibilidad de agua es más aceptable la dosis más de 500ml de Si, ya que demostró resultados considerables ante los demás tratamientos.

Por otra parte, Henk-Marten L. 2018. Evaluó el uso de pulverizaciones foliares con compuestos de silicio. Estas pulverizaciones con silicatos son eficaces como plaguicidas, por su parte las pulverizaciones con ácido silícico aumentaron el crecimiento y rendimiento además de reducir el estrés causado por factores bióticos y abióticos. Las pulverizaciones con silicatos redujeron las infecciones de oídio en pepino, calabacín y melón. Se encontraron efectos similares en el cultivo de arroz. Sin embargo, estas pulverizaciones no aumentan el crecimiento ni el rendimiento de las plantas especialmente cuando son aplicadas dosis muy altas. Se realizaron ensayos donde se aplicaron dosis más bajas de $K_4(SiO_4)$ y se obtuvo un crecimiento mayor y un alto rendimiento en las plantas, además se observó que las aplicaciones repetidas de silicato de potasio actuaron de una mejor manera a realizar una sola pulverización, ya que la pulverización solo ayudo a reducir las infecciones, pero no tuvo efectos en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Guo *et al.*, (2018) documentaron que el silicio es un elemento que ayuda al sano crecimiento de diferentes plantas. Pues favorece a la resistencia a diversos estreses de factores bióticos y abióticos, además de una mejor captación de la luz solar, y resistencia a altas temperaturas. Aunque estos efectos positivos están estrechamente relacionados con el nivel de acumulación y el transporte de silicio en la planta. Actualmente se cuenta con muy poca información sobre los genes transportadores de Si, así como los reguladores de actividad de los antes mencionados, estos factores podrían llegar a ser la base de la ingeniería genética

para mejorar el nivel de acumulación de Si. Por su parte los fertilizantes a base de silicio han evidenciado tener una alta competitividad con los convencionales, aumentando el rendimiento y calidad de diversos cultivos, con un notable beneficio económico.

Matichenkov y Calvert. (2002) realizaron una gran cantidad de estudios los cuales han comprobado que el silicio es un elemento muy importante en el cultivo de caña de azúcar. Se aplican fertilizaciones con Si en suelos donde se presenta Si insoluble para las plantas, aunque en la actualidad no se tienen tantos conocimientos del efecto del Si en la caña en comparación al cultivo de arroz. Las plantas presentan una concentración de silicio que oscila entre 0.3% y 8.4%, normalmente la concentración de silicio en las hojas varía de 0.1% a 3.2%. Una alta concentración de silicio en las hojas se relaciona con un mayor rendimiento en la caña de azúcar. Se realizaron experimentos en Florida y Hawaii donde se demostró que las aplicaciones de fertilizantes a base de silicio en la caña de azúcar actuaron de manera positiva sobre la resistencia a enfermedades, plagas y heladas. Además, manifestaron que la productividad aumentaba del 17 al 30%, por su parte la producción de azúcar incrementaba del 23 al 58%. Los datos expusieron que la fertilización mejorada con Si contrarrestó los daños causados por la roya de la caña de azúcar, y la mancha anular, además de ayudar secundariamente al suelo en sus propiedades químicas y físicas.

Huix, et al, (2021) evaluaron dos fuentes de silicio en el cultivo de cebolla, las cuales fueron aplicadas de forma foliar, durante todo el ciclo del cultivo se realizaron cuatro aplicaciones donde se evaluaron cinco tratamientos, los cuales fueron: T1 Silicato de potasio + fertilizante, T2 Dióxido de silicio + fertilizante, T3 Silicato de potasio, T4 Dióxido de silicio y T5 testigo. Se evaluó el efecto de estas dos fuentes sobre factores como rendimiento, peso del bulbo en ton/ha, así como variables del crecimiento vegetativo como lo son: altura de la planta, número de hojas y diámetro del tallo, por su parte se midió el contenido de nutrientes del área foliar mediante un análisis. Analizando los resultados obtenidos, se declaró que el tratamiento 2

(Dióxido de silicato + fertilizante) fue el que mayor rendimiento generó en comparación a los demás tratamientos aplicados, dicho tratamiento generó un rendimiento de 58.35 ton/ha y una rentabilidad de 41.94%, aunque también el tratamiento 1 (Silicato de potasio) logró un alto rendimiento pues se obtuvieron 57.63 ton/ha.

Amador, *et al*, (2014) evaluaron la eficacia del producto Armurox en el cultivo de caña de azúcar, donde realizaron dos pruebas en las localidades de Ameca y Autlán en el estado de Jalisco (México), realizaron dos aplicaciones foliares durante la fase de amacollamiento (30-45 días). Para conocer el efecto del producto en el cultivo realizaron mediciones de variables como: área foliar, altura de la planta, brotes (N° tallos/metro lineal) a los 30 días y a los 90 días, posterior a la segunda aplicación. Por su parte realizaron análisis para conocer los niveles de diferentes elementos principalmente Silicio, Potasio, Boro, Zinc, Sodio y Nitrógeno. Con los datos obtenidos se logró corregir el nivel de silicio, lo cual se obtuvo con la primera aplicación de Armurox con una dosis de 10ml. L-1, esto se realizó posteriormente a la brotación. Se sugiere que continúen las evaluaciones sobre el efecto que ofrece este producto, ya que podría obtenerse un control en los diferentes patógenos que dañan este cultivo.

La necesidad de continuar con las evaluaciones de los diversos productos con diversas moléculas del silicio es importante para hacer más eficiente el uso de los mismos, así como lograr un esquema de producción más eficiente, así como con el menor impacto posible en los sistemas biológicos de producción en un mundo donde el cambio climático es una realidad.

Fernández (2015) analizó el efecto de los fertilizantes convencionales solos o en combinación con el silicio, además del uso de inductores de resistencia sobre la severidad e incidencia de HLB. Evaluó diferentes concentraciones de fertilizantes más la incorporación de silicio en limón persa y diferentes concentraciones de silicio en limón mexicano. Utilizó una escala de daño para precisar el avance de HLB, dicha escala considera los niveles de 1 a 6, donde 1 es igual a sano y 6 es igual a

planta muerta. Se emplearon 6 tratamientos y 9 repeticiones por tratamiento con diferentes dosis de N-P-K y la adición de silicio para limón Persa y para el limón mexicano realizo 6 tratamientos con 4 repeticiones por tratamiento.

De acuerdo con los resultados que se obtuvieron se mostró que los tratamientos de silicio-selenio en ambos cultivos tuvieron un incremento en cosecha de hasta el 100% y la calidad del producto mejoro de manera significativa. La aplicación del silicio contribuyo al incremento del rendimiento, a la reducción de la severidad de la enfermedad y el retraso del desarrollo de la misma.

Galdino et al., (2017) realizaron una investigación donde usaron una solución fertilizante con dos marcaciones de colores en las cuales asperjaron las hojas de dos plantas de 1.5 años de edad, después de 30, 60 y 120 minutos de la aplicación realizaron cortes histológicos, esta investigación la llevaron a cabo en el laboratorio de histopatología vegetal del colegio de postgraduados de Ciencias Agrícolas *campus* Montecillo. De acuerdo con los resultados que obtuvieron sugieren que la ruta de penetración fue por medio de las estomas y de la cutícula ya que observaron acumulación después de los 30 minutos de la aplicación. Observaron que si existe una penetración de los fertilizantes por medio de las estomas y de ahí se pueden visualizar en el parénquima.

5. PROCEDIMIENTO

5.1. Localización del predio

El presente trabajo de investigación se lleva a cabo en la parcela llamada “El pirul” ubicada en la carretera a Arvento-Cajititlan, municipio de Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco. Con las siguientes coordenadas $20^{\circ}29'18.9''N$ $103^{\circ}20'30.8''W$ (Figura 1)



Figura 2. Ubicación de la parcela en estudio.

5.2. Caracterización de la plantación.

En el predio se encontraron plantas de agave con una edad de 2 años, al recorrer el terreno se observa que las plantas no presentan plagas, y con presencia de malezas principalmente grama en las plantas que se encuentran al final de los surcos, estas mismas presentan manchas en las hojas causadas por el uso de herbicidas, sin embargo, estas manchas no provocaron algún efecto negativo en el desarrollo de la planta.



Figura 3. Condición de la planta en el momento de la identificación del predio, donde se observa el estado de la plantación y la presencia de algunas malezas, principalmente grama.



Figura 4. Plantas con afección de herbicida en hojas basales causado por las aplicaciones del manejo en el año anterior.

5.3. Establecimiento del Diseño experimental.

Se establece un diseño experimental de bloques al azar con 3 tratamientos y 12 repeticiones, evaluando un total de 36 plantas distribuidas en el terreno. Cada tratamiento se identifica colocando una cinta de color en la hoja número dos de cada planta.

Tabla 2. Identificación de los tratamientos a evaluar.

N°	Tratamiento	Color
T1	Testigo	Amarillo
T2	Aplicación foliar	Verde
T3	Aplicación directa a la piña de la planta	Negro



Figura 5. Diferenciación de los tratamientos.

5.4 Identificación de las variables

Debido a que el agave es un cultivo perenne con una duración en su ciclo de vida de siete años, aunque por norma el ciclo comercial puede ser solo de cuatro años a diferencia de otros cultivos de importancia económica y las plantas evaluadas tienen 2 años de edad estas se encuentran en desarrollo vegetativo por lo cual se determinaron las variables que se consideran de importancia y se plantean a continuación:

5.4.1 Número total de hojas

Se ha observado que en las plantas de Agave, se tiene un crecimiento constante en las hojas de emisión meristemática ya que la planta cuenta con un pseudotallo y la emergencia de las hojas depende de la época del año ya que es un cultivo completamente dependiente del temporal y es en la presencia de lluvias donde se inicia con las aplicaciones y donde se tiene un número de hojas por mes e incluso con condiciones favorables en un periodo de diez días se diferencia la emisión de hojas nuevas, por lo cual, el conteo del número de hojas se realizó 1 semana después de conocer el predio y establecer el diseño experimental, diferenciando cada tratamiento con la cinta de color. Este conteo se lleva a cabo cortando las puntas de todas las hojas de las plantas de agave, este proceso se repitió con todos los tratamientos a evaluar, posteriormente esta actividad se realiza cada 15 días.

5.4.2 Tamaño de la hoja

Para esta medición se optó por marcar la hoja número dos de la planta, una vez seleccionada la hoja se mide la longitud con una cinta métrica y se agregaron 3 centímetros a la medición, ya que debido al tamaño de la planta y la forma en la que brotan las hojas es difícil realizar una medición exacta. Esta actividad se realiza con todas las plantas de los 3 tratamientos a evaluar.



Figura 6. Medición de longitud de la hoja.

5.4.3 Medición del diámetro ecuatorial.

Para determinar el diámetro que tiene la bola de cada agave se realiza una medición con unas pinzas, las cuales se encajan de extremo a extremo de la planta a la altura de las hojas más viejas, es decir, lo más cerca del suelo, posteriormente se mide con una cinta métrica la abertura de estas pinzas, dando como resultado el diámetro de la planta, el cual no debería presentar un cambio significativo ya que las plantas se encuentran en desarrollo vegetativo, es decir, las plantas se dedican a brotar hojas y crecer sus hojas ya existentes. Esta medición se realiza cada 15 días.



Figura 7. Medición diámetro de la planta.

5.4.4 Medición de grados brix

La escala Brix se utiliza en el sector de alimentos, para medir la cantidad aproximada de azúcares en savia de fruta, vino o bebidas suaves, y en la industria del azúcar. Para los frutos, un grado Brix indica cerca de 1-2 % de azúcar por peso. Ya que los grados Brix se relacionan con la concentración de los sólidos disueltos (sobre todo sacarosa) en un líquido, tienen que ver con la gravedad específica del líquido.

Para realizar la medición de los grados brix se utiliza un refractómetro el cual nos indica la cantidad de azucares en una concentración liquida o sólida.

Esta medición se realiza una única vez, después de la tercera aplicación del silicio.

5.4.5 Medición del número de hijuelos desarrollados por la planta.

Los hijuelos son brotes que comienzan a desarrollarse en la base de la planta de agave, a partir del primer año. Mientras la planta va envejeciendo su capacidad para generar hijuelos se potencia. En la comercialización de dichos hijuelos, se utilizan términos para la descripción del tamaño: lima, naranja, toronja y piña.

Se realizan 3 conteos de los hijuelos por planta en un periodo de 6 meses.

5.5 Aplicación del silicio.

El producto que se aplica en plantas a evaluar se encuentra en el mercado con el nombre comercial “silitrac” el cual tiene como ingrediente activo óxido de silicio (SiO_2). La aplicación de este producto se realiza 3 veces en un periodo de 6 meses. (Jun-nov). En base a la etapa fenológica de la planta y a la dosis recomendada por el fabricante se aplican 10 mL/L.



Figura 8. Producto por evaluar.

5.6 Tratamientos en evaluación.

Los tratamientos están constituidos por dos aplicaciones: la primera por vía foliar y la segunda dirigida a la base de la planta. La aplicación se realiza con una frecuencia de cada dos meses. Además, se anexa un testigo absoluto al cual no se le realiza ninguna aplicación. Se llevó a cabo un sorteo al azar de los tratamientos y se organiza de la siguiente manera:

Tabla 3. Distribución y aplicación del producto susceptible a evaluar.

Cultivo			Momento de aplicación	
Agave			A partir del comienzo del temporal	
Tratamiento	Producto	Aplicación	Aplicación	Dosis (mL/L)
T1	Testigo	Sin aplicación	Sin aplicación	0
T2	Silitrac	Foliar	1/Bimestre	10
T3	Silitrac	Dirigida a la piña de la planta.	1/Bimestre	10

Tabla 4. Distribución de los tratamientos en el cultivo de Agave.

(T: No de Tratamiento, R: Numero de repetición)

Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3
T3R3	T3R2	T3R4
T1R1	T3R12	T3R7
T2R11	T2R12	T2R8
T2R4	T3R10	T2R7
T1R4	T1R12	T1R10
T3R6	T2R5	T3R11
T1R2	T3R5	T2R9
T2R2	T2R3	T1R6
T1R9	T1R7	T1R3
T1R5	T3R8	T2R10
T3R9	T3R1	T2R1
T2R6	T1R11	T1R8

T1	T2	T3
Testigo	Aplicación foliar	Aplicación dirigida a la piña de la planta.



Figura 9. Aplicación foliar.



Figura 10. Aplicación dirigida a la piña de la planta.

5.7 Monitoreo de plagas y enfermedades.

Cada 15 días se realiza un monitoreo en el agave para descartar la presencia de alguna plaga o enfermedad en las plantas. Se revisaron las hojas y se encontró la presencia de escama armada (*Acutapis agavis*) el cual es un insecto que se alimenta del tejido de las hojas lo que provoca un debilitamiento en las plantas, la presencia de este insecto puede causar pérdidas económicas a los agricultores, ya que debilita el sistema inmune de la planta y pueden entrar fácilmente virus y bacterias a las plantas.

También se presentaron plantas infectadas por el hongo *Fusarium sp*, el cual penetra en las raíces del hospedante hasta llegar a los vasos del xilema, en donde coloniza en forma ascendente (Olivain y Alabouvette, 1999). Los primeros síntomas se presentan en la parte aérea de la planta, el follaje presenta un amarillamiento progresivo.

5.8. Análisis estadístico.

Para el análisis estadístico de los datos se procedió a su tabulación y ordenamiento. Se capturan usando la hoja electrónica de Excel de acuerdo con el diseño experimental en bloques al azar.

Se utiliza el software estadístico InfoStat en su versión 2023, debido a la simplicidad de su interfaz combinada con capacidades profesionales para el análisis estadístico y el manejo de datos.

6. RESULTADOS

6.1 Número total de hojas

De acuerdo con el análisis estadístico, se encontró diferencia significativa en la variable número de hojas (Tabla 5). De acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) el tratamiento aplicación directa a la piña es estadísticamente diferente después de la primera aplicación.

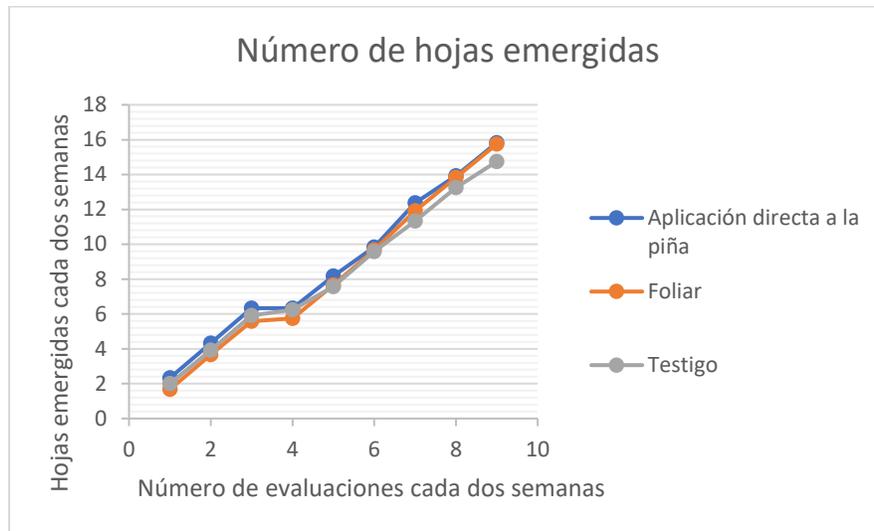
Las mediciones que se realizaron fueron 7 como se muestra en la tabla 5 sin considerar la uno que fue los datos descontados de la segunda. Estas se efectuaron cada dos semanas para ver el comportamiento del aumento de hojas nuevas por lo cual en la primera segunda y tercera medición, se observa que, si hay una diferencia entre tratamientos, el efecto de la aplicación en el primer mes y medio efectuada a finales de junio del año en curso, muestran una condición favorable en la aplicación dirigida a la piña o como se le denomina en campo (Drench).

Tabla 5. Numero de hojas promedio en etapa vegetativa del cultivo de agave.

	2	3	4	5	6	7
p - Valor	0.0494	0.0559	0.0313	14.4	0.1724	0.8344
CV (%)	31.78	16.54	11.15	12.47	10.28	10.66
DRENCH	2.33 A	4.33 A	6.33 A	6.33 A	8.17 A	9.83 A
FOLIAR	1.67 B	3.67 B	5.58 AB	5.75 A	7.67 A	9.67 A
TESTIGO	2 AB	3.92 AB	5.92 B	6.25 A	7.58 A	9.58 A

En un cultivo de ciclo de vida perene y con mediciones cada dos semanas, la variable número de hojas emergidas puede ser un factor no muy confiable, sin embargo, se considera ya que las plantas en campo con condiciones óptimas en el segundo año, llegan a generar hasta 6 hojas en un mes, en la tabla 5, se observan entre 1.67 hasta 2.33 hojas para las primeras dos semanas después de la primera aplicación y posteriormente, el acumulado de cada medición, aun cuando en la segunda aplicación ya no se observan diferencias, en la gráfica 1, se puede apreciar el comportamiento de los tratamientos donde la aplicación directa a la piña se

mantiene por arriba del testigo y la aplicación foliar, aun en las evaluaciones que no se aprecia diferencia significativa.



Gráfica 1. Número de hojas emergidas cada 15 días en el cultivo de agave.

Los resultados obtenidos muestran diferencias significativas entre los tratamientos después de la primera aplicación y posteriormente en la segunda aplicación ya no se ve esta diferencia, probablemente relacionado con los daños ocasionados por escama armada (*Acutaspis agavis*) los cuales se presentaron durante el ciclo. Los datos muestran que la aplicación de silicio directo a la base de la planta si causa un efecto en el número de hojas, aunque no es totalmente notorio ya que es un corto tiempo de evaluación, sin embargo, fue el tiempo sugerido por la empresa y en el modelo de aplicación manejado por sus agricultores.

Resultados similares obtuvieron Araya et al., (2015) al evaluar el uso de fertilizantes líquidos Si, Ca y Mg, aplicados al suelo, sobre el crecimiento de sorgo (*Sorghum bicolor*), se utilizaron dos silicatos de potasio, carbonato de calcio y oxido de magnesio con dosis de 2 y 4 ml, y un testigo. Se observó que el silicato de potasio no presento diferencias significativas en comparación a los fertilizantes que contienen Ca y Mg. De la misma forma en esta investigación, tampoco mostro un impacto positivo de manera foliar.

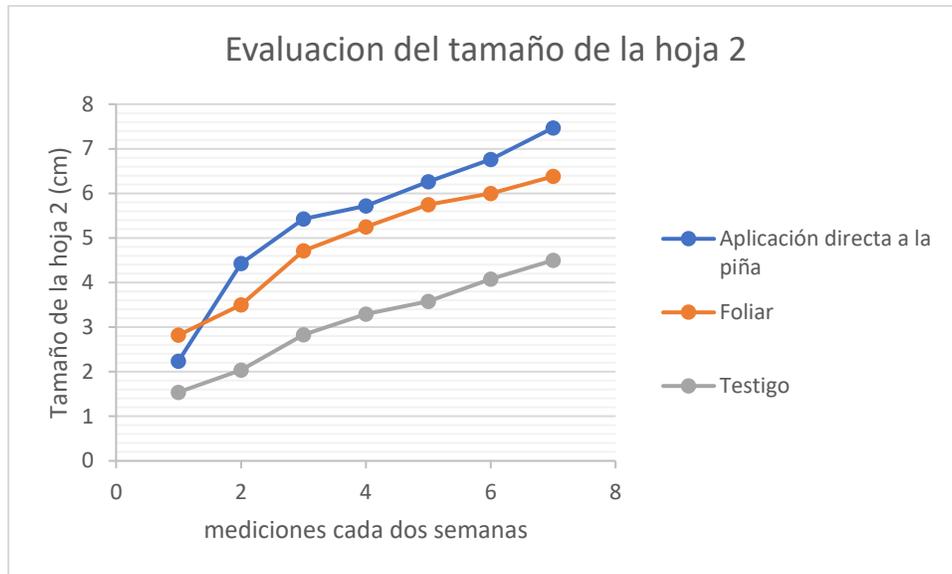
Por su parte Pérez et al., (2016) evaluaron el efecto del silicato de calcio sobre el desarrollo del cultivo de caña en suelos arcillosos, se obtuvo un incremento en el rendimiento de caña de forma directa, este efecto fue consistente durante tres años de la evaluación, similar a los datos obtenidos en la aplicación directo a la piña, probablemente por el ingreso por yemas axilares y escurrimiento en suelo.

6.2 Tamaño hoja No° 2.

Para la variable tamaño de hojas se encontraron diferencias significativas, el tratamiento aplicación directa a la piña de la planta presento un tamaño mayor, estadísticamente distinto a los demás tratamientos (Tabla 5). De acuerdo con la prueba Tukey ($\alpha=0.05$) el tratamiento aplicación foliar (4.919) presento similitudes con Testigo (3.13) siendo este último el más bajo. (Grafica 2).

Tabla 6. Tamaño de la hoja No° 2.

	2	3	4	5	6	7	8
p - Valor	0.4315	0.0488	0.0924	0.0905	0.0478	0.068	0.0553
CV (%)	108.82	68.81	67.01	58.31	51.81	49.78	47.8
DRENCH	2.24 A	4.43 A	5.43 A	5.72 A	6.26 A	6.76 A	7.47 A
FOLIAR	2.82 A	3.5 AB	4.71 A	5.25 A	5.75 A	6.0 A	6.38 AB
TESTIGO	1.54 A	2.04 B	2.83 A	3.29 A	3.58 A	4.08 A	4.5 B



Gráfica 2. Tamaño de la hoja número dos.

En la (grafica 2) se observa que hay una diferencia entre los tratamientos y el testigo, la aplicación de silicio directo a la piña de la planta presenta un crecimiento entre 1 y 2 cm en comparación a la aplicación foliar.

Resultados similares obtuvo Laane (2018) en el cultivo de arroz, donde se evaluó el efecto de pulverizaciones foliares con silicatos y ácido silícico. Las pulverizaciones con silicatos redujeron las infecciones por hongos, sin embargo, dichas pulverizaciones no aumentaron el rendimiento ni el crecimiento de las plantas, por su parte las aplicaciones de ácido silícico si mostraron un mayor rendimiento y crecimiento, además de reducir el estrés causado por factores bióticos y abióticos. Los resultados obtenidos fueron similares ya que se pudo observar que la incidencia de plagas se redujo en ambos tratamientos y la falta de agua no causo un estrés considerable en las plantas. Aunque si se muestra un crecimiento constante en ambos tratamientos contrario a los resultados obtenidos por Laane (2018).

Por el contrario, Naranjo *et al.*, (2018) evaluaron el efecto de la aplicación foliar de silicio en el cultivo de arroz, realizaron una aplicación con 6 dosis diferentes (0, 0.54, 0.81, 1.35, 1.62 kg/ha) y las mismas fueron aplicadas en dos etapas fenológicas: amacollamiento y floración, evaluaron variables como: altura, biomasa, numero de

macollas y rendimiento. Encontraron diferencias significativas respecto a la altura de la planta la biomasa y el rendimiento, la dosis con mayor rendimiento fue la de 1.35 kg/ha aplicada en la etapa de amacollamiento.

Galdino et al., (2017) realizaron una investigación donde usaron una solución fertilizante con marcaciones de colores para poder observar la ruta de penetración de los nutrientes por medio de las hojas, con los resultados obtenidos no se asegura que la ruta de penetración sea por medio de las estomas, ya que no hay estudios que confirmen la asimilación de los nutrientes, solo la entrada de los colorantes a las estomas, cutícula, epidermis y parénquima. En la presente investigación se obtuvieron resultados diferentes ya que se pudo observar que el silicio aplicado a las hojas no presento un cambio benéfico en el crecimiento y desarrollo de las plantas, esto puede deberse a la hora en la que se realizaron las aplicaciones, por lo cual el silicio no pudo ser asimilado de manera correcta por la planta, las aplicaciones del mismo se basaron en los horarios manejados por los agricultores.

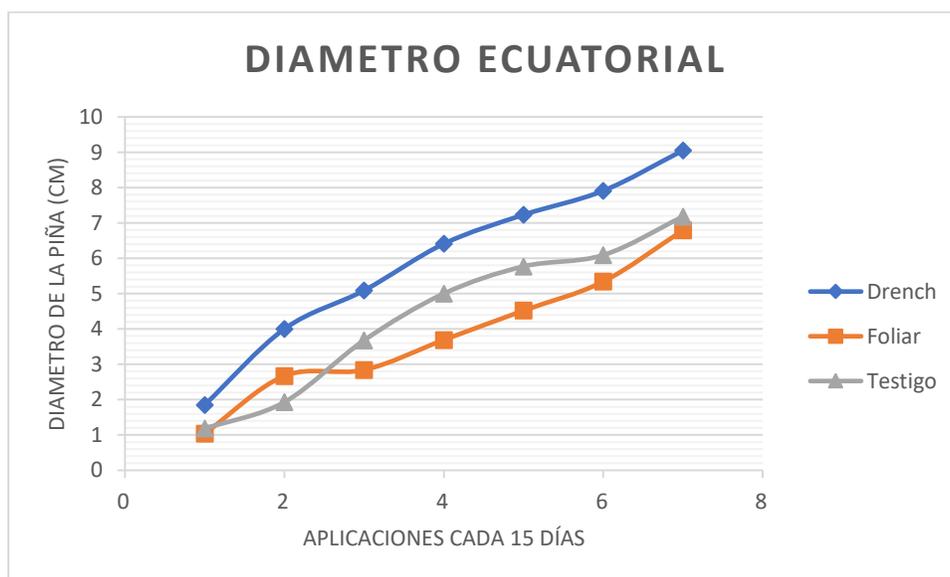
6.3. Diámetro ecuatorial de la bola.

De acuerdo con el análisis estadístico se encontraron diferencias significativas, como se muestra en la tabla 6, siendo el tratamiento aplicación directa a la piña de la planta la que presentó un crecimiento mayor estadísticamente distinto en la medición tres y sobresaliendo en todas las demás y aun cuando el testigo se agrupa también en el tratamiento de la aplicación directa a la piña, siempre el valor de este se mantuvo superior lo cual en una planta de agave de crecimiento perene y con un experimento tan corto, se puede aseverar que el mejor tratamiento es el de aplicación directa a la piña.

Tabla 7. Diámetro ecuatorial de la base de la planta.

	2	3	4	5	6	7	8
p - Valor	0.218	0.0013	0.0024	0.0166	0.023	0.023	0.0269
CV (%)	83.4	41.97	35.88	41.27	37.17	32.85	25.76
DRENCH	1.85 A	4.0 A	5.09 A	6.41 A	7.23 A	7.91 A	9.05 A
FOLIAR	1.04 A	2.67 B	2.84 B	3.69 B	4.52 B	5.34 B	6.79 AB
TESTIGO	1.18 A	1.93 B	3.68 AB	5.0 AB	5.77 AB	6.09AB	7.18 AB

En la ilustración 15 se muestra la curva del comportamiento del diámetro ecuatorial de la piña de agave en campo donde como se abordó anteriormente en la tabla 6, ya de manera gráfica en la ilustración 15, se observa como la aplicación en directa a la piña siempre se mostró muy por arriba de los otros dos tratamientos aun cuando solo en una medición después de la primera aplicación presentó diferencia significativa.

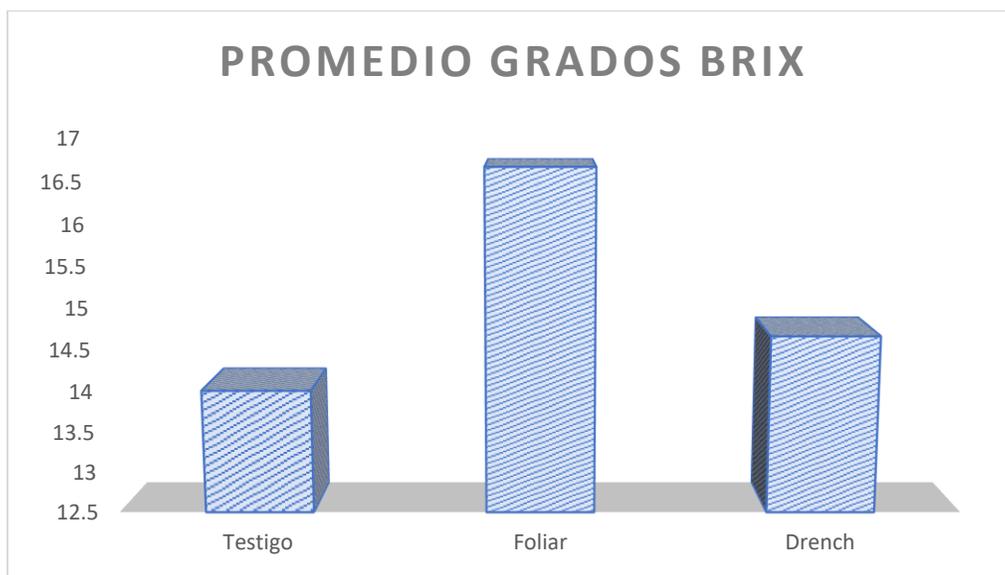


Grafica 3. Comportamiento de los tratamientos con respecto al diámetro ecuatorial.

En la gráfica 3 se observa una diferencia significativa entre los tratamientos, donde la aplicación dirigida a la base de la planta presenta un crecimiento constante y diferenciado en comparación al tratamiento foliar, el cual presenta un crecimiento menor en comparación con el testigo. Esto indica que el silicio aplicado de manera foliar tiene un menor promedio de absorción por la planta.

6.4 Medición grados Brix.

Para esta variable no se realizó un análisis estadístico, al analizar la comparación de los datos obtenidos en cada tratamiento, en la (Grafica 4) se observa una diferencia significativa de la aplicación foliar en relación con los demás tratamientos.



Grafica 4. Promedio del nivel de grados brix por tratamiento.

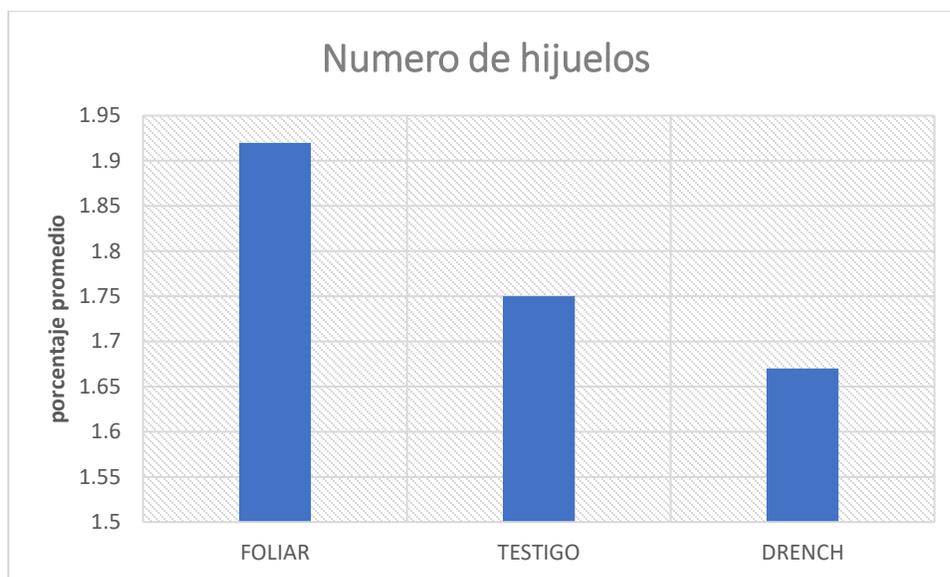
6.5 Numero de hijuelos desarrollados.

En base al análisis estadístico se observa una mínima diferencia entre los tratamientos de acuerdo con la prueba Tukey, siendo el tratamiento foliar (1.92) el

que mostro una mayor cantidad de hijuelos desarrollados, por su parte el tratamiento con aplicación directa a la base de la planta (1.67) fue el que presento un menor porcentaje de crecimiento de hijuelos.

Tabla 8. Numero de hijuelos desarrollados por las plantas

p - Valor	0.5273
CV (%)	30.71
FOLIAR	1.92 A
TESTIGO	1.75 A
DRENCH	1.67 A



Grafica 5. Numero de hijuelos.

En la gráfica 5 se observa el promedio de crecimiento por tratamiento, en donde encontramos una pequeña diferencia entre el tratamiento foliar y el testigo. El tratamiento con aplicación directa a la base de la planta fue el que obtuve un menor crecimiento de hijuelos. Estos resultados pueden atribuirse a que las plantas con aplicación foliar se mostraron estresadas por las plagas y la falta de agua.

7. Conclusiones

- La manera en la que se realiza la aplicación del silicio influye en el crecimiento y desarrollo de la planta de agave, las plantas que tuvieron silicio de manera foliar fueron las que presentaron un índice menor de crecimiento, se mostraron más estresadas ante la presencia de plagas y a la falta de agua, en comparación al testigo y a la aplicación directa a la base de la planta.
- El tratamiento de aplicación de silicio directo a la base de la planta (Drench) evidencio un mejor desarrollo de las plantas, un mayor crecimiento de la penca, ademas las plantas se mostraron mínimamente estresadas ante los factores bióticos y abióticos.
- El índice de grados brix está directamente relacionado con el estrés de la planta, ya que las plantas que presentaron un mayor promedio de grados brix fueron las del tratamiento foliar, las cuales se mostraron más estresadas en comparación a los demás tratamientos, por su parte el tratamiento directo a la base de la planta fue el que presento menor promedio de grados brix, las plantas de dicho tratamiento mostraron una mayor resistencia a las plagas y enfermedades y a la falta de agua.
- El alto nivel de grados brix en el tratamiento foliar se debe a que las plantas al estar estresadas aceleraron su proceso vegetativo, centrándose en la formación de azúcares en la penca y no en el desarrollo de hojas y crecimiento de estas, es por ello por lo que en los resultados de los análisis este tratamiento fue el que obtuvo un menor promedio de crecimiento.

8. Bibliografía

1. **Amador C. O., J. M. Cerda S., S Sancho D. y R. Hernández P. (2014).** Aumento Del Potencial Productivo En Caña De Azúcar Por Aplicación De Armurox® Como Fuente De Silicio Biodisponible. Bioiberica. XIX. Congreso ATACA.
2. **Araya, M. A., Camacho, M. E., Molina, E., & Cabalceta, G. (2015).** Evaluación de fertilizantes líquidos con silicio, calcio o magnesio sobre el crecimiento del sorgo en invernadero. *Agronomía Costarricense*, 39(2).
3. **Avila, A. (2004, 19 de marzo).** Esta es la historia del... Agave tequilana Weber azul. vLex. <https://vlex.com.mx/vid/historia-agave-tequilana-weber-azul-79474390>
4. **Bautista-Justo, M., García-Oropeza, L., Salcedo-Hernández, R., & Parra-Negrete, L. A. (2001).** Azúcares en agaves (agave tequilana weber) cultivados en el estado de guanajuato. *Acta Universitaria*, 11(1), 33–38.
5. **Bejines Ramos, G., Gonzalez Eguarte, D. R., Rodriguez Mendoza, M. d. I. n., & Rodriguez Macias, R. (2017).** Vías de penetración de un fertilizante foliar en Agave tequilana Weber var. Azul. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(4), 985–991.
6. **Carrillo Trueba, L. A. (2009).** Los destilados de agave en México y su denominación de origen. *Revistas UNAM*, (087), 40–49.
7. **Castellanos G. L., R. De Medo P. y C. N. Silva C. 2015.** El silicio en la resistencia de los cultivos a las plagas agrícolas. *Cultivos Tropicales*, vol. 36, 2015, pp. 16-24 Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas La Habana, Cuba.
8. **El cultivo del agave (agave tequilana W.)** - el blog de fagro. artículos y noticias sobre agricultura. (2020, 8 de junio). El blog de Fagro. Artículos y noticias sobre agricultura. <https://blogdefagro.com/informacion/el-cultivo-del-agave-agave-tequilana-w/>

9. **El silicio como fertilizante y bioestimulante agrícola** | AEFA - Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes. (s.f.). AEFA - Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes |. <https://aefa-agronutrientes.org/el-silicio-como-fertilizante-y-bioestimulante-agricola>
10. **El tequila ha generado una industria económicamente muy activa.** (2022, 22 de marzo). gob.mx. <https://www.gob.mx/siap/articulos/el-tequila-ha-generado-una-industria-economicamente-muy-activa?idiom=es>
11. **Escama armada (Acutapis agavis)** -. (s.f.). Home - . https://agroproductores.com/escama-armada-acutapis-agavis/#google_vignette
12. **Fernández Rivera, E. (2015).** *USO DE SILICIO E INDUCTORES DE RESISTENCIA EN RELACIÓN A HUANGLONGBING (HLB) EN LIMÓN PERSA (Citrus latifolia) Y LIMÓN MEXICANO (Citrus aurantifolia)* [Tesis maestro en Ciencias en Biosistemática y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas inédita]. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias.
13. **Guo C. Y., M. Nikolic.,i Y. Mu J., X. Zhuo X., L. Yong C. (2018).** Silicon acquisition and accumulation in plant and its significance for agriculture. *Journal of Integrative Agriculture* 2018, 17(10): 2138-2150. [https://doi.org/10.1016/s2095-3119\(18\)62037-4](https://doi.org/10.1016/s2095-3119(18)62037-4)
14. **Henk-Marten L. 2018.** The Effects of Foliar Sprays with Different Silicon Compounds. *Plants.* 7;7(2):45. doi: 10.3390/plants7020045. PMID: 29880766; PMCID: PMC6027496.
15. **Historia. (s.f.-b).** Bienvenidos Consejo Regulador del Tequila. <https://old.crt.org.mx/index.php/es/el-tequila-3/historia>
16. **Huix X. F. E. (2021).** *Evaluación Del Efecto De Fuentes De Silicio En El Rendimiento De Cebolla.* Tesis. Universidad Rafael Landívar. Guatemala.
17. **La importancia del Silicio en la agricultura.** (2022, julio 27). Cultifort. <https://www.cultifort.com/importancia-silicio-agricultura/>
18. **M. Sc. Manuel de J. Martínez.** (s.f.). *Nutrición Vegetal Ing. Agr. M. Sc. Manuel de J. Martínez - ppt descargar.* SlidePlayer - <https://slideplayer.es/slide/16120990/>

19. **Matichenkov, V. V., y Calvert, D. V. (2002).** Silicon as a beneficial element for sugarcane. *Journal American Society of Sugarcane Technologists*, 22(2), 21-30.
20. **Moncada J.O., O. Puentes y L.J. Mesa. 1991.** Efecto del silicio sobre la disponibilidad de fosforo en una andept y un oxisol. *Agronomía Colombiana*. 1991. Volumen 8, Número 2: 317 – 321
21. **Naranjo C.J.F. Y S.A. Solorzano C. 2018.** Evaluación de diferentes dosis y épocas de aplicación de silicio en el desarrollo y producción del cultivo de arroz variedad DICTA Playitas. Tesis. Escuela Agrícola, Zamorano. Honduras.
22. **Ontiveros, R. (2023, 20 de septiembre).** *El secreto de los tamaños de hijuelos: Maximizando tu cosecha de Agave Azul.* Macloud. <https://macloud.mx/blog/el-secreto-de-los-tamaos-de-hijuelos-maximizando-tu-cosecha-de-agave-azul/>
23. **Palomino, G. (2008, 29 de junio).** *Boletines.* Dirección General de Comunicaci3n Social. https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2008_427.html
24. **Pérez D. J.F. y Del Real L. J. I. 2007.** Conocimiento y prácticas agronómicas para la producción de Agave tequilana Weber en la zona de denominación de origen del tequila. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro técnico No 4. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro. ISBN 978-968-800-726-6.
25. **Pérez D.J.F. y Del Real L. J.I. 2007.** Practicas agronómicas para la producción de Agave tequilana Weber en la zona de denominación de origen del tequila. Libro Técnico No. 4. Centro de investigación regional del pacifico centro, campo experimental centro – altos de Jalisco.
26. **Perez, O., Hernandez, F., Azañon, V., Martinez, C., & Duarte, R. (2016).** Respuesta de la caña de azúcar al silicio en dos suelos de la zona cañera de Guatemala. 26–30.

27. **Que son los grados brix. (s.f.).** Equipos y laboratorio de Colombia. <https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/que-son-los-grados-brix>
28. **Qué son y Cómo aumentar grados brix en la fruta?** - Idai Nature, líderes en Biocontrol agrícola. (2017, 27 de diciembre). Idai Nature, líderes en Biocontrol agrícola. <https://www.idainature.com/noticias/actualidad-agricola/como-aumentar-grados-brix-en-la-fruta/>
29. **Quiroga S. A. 2016.** Respuesta a las aplicaciones de silicio en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus L*) variedad modan, en condiciones de estrés hídrico bajo cubierta en Culiacán, Sinaloa. Tesis. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Bogota.
30. **Rol del silicio en el cultivo de plantas** | PT Growers and Consumers. (s.f.). Homepage | PT Growers and Consumers. <https://www.pthorticulture.com/es-us/centro-de-formacion/rol-del-silicio-en-el-cultivo-de-plantas>
31. **Ruiz C. J. A., G. MEDINA G., I. J. GONZÁLEZ A., H. E. FLORES L., G. RAMÍREZ O., C. ORTIZ T., K. F. BYERLY M. y R. A. MARTÍNEZ P. 2013.** Requerimientos Agroecológicos De Cultivos. Libro Técnico Núm. 3. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Centro de Investigación Regional Pacífico Centro Campo Experimental Centro Altos de Jalisco, ISBN: 978-607-37-0188-4.
32. **Silicio para la Nutrición y Protección Vegetal** | Intagri S.C. (s.f.). Intagri - Cursos Agrícolas - Artículos de agronomía. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/silicio-para-la-nutricion-y-proteccion-vegetal>
33. **Tena-Meza. M. P., R. M. Navarro-Cerrillo., R. Villavicencio-García y S. H. Contreras-Rodríguez. 2023.** Caracterización agroclimática del cultivo de Agave tequilana Weber en la barranca del Río Santiago. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas volumen 14 número 3.
34. **Vinces. T. R. E. (2021).** Evaluación de severidad en la mancha de asfalto (*Phyllachora maydis*) en el cultivo de maíz (*Zea mays*) bajo el efecto del óxido

de silicio (SiO₂). Tesis. Universidad Técnica Estatal De Quevedo Facultad De Ciencias Agropecuarias.

35. **Zúñiga E. L. 2013.** Nutrición de Agave tequilana y manejo de los fertilizantes en un sistema de producción intensiva (Riego por goteo). Primera edición. Inifap. ISBN: 978-607-37-0066-5.