



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN
PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
UNIDAD OAXACA**



**Maestría en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de
Recursos Naturales**

Especialidad en Protección y Producción Vegetal

**Fertilizantes de liberación lenta en dos especies silvestres del
género *Agave***

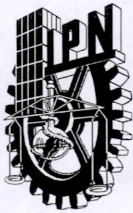
T E S I S

Que para obtener el grado de Maestro en Ciencias
presenta

Carlos Castillejos Reyes

**Dra. Martha Angélica Bautista Cruz
Dr. Teodulfo Aquino Bolaños
Directores de tesis**

Santa Cruz Xoxocotlán mayo de 2022



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS Y DESIGNACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS

Ciudad de Oaxaca de Juárez, Oax. a 14 de mayo del 2022

El Colegio de Profesores de Posgrado del **CIIDIR UNIDAD OAXACA** en su Sesión
(Unidad Académica)

ordinaria No. 10 celebrada el día 4 del mes octubre de 2021 conoció la solicitud presentada por el alumno:

Apellido Paterno:	Castillejos	Apellido Materno:	Reyes	Nombre (s):	Carlos
-------------------	-------------	-------------------	-------	-------------	--------

Número de registro: A 2 0 0 1 5 7

del Programa Académico de Posgrado: **Maestría en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales**

Referente al registro de su tema de tesis; acordando lo siguiente:

1.- Se designa al aspirante el tema de tesis titulado:

Fertilizantes de liberación lenta en dos especies silvestres del género *Agave*.

Objetivo general del trabajo de tesis:

Evaluar la respuesta en el crecimiento, nutrición y contenido de sólidos solubles totales en dos especies silvestres de agave: agave arroqueño (*Agave* sp.) y agave coyote (*Agave* sp.) a la aplicación de FLL en condiciones de campo.

2.- Se designa como Directores de Tesis a los profesores:

Directora: **Dra. Martha Angélica Bautista Cruz** 2° Director: **Dr. Teodulfo Aquino Bolaños**
No aplica:

3.- El Trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesis será elaborado por el alumno en:

Parcela experimental en San Jacinto Chilateca, Ocotlán, Oax., y el Laboratorio de Microbiología y Química del Suelo del Centro Interdisciplinario de Investigación y Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca

que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente, hasta la aprobación de la versión completa de la tesis por parte de la Comisión Revisora correspondiente.

Directora de Tesis

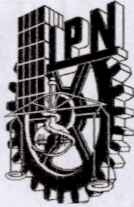
Dra. Martha Angélica Bautista Cruz
Aspirante

Castillejos Reyes Carlos

2° Director de Tesis

Dr. Teodulfo Aquino Bolaños
Presidente del Colegio

Dr. Salvador Isidro Belmonte Jiménez
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
UNIDAD OAXACA



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de siendo las horas del día del mes de del se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de profesores de posgrado del para examinar la tesis titulada:

Fertilizantes de liberación lenta en dos especies silvestres del género *Agave*

del alumno:

Apellido Paterno:	Castillejos	Apellido Materno:	Reyes	Nombre (s):	Carlos
-------------------	-------------	-------------------	-------	-------------	--------

Número de registro:

Aspirante del Programa Académico de Posgrado:

Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene 41% de similitud. **Se adjunta reporte de software utilizado.**

Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo **SI** **NO** **SE CONSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.**

JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN: (Por ejemplo, el % de similitud se localiza en metodologías adecuadamente referidas a fuente original)

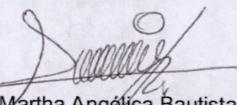
El 41% de similitud fue encontrado en las referencias bibliograficas, dondo crédito a los autores citados, el resto del documento corresponde a la redacción de fraseología comun del área de estudio

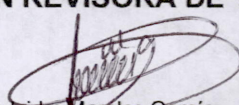
****Es responsabilidad del alumno como autor de la tesis la verificación antiplagio, y del Director o Directores de tesis el análisis del % de similitud para establecer el riesgo o la existencia de un posible plagio.**

Finalmente, y posterior a la lectura, revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR** **SUSPENDER** **NO APROBAR** la tesis por **UNANIMIDAD** o **MAYORÍA** en virtud de los motivos siguientes:

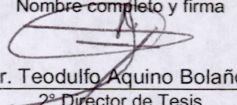
La información que se generó en este trabajo de investigación fue novedosa, ya que por primeva vez se evaluó, la respuesta en el crecimiento, en el contenido de sólidos solubles totales y nutrición de dos agaves a la aplicación de dos fertilizantes de liberación lenta, encontrando respuesta a estas formulaciones.

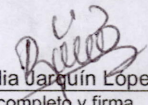
COMISIÓN REVISORA DE TESIS

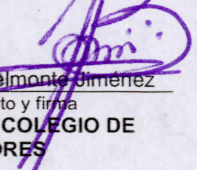

Dra. Martha Angelica Bautista Cruz
Directora de Tesis
Nombre completo y firma


Dr. Isidro Morales Garcia
Nombre completo y firma


Dra. Patricia Araceli Santiago Garcia
Nombre completo y firma


Dr. Teodulfo Aquino Bolaños
2º Director de Tesis
Nombre completo y firma


M.C. Roselia Jarguin Lopez
Nombre completo y firma


Dr. Salvador Isidro Belmonte Jimenez
Nombre completo y firma
PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES UNIDAD OAXACA



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE OBRA PARA DIFUSIÓN

En la Ciudad de México el día 03 del mes de junio del año 2022, el que suscribe **Castillejos Reyes Carlos** alumno del programa **Maestría en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales** con número de registro **A200157**, adscrito al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de tesis bajo la dirección de **Dra. Martha Angélica Bautista Cruz** y el **Dr. Teodulfo Aquino Bolaños** y cede los derechos del trabajo intitulado **“Fertilizantes de liberación lenta en dos especies silvestres del género Agave.”**, al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expresado del autor y/o directores. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones de correo: **ccastillejosr1900@alumno.ipn.mx** y **sutcseiio_academia@hotmail.com**. Si el permiso se otorga, al usuario deberá dar agradecimiento correspondiente y citar la fuente de este.

Castillejos Reyes Carlos

Nombre completo y firma autógrafa del
estudiante



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
UNIDAD OAXACA

RESUMEN

En México, los agaves han tenido importancia cultural y económica desde tiempos prehispánicos. Actualmente son la materia prima para la producción de mezcal, una bebida alcohólica tradicional en el estado de Oaxaca. En este estudio se evaluó la respuesta en el crecimiento, contenido de sólidos solubles totales y nutrición de agave coyote y agave arroqueño (*Agave* spp.) a la aplicación de dos fertilizantes de liberación lenta (FLL): Osmocote plus® (OS) y Multicote Agri® (MULT). El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completamente al azar. Se evaluaron cuatro tratamientos con cuatro repeticiones y 5 plantas por repetición. Los tratamientos evaluados fueron T1) control (sin fertilización), T2) fertilizante convencional, T3) OS y T4) MULT. La unidad experimental fue una planta de agave. El periodo de evaluación fue de 10 meses. Las variables respuesta fueron altura de planta (AP), número de hojas desplegadas (NHD), circunferencia de tallo (CT), volumen radicular (VR), densidad radicular (DR), peso fresco de hojas (PFH), tallo (PFT) y raíz (PFR); peso seco de hojas (PSH), tallo (PST) y raíz (PSR), sólidos solubles totales en el tallo (SST, azúcares), contenido de Ca^{2+} , Na^+ , NO_3^- y K^+ foliar.

Con relación al control, en agave arroqueño el OS incrementó 13.7% la AP, 17.7% el NHD, 13.8% la CT, 52.4% el PFH, 48.9% el PFT, 53.4% el PSH. En agave coyote el Os aumentó 21.2% la AP, 28.4% el NHD, 77.0% el PFH, 62.8% el PFT, 177.0% el PSH, 53.1% el PST y 39.1% el PSR. El MULT incrementó 36.0% el PFR y 59.3% el contenido foliar de NO_3^- en agave arroqueño. En agave coyote el MULT aumentó 25.6% el contenido foliar de K^+ , 26.2% el contenido foliar de NO_3^- y 29.8% el contenido foliar de Na^+ . La fertilización convencional incrementó 16.8% el contenido foliar de NO_3^- y 39.3% los SST. La aplicación de FLL

promovió el crecimiento y la nutrición de agave arroqueño y agave coyote en condiciones de campo, pero no el contenido de azúcares en el tallo.

Palabras clave: agaves silvestres, fertilizantes de liberación lenta, crecimiento vegetal, contenido nutrimental.

ABSTRACT

In Mexico, agaves have had cultural and economic importance since pre-Hispanic times. Currently, they are the raw material to produce mezcal, a traditional alcoholic beverage in the state of Oaxaca. In this study, the response in growth, the content of total soluble solids and nutrition of agave coyote and agave arroqueño (*Agave* spp.) to the application of two slow-release fertilizers (FLL) was evaluated: Osmocote plus® (OS) and Multicote Agri® (MULT). The experiment was established under a completely randomized block design. Four treatments were evaluated with four replicates and 5 plants per replicate. The treatments evaluated were: T1) control (without fertilization), T2) conventional fertilizer, T3) OS and T4) MULT. The experimental unit was an agave plant. The evaluation period was 10 months. The response variables were plant height (AP), number of unfolded leaves (NHD), stem circumference (CT), root volume (VR), root density (DR), fresh weight of leaves (PFH), stem (PFT), and root (PFR); the dry weight of leaves (PSH), stem (PST), and root (PSR), total soluble solids in the stem (SST, sugars), leaf Ca^{2+} , Na^+ , NO_3^- and K^+ content.

Compared to the control, in agave arroqueño the OS increased the AP by 13.7%, the NHD by 17.7%, the CT by 13.8%, the PFH by 52.4%, the PFT by 48.9%, and the PSH by 53.4%. In agave coyote, Os increased AP by 21.2%, NHD by 28.4%, PFH by 77.0%, PFT by 62.8%, PSH by 177.0%, PST by 53.1% and PSR by 39.1%. The MULT increased the PFR by 36.0% and the foliar content of NO_3^- by 59.3% in agave arroqueño. In agave coyote, the MULT increased the foliar content of K^+ by 25.6%, the foliar content of NO_3^- by 26.2%, and the foliar content of Na^+ by 29.8%. Conventional fertilization increased the foliar content of NO_3^- by 16.8% and SST by 39.3%. The application of FLL promoted the growth and nutrition of

agave arroqueño and agave coyote under field conditions, but not the sugar content in the stem.

Keywords: wild agaves, slow-release fertilizers, plant growth, nutritional content.

ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

	Pág.
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1 Objetivo General.....	12
1.2 Objetivos específicos.....	12
1.3 Hipótesis.....	12
CAPITULO II. REVISIÓN DE LITERATURA	13
2.1 Antecedentes del agave.....	13
2.2 Uso de fertilizantes convencionales en agaves.....	14
2.2.1 Impacto de los fertilizantes convencionales en el medio ambiente.....	15
2.2.2 Impacto de los fertilizantes convencionales en la salud humana.....	15
2.3 Fertilizantes de Liberación Lenta (FLL).....	16
2.3.1 Clasificación de los FLL.....	17
2.3.1.1 Fertilizantes de baja solubilidad.....	17
2.3.1.2 Fertilizantes con recubrimiento externo.....	17
2.3.1.3 Fertilizantes a base de materiales biológicos.....	18
2.3.1.4 Nanofertilizantes.....	19
2.3.2 Ventajas de los FLL.....	19
2.3.3 Desventajas de los FLL.....	20
2.3.4 Antecedentes de los FLL.....	20
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1 Variables de respuesta.....	24
3.2 Análisis estadístico.....	25

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
4.1 Efectos de FLL sobre el crecimiento de los agaves arroqueño y coyote.....	26
4.1.1 Altura de la planta.....	26
4.1.2 Número de hojas desplegadas.....	29
4.1.3 Pesos frescos de hojas, raíces y tallos, volumen radicular, densidad radicular y circunferencia de tallos.....	29
4.1.4 Pesos secos de hojas, raíces y tallos.....	30
4.1.5 Contenido nutrimental en hojas y sólidos solubles en tallo.....	30
CAPITULO V. CONCLUSIONES.....	33
CAPÍTULO VI. LITERATURA CITADA.....	34

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas del suelo de la parcela experimental.....	23
Cuadro 2. Valor medio \pm error estándar de las variables de crecimiento en plantas de agave arroqueño (<i>Agave</i> sp.) como respuesta a la aplicación de fertilizantes de liberación lenta y fertilizantes convencionales.....	27
Cuadro 3. Valor medio \pm error estándar de las variables de crecimiento en plantas de agave coyote (<i>Agave</i> sp.) como respuesta a la aplicación de fertilizantes de liberación lenta y fertilizantes convencionales	28
Cuadro 4. Valor medio \pm error estándar del contenido nutrimental y sólidos solubles totales en el tallo (SST) de agave arroqueño (<i>Agave</i> sp.) como respuesta a la aplicación de fertilizantes de liberación lenta y fertilizantes convencionales.....	31
Cuadro 5. Valor medio \pm error estándar del contenido nutrimental y sólidos solubles totales en el tallo (SST) de agave coyote (<i>Agave</i> sp.) como respuesta a la aplicación de fertilizantes de liberación lenta y fertilizantes convencionales	31

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Los agaves pertenecen a la familia Asparagaceae y forman la subfamilia Agavoideae, esta familia es endémica de América. El centro de mayor riqueza y diversidad de los agaves se encuentra en México donde se distribuyen 251 especies (76% del total), con 177 endémicas (70%) (García-Mendoza, 2007). El género más grande y diverso de la familia Asparagaceae es *Agave* con 210 especies; de éstas México tiene 159, es decir, 75% del total (García-Mendoza, 2007). Los agaves forman uno de los grupos más importantes de plantas desde el punto de vista cultural y económico, se aprovechan casi todas sus estructuras morfológicas, tanto de especies silvestres como domesticadas (Delgado-Lemus et al., 2014).

El mezcal es un producto derivado del agave obtenido por la destilación y rectificación de los mostos preparados con los azúcares extraídos del tallo y base de las hojas (Larson y Aguirre, 2015). Esta bebida cuenta con Denominación de Origen, su producción está regulada por la NOM-070-SCFI-1994. En México, el estado de Oaxaca es líder en la producción mezcalera a nivel nacional (Vásquez-Elorza et al., 2019). Según Larson y Aguirre (2015) la elaboración de mezcal en Oaxaca involucra 8 especies y 17 formas protegidas o silvestres de agave. El agave espadín (*Agave angustifolia* Haw.) es el que mayormente se cultiva con fines comerciales. Las otras especies son colectadas de poblaciones silvestres o semi-cultivadas en cercos vivos con poco o nulo manejo cultural (Consejo Regulador del Mezcal, 2016).

Algunas especies silvestres y nativas de Oaxaca son cultivadas en mucho menor medida que el agave espadín, tal es el caso de los agaves: tobalá, tobaciche, mexicano, tepextate,

arroqueño, cincoañero, sierra negra, cuishe, San Martín, cenizo, jabalí, castilla, tobalá verde y coyote. En el año 2014 la cantidad de plantas de agave arroqueño (*Agave* sp.) en el estado de Oaxaca fue de 32,703 y de agave coyote (*Agave* sp.) solo 153; estas cantidades contrastan con las 26, 172, 984 plantas de agave espadín cultivadas en ese año (Palma et al., 2016). Hasta el mes de septiembre de 2021 se habían producido 184,380.82 ton de plantas de agave en el estado de Oaxaca (SIAP, 2021).

La comercialización del mezcal tiene un crecimiento sostenido en el mercado nacional e internacional. La sobreexplotación de las especies silvestres de agave para la producción de mezcal puede ocasionar su extinción (CIATEJ-AGARED, 2017), por lo tanto, es necesario realizar investigaciones enfocadas a un manejo más sustentable de los agaves.

Los suelos donde se desarrollan especies del género *Agave* son pobres en materia orgánica, N y P (Bautista-Cruz et al., 2007). El uso de fertilizantes convencionales (FC) pudiera representar una alternativa para aportar nutrientes a las plantas, sin embargo, presentan poca eficiencia de aprovechamiento por factores como la fijación de P, la lixiviación y la volatilización de NO_3^- y N_2O , generando serios problemas de contaminación ambiental y afectaciones a la salud humana. Ante esta situación, y para mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes, se han desarrollado fertilizantes de liberación lenta (FLL), los cuales ofrecen una disponibilidad nutrimental para la planta durante un periodo más prolongado, lo que promueve una mayor eficiencia de aprovechamiento ocasionando con esto un menor impacto negativo al ambiente y a la salud humana (Kiplangat et al., 2019). La principal desventaja de los FLL es su elevado costo (Magalhães-Machado et al., 2011), sin embargo, estos productos tienen el potencial de incrementar la eficiencia en la fertilización (Morgan et al., 2009), además se requiere un menor número de aplicaciones al cultivo, lo que genera un ahorro de

tiempo y mano de obra, razones por las cuales son más rentables que los fertilizantes convencionales.

Sánchez-Mendoza et al. (2020) reportaron que la combinación de 80% de humedad disponible en el suelo con el FLL Multigro (6) incrementó la altura de planta, diámetro del tallo, densidad y volumen radicular; peso fresco de hojas, tallo y raíces; peso seco de hojas, tallo y raíces; así como el contenido de N foliar en plantas de agave espadín cultivadas en campo.

1.1 Objetivo general

Evaluar la respuesta en el crecimiento, nutrición y contenido de sólidos solubles totales en dos especies silvestres de agave: agave arroqueño (*Agave* sp.) y agave coyote (*Agave* sp.) a la aplicación de FLL en condiciones de campo.

1.2 Objetivos específicos

1.2.1 Determinar el efecto de la aplicación de FLL en el crecimiento de agave arroqueño y agave coyote mediante parámetros biométricos.

1.2.2 Determinar el efecto de la aplicación de FLL en la nutrición de agave arroqueño y agave coyote a través del contenido de Ca^{2+} , Na^+ , NO_3^- y K^+ foliar.

1.2.3 Determinar el efecto de la aplicación de FLL en el contenido de sólidos solubles totales (azúcares) en el tallo de agave arroqueño y agave coyote.

1.3 Hipótesis

Ha: La aplicación de FLL promoverá el crecimiento, nutrición y contenido de sólidos solubles totales en agave arroqueño y agave coyote en condiciones de campo.

Ho: La aplicación de FLL no promoverá el crecimiento, nutrición y contenido de sólidos solubles totales en agave arroqueño y agave coyote en condiciones de campo.

CAPITULO II.

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes del agave

Antes de la llegada de los españoles a México, el agave se utilizaba como vino, aguamiel, arrope y también para la obtención de hilos, en la construcción, para la conservación de suelos, etc. (Vega-Vera y Pérez-Akaki, 2017). El mezcal es un producto derivado del agave obtenido por la destilación y rectificación de los mostos preparados con los azúcares extraídos del tallo y base de las hojas (Larson y Aguirre, 2015).

García-Mendoza (2007) indicó que, debido a la producción intensiva de mezcal, los agaves silvestres tienen alta demanda, lo que genera una sobreexplotación que trae como consecuencia que sus poblaciones naturales se vean seriamente amenazadas.

Los agaves son plantas xerófitas, adaptadas a vivir en condiciones climáticas desfavorables, con largos periodos de sequía y con fuertes fluctuaciones de temperatura entre el día y la noche. Poseen estrategias para sobrevivir, ya que limitan la pérdida de agua por transpiración acumulándola en tejidos especializados (García-Mendoza, 2007).

Los agaves crecen en suelos de origen ígneo o sedimentario, pobres en materia orgánica, nitrógeno y fósforo (Bautista-Cruz et al., 2007). Esta diversidad de ambientes es uno de los factores que genera el gran número de taxones en México (García-Mendoza, 2007).

2.2 Uso de fertilizantes convencionales en agaves

Los FC se han empleado en el cultivo de agaves con la finalidad de incrementar la productividad. Las plantas responden fisiológicamente de manera diferente a los nutrientes dependiendo de sus concentraciones y disponibilidad en el suelo (Nobel, 1989).

En *A. lechuguilla*, al aplicar 100 kg de N y 500 kg de P ha⁻¹, el número de hojas desplegadas y la asimilación neta de CO₂ fue mayor en comparación con las plantas control sin fertilizar. Al aplicar 100 kg y 500 kg de B ha⁻¹, se redujo la asimilación neta de CO₂ y el despliegue de hojas. Se observó el mayor aumento de biomasa seca de la parte aérea de *A. lechuguilla* mediante la aplicación de 100, 500, 100 y 100 kg de N, P, K y B ha⁻¹, respectivamente (Nobel et al., 1989).

En plantas de *A. potatorum* (agave tobalá) de 7 meses de edad bajo condiciones de invernadero, al aplicar dosis altas de N (100 y 150 kg ha⁻¹), se promovió un incremento en la altura de planta (AP) y número de hojas (NH). La dosis más baja de P (30 kg ha⁻¹) fue la que presentó un incremento en AP y NH con respecto a las plantas control (Bautista-Aparicio et al. 2017).

Zúñiga-Estrada et al. (2019) aplicaron a plantas de *A. tequilana* dos tratamientos: fertirrigación (N, P, K, Ca, Mg y micronutrientes) y fertirrigación más fertilización base (162-150-250 kg ha⁻¹ de sulfato de magnesio, hierro y zinc). Las plantas fertilizadas incrementaron en AP, NH, biomasa y rendimiento de piña (tallo sin hojas) con respecto a las plantas no fertilizadas (control). También aumentó el contenido nutrimental en hojas, tallo y raíz.

2.2.1. Impacto de los fertilizantes convencionales en el medio ambiente

Los fertilizantes nitrogenados son una de las principales causas de contaminación del agua. Los fertilizantes en el suelo son lixiviados por acción del agua o arrastrados por el viento causando la eutroficación de cuerpos subterráneos o superficiales de agua. Este fenómeno se presenta por la infiltración y arrastre de nitrógeno y fosfatos; el exceso de algas que aparecen suprime otras especies acuáticas. La producción de óxido nitroso, un gas de efecto invernadero, se debe a la lixiviación, la volatilización y escorrentía de fertilizantes nitrogenados (FAO, 2014).

El exceso de fertilizantes es fijado por las arcillas del suelo, aumentando su salinidad y acidez; debido a ello, se produce la pérdida de macro y micronutrientes. Al descomponerse la urea, se liberan a la atmósfera amoníaco y CO_2 , otros tipos de gases de efecto invernadero (García-Galindo et al., 2020).

Los fertilizantes fosfatados liberan al ambiente cadmio, un metal pesado altamente tóxico, que se acumula en tejidos de plantas y herbívoros (Mero et al., 2019). La utilización de este tipo de fertilizantes incrementa la concentración de arsénico en la solución del suelo y su disponibilidad para las plantas (Hernández-Ordaz et al., 2013).

2.2.2 Impacto de los fertilizantes convencionales en la salud humana

El nitrógeno es considerado el nutriente más importante para la producción vegetal, los fertilizantes convencionales con amonio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-) o urea ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$) son los más utilizados. Sin embargo, su excesiva aplicación puede contaminar suelos y aguas y causar

problemas a la salud humana (García-Galindo et al., 2020). El principal efecto tóxico por la ingesta de NO_3^- y nitritos es la producción de metahemoglobina. Este compuesto sustituye a la hemoglobina y no transporta oxígeno (O_2), por lo tanto, las células no tienen el suficiente O_2 para funcionar adecuadamente. Los bebés y mujeres embarazadas son principalmente vulnerables a la ingesta de agua con NO_3^- y nitritos (Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos, 2015).

Los fertilizantes convencionales liberan al suelo y agua elementos traza en diferentes proporciones. Los más peligrosos para la salud humana son el arsénico (As), cadmio (Cd), plomo (Pb) y mercurio (Hg) (Rodríguez-Ortíz et al., 2014).

El Cd absorbido por ingesta de alimentos puede penetrar la placenta durante el embarazo, dañando membranas y ADN, alterando los sistemas endócrinos y producir daño renal, hepático, y óseo. El Pb provoca un desequilibrio químico en el hígado, riñones, bazo y pulmones causando neurotoxicidad, principalmente en niños. El Hg induce cambios en sistemas neurales y gástricos provocando la muerte. El As se acumula en hígado, riñones, corazón y pulmones y es un potencial carcinógeno; también puede ocasionar desórdenes en el sistema nervioso, falla hepática, renal y efectos neurológicos (Rodríguez-Eugenio et al., 2019).

2.3 Fertilizantes de liberación lenta

Los FLL están hechos de materiales de estructura compleja y baja solubilidad en agua, tienen cubiertas fabricadas de compuestos sintéticos o biológicos. En su matriz están dispersos macro y micronutrientes, los cuales son liberados de manera gradual de acuerdo

con los requerimientos nutricionales de los cultivos (AlShamaileh et al., 2018).

2.3.1 Clasificación de fertilizantes de liberación lenta

2.3.1.1. Fertilizantes con baja solubilidad

Los productos con liberación lenta de nutrientes se caracterizan por tener una baja solubilidad, lo cual dificulta que se lixivien en el suelo. Los fosfatos de amonio metálicos tienen baja solubilidad en agua, esto hace posible sintetizar partículas de estruvita con diámetros controlados para la absorción de Cu (II) (Arslanoglu, 2019). Otro tipo de estos FLL, son gránulos de minerales de boro endurecidos a 700°C que proporcionan una buena matriz para liberar lentamente iones de boro (Flores et al., 2006).

En este tipo de FLL, los nutrientes se liberan por medio del rompimiento de enlaces, por ejemplo, de metafosfatos y cristales de fosfatos (Sanjay et al., 1997). Los fertilizantes que incorporan zinc, hierro, manganeso y cobre en polifosfatos cristalinos, son altamente solubles en ácidos orgánicos por lo tanto tienen buena disponibilidad para las plantas (Bandyopadhyay et al., 2008).

2.3.1.2 Fertilizantes con recubrimiento externo

Son gránulos que encapsulan macro y micronutrientes, el recubrimiento es una barrera física en forma de membrana semipermeable. Existen tres etapas para la difusión de los nutrientes: 1) transporte de agua hacia los gránulos, 2) disolución de los nutrientes y 3)

liberación gradual de los mismos a través de la membrana. Los materiales de la cubierta no deben ser tóxicos para las plantas y que al degradarse no contaminen la matriz del suelo (França et al., 2018). El azufre es un material que se usa frecuentemente en las cubiertas, es barato y se degrada lentamente por procesos químicos, físicos y microbiológicos (Azeem et al., 2014).

2.3.1.3 Fertilizantes a base de materiales biológicos

Los FLL a base de materiales biológicos aprovechan su capacidad natural para enlazar iones de micronutrientes. Los grupos funcionales hidroxilo, fosfato o amino forman complejos metálicos con los cationes presentes en los microelementos; a este proceso se le denomina biosorción (Arslanoglu, 2019). La biosorción se produce mediante un mecanismo fisicoquímico en el cual se utiliza biomasa no viviente. Los grupos funcionales son parte de moléculas componentes de las paredes celulares de biomasa, la cual se puede obtener de algas marinas o residuos de cosecha (Cuizano y Navarro, 2008).

Los fertilizantes basados en biomasa tienen una mayor biodisponibilidad y son biodegradables. Para aumentar la capacidad de sorción, se inmovilizan finas partículas de biomasa en grandes estructuras. Ejemplo de ello, es la inmovilización de biosorbentes en una matriz polimérica, tales como hidrogeles de base biológica (PHG). Los PHG son hidrófilos y pueden absorber hasta 1000 veces más agua que su masa. Son desarrollados al combinarse sustratos sintéticos y naturales como los polisacáridos y polipéptidos, siendo posible encerrar en el hidrogel la biomasa enriquecida con valiosos micronutrientes (Rop et al., 2019) Otra ventaja de este tipo de FLL, es el uso de residuos de biomasa que permite reciclar los

desechos y minimizar costos de preparación (Skrzypczak et al., 2019).

2.3.1.4 Nanofertilizantes

Estos fertilizantes representan una nueva tendencia en la industria dedicada a la nutrición vegetal. Utilizan partículas del orden de los 100 nm, esto mejora las propiedades de precisión, control y dosificación para mejorar el rendimiento de los cultivos (Duhan et al., 2017). Las nanopartículas tienen una mayor tensión superficial, uniéndose con mayor fuerza a la sustancia activa a la superficie celular de las plantas. Las nanocubiertas que encapsulan los nutrientes les dan mayor protección superficial (Duhan et al., 2017)

2.3.2. Ventajas de los fertilizantes de liberación lenta

Los FLL son considerados como fertilizantes ideales ya que cuentan con tres características: un alto porcentaje de recuperación y producción; un mínimo impacto ambiental y; con solo una aplicación, es suficiente para satisfacer los requerimientos nutricionales durante todo el periodo de cultivo (Wen et al., 2017).

El uso de FLL evita la contaminación del suelo, agua y atmósfera al reducir la cantidad de fertilizante aplicado. Los nutrientes están disponibles por largos periodos después de la primera aplicación evitando pérdidas por lixiviación y volatilización; esto reduce costos de mano de obra e insumos (Wen et al., 2017). También se reduce la toxicidad (sobre todo en semilleros) pues evita la acumulación de altas concentraciones iónicas causada por la rápida disolución de los fertilizantes químicos convencionales

2.3.3. Desventajas de los fertilizantes de liberación lenta

Una desventaja es la falta de disponibilidad de métodos estabilizados que permitan establecer un modelo confiable de liberación de nutrientes. La aplicación de FLL puede aumentar la acidez del suelo, por ejemplo, al cubrir la urea con grandes cantidades de azufre (Tenkel, 2010). Otra desventaja de los FLL es su costo más elevado en comparación con los fertilizantes convencionales, sin embargo, se compensan los costos con un menor uso de mano de obra para su aplicación (Mikula et al., 2019). La capacitación para agricultores que apliquen esta tecnología es necesaria, ya que el manejo de los FLL requiere aplicar las dosis adecuadas dependiendo del tipo de cultivo; además se debe evaluar la calidad del suelo (macro y micronutrientes en forma disponible) así como las condiciones climáticas (Niemiec y Komorowska, 2018).

2.3.4 Antecedentes de los fertilizantes de liberación lenta

Sánchez-Mendoza et al. (2020) reportaron que con respecto a las plantas control, el FLL Multigro (6)[®] (21–14–10 NPK + 2 MgO) incrementó el contenido de P y Mg foliar, la longitud radicular, el peso fresco y seco de hojas, el peso fresco y seco del tallo en plantas de *Agave angustifolia* Haw. cultivadas en campo.

Nabila et al. (2019) evaluaron el crecimiento y el estado nutricional de árboles jóvenes de almendro aplicando dos tipos de FLL, Matador[®] (20-20-5) y Nitrophoska[®] (25-10-17). Estos autores registraron un incremento en la longitud del tallo, diámetro y número de ramas y hojas por árbol, área foliar, contenido de clorofila foliar, peso fresco y seco de hojas con relación a los árboles control (sin fertilizar).

Soti et al. (2015) evaluaron el efecto de los FLL Nutripak® (12-4-12) y Harrell's® (12-4-12) contra el FLL Atlantic (8-4-12), en el crecimiento de dos especies de palma: Chinese fan (*Livistona chinensis*) y Queen (*Syagrus romanzoffiana*). En la especie *L. chinensis* no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, pero, para *S. romanzoffiana* se registraron diferencias estadísticas en el diámetro basal, en la longitud, ancho y número de hojas en las plantas tratadas con Atlantic y Harrell's.

Aguilera-Rodríguez et al. (2016) utilizaron aserrín de pino como sustrato y dos FLL: Multicote (18-6-12, con un periodo de liberación de 4-8 meses) y Osmocote Plus (15-9-12, con un periodo de liberación de 8-9 meses y 5-6 meses) para la producción de pino (*Pinus pseudostrobus* Lindl.) en vivero. Los FLL se aplicaron de forma individual y combinada en una dosis única de 8 g L⁻¹. Después de 10 meses de la siembra se observó que los tratamientos donde se combinaron los FLL con diferentes periodos de liberación de nutrientes presentaron diferencias significativas con respecto a la aplicación individual de FLL. Los parámetros con diferencias fueron el peso seco radicular y la relación entre el peso seco aéreo y el peso seco radicular.

Escamilla-Hernández et al. (2015) evaluaron el crecimiento de plantas de teca (*Tectona grandis* L. f.) empleando como sustrato vermiculita, agrolita y "peat moss" el cuál se mezcló con Basacote (16-8-12), Osmocote (15-9-12) y Multicote (18-6-12), en tres dosis cada uno: 10 (baja), 20 (media) y 30 kg m⁻³ (alta) más un control (sin fertilización). Las plantas de teca fertilizadas con Osmocote con las dosis media y alta presentaron el mayor diámetro, altura del cuello, biomasa aérea y radicular.

CAPÍTULO III.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció en San Jacinto Chilateca (16°50'28"N, 96°41'03"O), Ocotlán de Morelos, Oaxaca (México) a una altitud promedio de 1,533 msnm y un clima (A)C(wo) (Secretaría de Desarrollo Social, 2021). La temporada calurosa dura 1.9 meses, del 21 de marzo al 17 de mayo, la temperatura máxima promedio diaria es de más de 30°C. La temporada fresca dura 4.4. meses, del 22 de junio al 4 de noviembre y la temperatura máxima promedio diaria es menor a 27°C. La temporada lluviosa dura 7.4 meses, del 1 de abril al 12 de noviembre, con un intervalo de 31 días de lluvia de por lo menos 13 mm. El periodo del año sin lluvia dura 4.6 meses, del 12 de noviembre al 1 de abril (Weather Spark, 2021).

Antes del trasplante de las plantas de agave en campo se colectó una muestra compuesta de suelo a una profundidad 0-20 cm para determinar algunas de sus propiedades físicas y químicas (Cuadro 1). Para el análisis del suelo se empleó la metodología establecida en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2002).

Se obtuvieron hijuelos rizomatosos de 7 a 8 meses de edad de agave arroqueño y agave coyote a partir de plantas madre de 3 años de edad; estos hijuelos tenían una altura que varió entre 21.5 y 45.5 cm, visualmente se examinó que no presentaran evidencia de lesiones, pudrición o ataque por insectos. A los hijuelos se les cortó la raíz para generar un nuevo sistema radicular que favoreciera el desarrollo al momento del trasplante en campo. Posteriormente, se desinfectaron mediante inmersión en una solución de hipoclorito de sodio al 0.624% durante 5 minutos (Sánchez-Mendoza et al., 2020).

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas del suelo de la parcela experimental

Propiedad edáfica		
Densidad aparente	Método de la probeta	1.23 g cm ⁻³
Materia orgánica	Método AS-07 de Walkley y Black	2.4%
pH 1:2	Método AS-02 electrométrico	8.39
Conductividad eléctrica (CE 1:2)	Método AS-18 con un conductímetro	0.31 dS m ⁻¹
Fósforo disponible	Método AS-10 de Olsen	24.5 mg kg ⁻¹
Bases intercambiables	Método AS-12, acetato de amonio	
Ca		6354 cmol (+) kg ⁻¹
Mg		241 cmol (+) kg ⁻¹
Na		24.5 cmol (+) kg ⁻¹
K		264 cmol (+) kg ⁻¹
Micronutrientes	Método AS-14, DTPA	
Cu		0.81 mg kg ⁻¹
Mn		1.65 mg kg ⁻¹
Fe		2.82 mg kg ⁻¹
Zn		0.15 mg kg ⁻¹
B		0.45 mg kg ⁻¹
N-NO ₃	Método de nitración	4.85 mg kg ⁻¹

El trasplante se realizó el 22 de octubre de 2020, la distancia entre plantas fue de 1.5 m y entre hileras de 3 m, obteniendo una densidad de siembra de 2,178 plantas ha⁻¹. La fertilización se realizó dos meses después del trasplante. Los FLL empleados fueron 1) Osmocote plus® (15-09-12) (15% N, 9% P₂O₅, 12% K₂O, 6.0% SO₄, 0.02% B, 0.05% Cu, 0.46% Fe, 0.06% Mn, 0.02% Mo, 0.05% Zn) con un periodo de liberación de 5-6 meses y 2) Multicote Agri® (18-06-12) (18%N, 6% P₂O₅, 12% K₂O, 2% CaO, 3.5% MgO, 2.1% Si) con un periodo de liberación de 8 meses. Se aplicaron manualmente 100 g de FLL alrededor de cada planta a una profundidad de 5 cm y a 5 cm del tallo de acuerdo con Sánchez-Mendoza

et al. (2020).

La dosis empleada para la fertilización convencional fue de 30-20-15 Kg N-P-K ha⁻¹ de acuerdo con Martínez-Ramírez et al. (2013). Se hizo una sola aplicación por planta de 64.2 g de sulfato de amonio, 19.5 g de superfosfato de calcio y 11.2 g de cloruro de potasio.

El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completamente al azar. Se evaluaron cuatro tratamientos con cuatro repeticiones y 5 plantas por repetición. Los tratamientos evaluados fueron T1) control (sin fertilización), T2) fertilizante convencional (FC), T3) FLL Osmocote plus® (OS) y T4) FLL Multicote Agri® (MULT). La unidad experimental fue una planta de agave. El periodo de evaluación fue de 10 meses. Durante el tiempo que duró el experimento se determinó el porcentaje de humedad y temperatura del suelo en la rizósfera de 10 plantas de agave seleccionadas al azar en cada tratamiento. Para ello se empleó un medidor digital marca Nennimber Gmb. La temperatura promedio del suelo fue de 31°C y la humedad promedio del suelo fue de 61.11%.

3.1 Variables respuesta

Antes del trasplante se midió la altura de la planta de agave (AP) con un flexómetro y el diámetro del tallo (DT) con un vernier digital marca Truper, también se contabilizó el número de hojas desplegadas (NHD). Al término del periodo de evaluación a todas las plantas por tratamiento se les determinó AP y NHD antes de cosecharlas. Posteriormente, se cosecharon al azar 10 plantas por tratamiento. A estas plantas se les determinó circunferencia de tallo (CT), volumen radicular (VR) en una probeta de 1000 ml con un volumen conocido de agua se introdujeron las raíces y se midió el volumen de agua desplazado; densidad radicular (DR) por medio de la relación masa-volumen; peso fresco de hojas (PFH), tallo (PFT) y raíz (PFR);

peso seco de hojas (PSH), tallo (PST) y raíz (PSR), para ello el material vegetal se secó en un secador solar. El contenido de azúcares (sólidos solubles totales en tallo, SST) se determinó con un refractómetro portátil RHB-32 ATC. El contenido de Ca^{2+} , Na^+ , NO_3^- y K^+ foliar se cuantificó mediante un medidor de iones LAQUAtwin.

3.2 Análisis estadístico

Los datos para AP y NHD se sometieron a un análisis de normalidad mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, el análisis de normalidad para el resto de las variables se hizo con la prueba de Shapiro-Wilk. Las variables que no cumplieron con los supuestos de normalidad se transformaron a $\log_{10}(x)$ o raíz cuadrada. La homogeneidad de varianza se verificó a través de la prueba de Bartlett. Posteriormente se realizó un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias por el método de Duncan ($P \leq 0.05$). En todos los procedimientos estadísticos se utilizó el software estadístico SAS v. 9.1 (SAS Institute, 2004).

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Efecto de los fertilizantes de liberación lenta en el crecimiento y nutrición de agave arroqueño y agave coyote

4.1.1 Altura de la planta

Según Nobel (1989) los parámetros de crecimiento vegetal son apropiados para evaluar los efectos de la fertilización en agaves. Estudios previos muestran que los agaves responden positivamente a la fertilización química u orgánica (Langlé-Argüello et al., 2019). Con respecto a las plantas control se observaron diferencias estadísticas significativas, la aplicación de OS incrementó 13.7% la AP en agave arroqueño y 21.2% en agave coyote (Cuadros 2 y 3). Aunque los estudios de evaluación de FLL en agave son escasos, a continuación, se mencionan algunos estudios donde se ha evaluado el efecto de fertilizantes convencionales en plantas de agave. Cruz-Vasconcelos et al. (2020) también encontraron que la AP en *A. salmiana* incrementó 51.1% con relación al control como respuesta a la fertilización convencional (triple 17, urea y Yara star). Resultados contrarios fueron reportados por Sánchez-Mendoza et al. (2020), quienes evaluaron el efecto de tres FLL en *A. angustifolia*: Multigro (6), Multigro (3) y Turf Builder y no encontraron diferencias significativas para AP con respecto al control.

Cuadro 2. Valor medio \pm error estándar de las variables de crecimiento en plantas de agave arroqueño (*Agave* sp.) como respuesta a la aplicación de fertilizantes de liberación lenta y fertilizantes convencionales

Tratamientos	AP cm	NHD	CT cm	PFH g	PFT g	PFR g	VR cm ³	DR g cm ⁻³	PSH g	PST g	PSR g
Control	56.91 \pm 1.2b	21.45 \pm 0.9b	41.21 \pm 1.4b	2653.10 \pm 247.3b	1187.10 \pm 115.9b	36.76 \pm 3.1b	28.00 \pm 4.1a	1.45 \pm 0.1a	595.40 \pm 72.3b	393.48 \pm 41.1a	16.28 \pm 2.4a
Fertilizante convencional	59.32 \pm 1.5b	24.00 \pm 0.9ab	44.47 \pm 1.3ab	3070.20 \pm 356.8b	1441.00 \pm 137.1ab	47.39 \pm 5.3ab	36.00 \pm 5.8a	1.70 \pm 0.4a	698.30 \pm 93.6ab	473.44 \pm 57.3a	20.70 \pm 3.0a
Osmocote plus®	64.68 \pm 0.8a	25.25 \pm 0.7a	46.90 \pm 0.9a	4042.10 \pm 248.6a	1767.90 \pm 105.4a	41.01 \pm 3.5ab	35.00 \pm 5.4a	1.41 \pm 0.2a	913.10 \pm 110.6a	518.57 \pm 27.5a	18.94 \pm 2.7a
Multicote Agri®	59.90 \pm 2.1ab	23.75 \pm 1.0ab	43.20 \pm 2.0ab	2966.90 \pm 307.0b	1419.30 \pm 152.6ab	49.99 \pm 4.0a	41.00 \pm 4.3a	1.25 \pm 0.06a	707.00 \pm 82.9ab	466.56 \pm 50.8a	24.00 \pm 2.3a

AP: altura de planta; NHD: número de hojas desplegadas; CT: circunferencia del tallo; PFH: peso fresco de hojas; PFT: peso fresco de tallos; PFR: peso fresco de raíces; VR: volumen radicular; DR: densidad radicular; PSH: peso seco de hojas; PST: peso seco de tallos; PSR: peso seco de raíces. Valores medios con letras distintas en cada columna son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Duncan ($P \leq 0.05$)

Cuadro 3. Valor medio \pm error estándar de las variables de crecimiento en plantas de agave coyote (*Agave* sp.) como respuesta a la aplicación de fertilizantes de liberación lenta y fertilizantes convencionales

Tratamientos	AP cm	NHD	CT cm	PFH g	PFT g	PFR g	VR cm ³	DR g cm ⁻³	PSH g	PST g	PSR g
Control	50.44 \pm 2.0b	21.50 \pm 1.0b	40.47 \pm 2.9a	2606.60 \pm 637.7b	1110.10 \pm 213.9b	76.69 \pm 7.8a	40.00 \pm 5.7a	2.15 \pm 0.2a	476.70 \pm 110.6c	271.99 \pm 68.1b	28.14 \pm 4.5b
Fertilizante convencional	55.12 \pm 1.8ab	22.95 \pm 1.2b	42.54 \pm 2.0a	3171.80 \pm 488.4ab	1266.80 \pm 173.6ab	93.86 \pm 10.1a	59.00 \pm 6.0a	1.59 \pm 0.1b	735.20 \pm 105.1bc	342.78 \pm 67.8ab	35.87 \pm 3.9ab
Osmocote plus®	61.15 \pm 2.4a	27.60 \pm 1.1a	47.98 \pm 1.1a	4613.70 \pm 445.1a	1807.70 \pm 122.4a	80.05 \pm 8.0a	54.00 \pm 3.0a	1.47 \pm 0.1b	1320.50 \pm 143.6a	416.36 \pm 37.9a	39.14 \pm 3.4a
Multicote Agri®	58.16 \pm 2.3a	24.20 \pm 1.5ab	45.77 \pm 6.5a	3654.90 \pm 788.6ab	1358.50 \pm 321.9ab	74.01 \pm 10.8a	50.00 \pm 8.9a	1.61 \pm 0.1b	1040.90 \pm 208.1ab	286.96 \pm 51.3ab	36.92 \pm 4.3ab

AP: altura de planta; NHD: número de hojas desplegadas; CT: circunferencia del tallo; PFH: peso fresco de hojas; PFT: peso fresco de tallos; PFR: peso fresco de raíces; VR: volumen radicular; DR: densidad radicular; PSH: peso seco de hojas; PST: peso seco de tallos; PSR: peso seco de raíces. Valores medios con letras distintas en cada columna son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Duncan ($P \leq 0.05$)

4.1.2 Número de hojas desplegadas

Con respecto a las plantas control, la aplicación de OS aumentó 17.7% el NHD en agave arroqueño y 28.4% en agave coyote (Cuadros 2 y 3). Resultados diferentes fueron reportados por Sánchez-Mendoza et al. (2020) quienes encontraron que la adición de 3 FLL: (Multigro (6), Multigro (3) y Turf Builder) en plantas de agave espadín (*A. angustifolia* Haw.) no aumentó el NHD con respecto al control. Resultados similares a los del presente estudio los registraron Martínez-Ramírez et al. (2013), ya que con respecto a las plantas control, encontraron que dosis de fertilización convencional (superfosfato triple, sulfato de potasio y sulfato de amonio) altas (90-60-45 kg ha⁻¹) y medias (60-40-30 kg ha⁻¹) en agave tobalá (*A. potatorum*) y agave espadín incrementó significativamente el NHD en 15.5% y 18.9%, respectivamente. Estos resultados son coincidentes con los de este estudio.

Plántulas de *A. salmiana* se fertirrigaron con solución Steiner al 25 y 100% en periodos de 3 y 7 días. El NHD incrementó como respuesta a la aplicación de solución Steiner al 25 y 100% cada 3 días con respecto a la fertirrigación cada 7 días (Arrazola-Cárdenas et al., 2020).

4.1.3 Pesos frescos de hojas, raíces y tallos, volumen radicular, densidad radicular y circunferencia de tallos

Con respecto a las plantas control, en agave arroqueño la aplicación de OS incrementó la CT 13.8%, el PFH 52.4% y el PFT 48.9%. (Cuadro 2). La fertilización con MULT incrementó el PFR 36.0% (Cuadro 2). En agave coyote, la aplicación de OS incrementó el PFH 77.0% y el PFT 62.8%. Resultados similares se observaron mediante la aplicación de solución Steiner a plántulas de *A. americana* var. Oaxacensis, lo que generó incrementos en

PFH, PFT, diámetro de tallo, longitud y volumen radicular, PFR y PSR con respecto a las plantas control (Cruz-García et al., 2019). De igual manera, Sánchez-Mendoza et al. (2020) reportaron que el FLL Multigro (6) incrementó la longitud radicular 13.1%, el PFH 45.1%, el PFT 35.2% y el diámetro de tallo 16.9% en plantas de *A. angustifolia* en condiciones de campo.

4.1.4 Pesos secos de hojas, raíces y tallos

Con respecto a las plantas control, en agave arroqueño la aplicación de OS incrementó el PSH 53.4%. La fertilización con OS en agave coyote aumentó el PSH 177.0%, el PST 53.1% y el PSR 39.1% (Cuadros 2 y 3). Resultados similares se encontraron mediante la aplicación de solución Steiner con diferentes concentraciones (50%, 75% y 100%) en plantas de *A. angustifolia*. La aplicación de solución Steiner al 100% incrementó el PSH (Ríos-Ramírez et al., 2021). Zúñiga-Estrada et al. (2018) emplearon fertirrigación y fertilización base de NPK en plantas de *A. tequilana* y reportaron que las plantas tratadas con una fertilización base de NPK y una fertirrigación por goteo durante 77 meses presentaron los valores más altos en peso seco de planta y de tallo con respecto a las plantas control.

4.1.5 Contenido nutrimental en hojas y sólidos solubles totales en tallo

Con respecto a las plantas control, en agave arroqueño la aplicación de MULT incrementó el contenido foliar de NO_3^- 59.3% (Cuadro 4). En agave coyote, la adición de MULT aumentó 25.6% el contenido foliar de K^+ , 26.2% el contenido foliar de NO_3^- y 29.8% el contenido foliar de Na^+ . El OS aumentó el K^+ foliar en 22.9%. La fertilización convencional incrementó

16.8% el contenido foliar de NO_3^- y 39.3% el SST (Cuadro 5).

Cuadro 4. Valor medio \pm error estándar del contenido nutrimental y sólidos solubles totales en el tallo (SST) de agave arroqueño (*Agave* sp.) como respuesta a la aplicación de fertilizantes de liberación lenta y fertilizantes convencionales

Tratamientos	Ca^{2+}	K^+	NO_3^-	Na^+	SST
	ppm				$^{\circ}\text{Bx}$
Control	239.00 \pm 20.3a	2930.00 \pm 131.6ab	263.00 \pm 12.5c	39.80 \pm 4.5a	12.10 \pm 1.2a
Fertilizante convencional	229.00 \pm 16.0a	2760.00 \pm 20.5b	280.00 \pm 10.9c	34.80 \pm 2.6a	12.90 \pm 0.9a
Osmocote plus®	263.00 \pm 9.1a	2860.00 \pm 76.3b	330.00 \pm 6.8b	32.80 \pm 1.4a	15.30 \pm 1.1a
Multicote Agri®	219.00 \pm 12.1a	3270.00 \pm 66.7a	419.00 \pm 18.7a	40.90 \pm 2.6a	14.00 \pm 0.7a

Valores medios con letras distintas en cada columna son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Duncan ($P \leq 0.05$)

Cuadro 5. Valor medio \pm error estándar del contenido nutrimental y sólidos solubles totales en el tallo (SST) de agave coyote (*Agave* sp.) como respuesta a la aplicación de fertilizantes de liberación lenta y fertilizantes convencionales

Tratamientos	Ca^{2+}	K^+	NO_3^-	Na^+	SST
	mg g^{-1}				$^{\circ}\text{Bx}$
Control	476.00 \pm 35.4a	2730 \pm 109.5b	309.00 \pm 12.2b	26.20 \pm 1.1c	8.40 \pm 0.8b
Fertilizante convencional	387.00 \pm 36.7b	2720.00 \pm 89.1b	361.00 \pm 17.1a	29.70 \pm 0.6b	11.70 \pm 1.0a
Osmocote plus®	391.00 \pm 18.5b	2730.00 \pm 86.9b	268.00 \pm 9.7b	34.00 \pm 1.2a	10.30 \pm 0.7ab
Multicote Agri®	293.00 \pm 21.6c	3430.00 \pm 26.5a	388.00 \pm 17.5a	33.70 \pm 0.8a	9.90 \pm 0.7ab

Valores medios con letras distintas en cada columna son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Duncan ($P \leq 0.05$)

El N de los fertilizantes y la materia orgánica es transformado en NO_3^- por la acción bacteriana. Las plantas absorben NO_3^- del suelo y es su fuente principal de N disponible (Lambers y Olivera, 2019). Arreola-Tostado et al. (2020) indicaron que el N, P y K absorbido se acumulan en las hojas de los agaves.

El MULT (18-06-12) (N-P-K) tiene un contenido de N superior al OS (15-09-12) y un periodo de liberación de 8 meses en comparación con los 5-6 meses del OS. Probablemente es por estas razones que las plantas tratadas con MULT tuvieron un contenido foliar de NO_3^-

y K^+ superior a las plantas control.

Aun cuando los agaves son especies adaptadas a vivir en condiciones restrictivas, particularmente suelos con bajos niveles de P, N y materia orgánica, los resultados obtenidos muestran una respuesta positiva a la adición de nutrientes, principalmente N y K (Razaq et al., 2017). El N es importante para diferentes procesos fisiológicos y metabólicos de las plantas, actividad enzimática, actividad fotosintética, respiración celular y señalización química, adicionalmente el N es constituyente de diferentes moléculas orgánicas (Ding et al., 2015; Yang et al., 2012). El K es el cofactor de más de 40 enzimas, es el catión principal para mantener la turgencia y la neutralidad eléctrica en la célula (Tainz y Zeiger, 2012).

Bautista-Cruz et al. (2007) mencionaron que las plantas responden mejor a la fertilización cuando crecen en suelos pobres en materia orgánica y N, dos características que están presentes en la mayoría de los suelos donde se desarrollan los agaves en el estado de Oaxaca.

Con respecto al contenido de SST, estudios previos han demostrado resultados similares a los observados en agave arroqueño (Cuadro 4) y diferentes con los registrados en agave coyote (Cuadro 5). Aplicando durante 77 meses una fertirrigación y fertilización base de NPK a plantas de *A. tequilana*, no se observaron diferencias estadísticas en la concentración de azúcares en tallo con respecto al control (Zúñiga-Estrada et al., 2018). Para azúcares totales en plantas de *A. salmiana*, tampoco existieron diferencias estadísticas entre tratamientos aplicando solución Steiner en diferentes concentraciones y frecuencias de fertirrigación (Arrazola-Cárdenas et al., 2020). Estos resultados tal vez se deban a que las plantas responden fisiológicamente de manera diferente a los nutrientes dependiendo de su concentración y disponibilidad en el suelo (Nobel, 1989).

CAPITULO V

CONCLUSIONES

La aplicación de fertilizantes de liberación lenta (FLL) promovió el crecimiento y la nutrición de agave arroqueño y agave coyote en condiciones de campo. El FLL Osmocote plus® incrementó la circunferencia y el peso fresco del tallo, así como el peso fresco y seco de hojas en agave arroqueño. Mientras que en agave coyote aumentó el peso fresco y seco de hojas, el peso fresco y seco del tallo y el peso seco de raíces. La fertilización con Multicote Agri® incrementó el contenido foliar de K^+ y NO_3^- tanto en agave arroqueño como en agave coyote. No obstante, al ser los agaves plantas con un ciclo de cultivo largo, aproximadamente entre 5 o 7 años, dependiendo de las condiciones del sistema de producción, es necesario realizar un mayor número de evaluaciones para verificar la respuesta de los agaves a la aplicación de fertilizantes de liberación lenta en condiciones de campo.

CAPÍTULO VI

LITERATURA CITADA

- Aguilera-Rodríguez, M., Aldrete, A., Martínez-Trinidad, T. y Ordaz-Chaparro, V.M. (2016). Producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl. con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 7(34), 7-19.
- AlShamaileh, E., Al-Rawajfeh, AE y Alrbaihat, M. (2018). Mechanochemical synthesis of slow-release fertilizers: a review. *The Open Agriculture Journal*. (12), 11–19.
- Arrazola-Cárdenas, L., García-Nava, J.R., Robledo-Paz, A., Ybarra-Moncada, M.C. y Muratalla-Lúa, A. (2020). Sustratos y dosis de fertirrigación en la acumulación de azúcares totales y en el crecimiento de *Agave salmiana* (Asparagaceae). *Polibotánica*. (10), 109-118.
- Arreola-Tostado, J.M., Montoya-Jasso, V.M., Arreola-Nava, J-M., Castillo-Valdés, X., Olivares-Arreola, E.A. y Baéz-Pérez, A. (2020). Efecto de la aplicación de levasa (mosto de caña de azúcar) en la producción y calidad de *Agave tequilana* Weber. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 11(6), 1311-1324.
- Arslanoglu, H. (2019). Adsorption of micronutrient metal ion onto struvite to prepare slow release multielement fertilizer: Copper(II) doped-struvite. *Chemosphere*. 217, 393–401. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2018.10.207>
- Azeem, B., Kushaari, K., Man, Z.B., Basit, A., Thanh, T.H. (2014). Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer. *J. Control. Release*. 181, 11-21. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2014.02.020>
- Bandyopadhyay, S., Bhattacharya, I., Ghosh, K., Varadachari, C. (2008). New slow-releasing molybdenum fertilizer. *J. Agric. Food Chem*. 56, 1343–1349.
- Bautista-Aparicio, G., Sánchez-Mendoza, S. y Bautista-Cruz, M. A. (2017). Efecto de diferentes dosis de N y P en el crecimiento de *Agave potatorum* Zucc. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*. 4 (2) (Suplemento 2), 1 – 7.
- Bautista-Cruz, A., Carrillo-González, R., Arnaud-Viñas, M.R., Robles, y de León-González, F. (2007). Soil fertility properties on *Agave angustifolia* Haw. plantations. *Soil Till Res.*, 96, 342-349.
- Bautista-Cruz, A., Cruz-Domínguez, G. y Rodríguez-Mendoza, M. (2015). Efecto de bocashi y fertilizantes de liberación lenta en algunas propiedades de suelos con maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6 (1), 217-222.
- CIATEJ-AGARED. (2017). Panorama del aprovechamiento de los agaves en México. Gschaedler Mathis, Anne Christine (Coord.). AGARED-CONACYT, CIATEJ. 300 p.

- Consejo Regulador del Mezcal (CRM). (2016). Nuestra Organización. Acta Ordinaria 020.
- Consejo Regulador del Mezcal (CRM). (2015). INFORME 2015. México.
- Cruz-Gracia, H., Campos-Ángeles, G.V., Enríquez-del Valle, JR., Rodríguez-Ortiz, G. y Velasco-Velasco, V.A. (2019). Desarrollo de plantas micropropagadas de *Agave americana* Var. Oaxacensis durante su aclimatación en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 10(7), 1491-1503.
- Cruz-Vasconcelos, ST., Ruíz-Posadas, LM., García-Moya, E., Sandoval-Villa, M. y Cruz-Huerta, N. (2020). Crecimiento y tasa de intercambio de CO₂ de maguey pulquero (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck) obtenido por semilla. *Agrociencia*, (54). 911-926.
- Cuizano, N. A., y Navarro, A. E. (2008). Biosorción de metales pesados por algas marinas: posible solución a la contaminación a bajas concentraciones. *Anales de la Real Sociedad Española de Química*. 2, 120-125.
- Delgado-Lemus, A., Torres, I., Blancas, J y Casas, A. (2014). Vulnerability and risk management of Agave species in the Tehuacan Valley , México. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*. 10, 53-67. DOI: 10.1186/1746-4269-10-53.
- Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE. UU. (2015). Resumen de salud pública: nitratos y nitritos. Recuperado de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs204.pdf
- Ding, L., Gao, C., Li, Y., Li, Y., Zhu, Y., Xu, G., Shen, Q., Kaldenhoff, R., Kai, L. y Guo, S. (2015). The enhanced drought tolerance of rice plants under ammonium is related to aquaporin (AQP). *Plant Science*. 234, 14–21.
- Duhan, J.S., Kumar, R., Kumar, N., Kaur, P., Nehra, K., Duhan, S. (2017). Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture. *Biotechnol. Reports*. 15, 11-23. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2017.03.002>
- Escamilla-Hernández, N., Obrador-Olán, J.J., Carrillo-Ávila, E. y Palma-López D.J. (2015). Uso de fertilizantes de liberación controlada en plantas de teca (*Tectona grandis*), en la etapa de Vivero. *Revista Fitotécnica Mexicana*. 38(3), 329-333.
- FAO (2014). Agricultura Mundial: hacia los años 2015/2030. Ed. Dirección de Información de la FAO.
- Flores, H.R., Mattenella, L.E., Kwok, L.H. (2006). Slow release boron micronutrients from pelletized borates of the northwest of Argentina. *Minerals Engineering*. 19(14), 364–367. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2005.09.034>
- França, D., Medina, Â.F., Messa, L.L., Souza, C.F., Faez, R. (2018). Chitosan spray-dried microcapsule and microsphere as fertilizer host for swellable – controlled release materials. *Carbohydr. Polym.* 196, 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.05.014>

- García-Galindo, L.A., Capera-Rivas, A., Melendez, J.P. y Mayorquín, N. (2020). Alternativas microbiológicas para la remediación de suelos y aguas contaminados con fertilizantes nitrogenados. *Scientia et Technica*. 25(1), 172-183.
- García-Mendoza, A. J. (2007). Los Agaves en México. *Revista Ciencias*. 87,14-23.
- González, M., Rodríguez-García, M., Hernández, M.I., Rodríguez, C., Rieumont, J., Cuesta, E., Sardinias, C. y Morales, A. (2005). Obtención de un fertilizante de liberación lenta y controlada enriquecido con diferentes plantas marinas. *Revista Cubana de Química* 24(3), 25-31.
- Hernández-Ordáz, G., Segura-Castruita, MA., Álvarez-González Pico, LC., Aldaco-Nuncio, RA., Fortis-Hernández, M. y González-Cervantes, G. (2013). Comportamiento del arsénico en suelos de la región lagunera de Coahuila, México. *Terra Latinoamericana*. 31(4), 295-303.
- Kiplangat, R., Karuku, GN., Mbui, D., Njomo, N y Michira, I. (2019). Evaluating the effects of formulated nano-NPK slow release fertilizer composite on the performance and yield of maize, kale and capsicum. *Annals of Agricultural Sciences*. (64), 9-19.
- Langlé-Argüello, L. A., Martínez-Gutiérrez, G. A., Santiago-García, P.A., Escamirosa-Tinoco, C. y Morales, I. (2019). Nutrient Solutions and Drought in Plant Growth and Fructans Content of *Agave potatorum* Zucc. *HortScience*. 54(9), 1581-1584.
- Larson, J y Aguirre, X. (2015). Normas de etiquetado y dilución de significados en la comercialización de mezcal y otros destilados de maguey en México. *Agua de las verdes matas. Tequila y mezcal*. 157-182.
- Lubkowski, K. (2016). Environmental impact of fertilizer use and slow release of mineral nutrients as a response to this challenge. *Polish J. Chem. Technol*, 18, 72–79. <https://doi.org/10.1515/pjct-2016-0012>
- Magalhães-Machado, D.L., Cartaxo-de Lucena, C., dos Santos, D., Lopes-de Siquiera, D., Monteiro-Matarazzo, P.H. y Barbosa-Struiving, T. (2011). Slow-release and organic fertilizers on early growth of Rangpur lime. *Rev. Ceres Vicosa*, v.58(3), 359-365.
- 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 Fitotécnica Mexicana*. 36(4), 387-393.
- Mero, M., Pernía, B., Ramírez-Prado, N., Bravo, K., Ramírez, L., Larreta, E. y Egas, F. (2019). Concentración de cadmio en agua, sedimentos, *Eichhornia crassipes* y *Pomacea canaliculata* en el río guayas (ecuador) y sus afluentes. *Revista internacional de contaminación ambiental*. 35(3), 623-640. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.03.09>

- Mikula, K., Izydorczyk, G. y Skrzypczak, D., Mironiuk, M., Moustakas, K. y Witek-Krowiak, A. (2019). Controlled release micronutrient fertilizers for precision agriculture – A review. *Science of the Total Environment*. 712. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136365>
- Monge, E., Val, J., Sanz, M., Blanco, A. y Montañés, L. (1994). El calcio nutriente para las plantas. Bitter pit en manzano. *An. Estac. Exp. Aula Dei*. 21(3), 189-201.
- Morgan, T.K., Cushman, K.E. y Sato, S. (2009). Release mechanisms for slow-and controlled-release fertilizers and strategies for their use in vegetable production. *HorTechnology*. 19(1), 10-12.
- Nabila, E. K., Abourayya, M. S., Mahmoud, T., Eisa, R. A., Rakha, A. M. y Amin, O. A. (2019). Evaluation of almond young trees growth and nutritional status under different slow release compound fertilizer types and doses at Nubaria región. *Bulletin of the National Research Centre*. 43(188). <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0247-y>
- Niemiec, M. y Komorowska, M. (2018). The Use of Slow-Release Fertilizers as a Part of Optimization of Celeriac Production Technology. *Agricultural Engineering*. 22, 59-68. DOI:10.1515/agriceng-2018-0016.
- Nobel, P.S. (1989). A nutrient index quantifying productivity of agaves and cacti. *Journal of Applied Ecology*. 26(2), 635-645.
- NOM-070-SFCI-1994 (1994). Norma Oficial Mexicana NOM-070-SCFI-1994, Bebidas alcohólicas-Mezcal-Especificaciones. México D. F
- Palma, F., Pérez, P. y Meza, V. (2016). Diagnóstico de la cadena de valor mezcal en las regiones de Oaxaca. Recuperado de <http://www.coplade.oaxaca.gob.mx/wp-content/uploads/2017/04/Perfiles/AnexosPerfiles/6.%20CV%20MEZCAL.pdf>
- Pang, WD., Hou, H., Wang, S., Sai, B., Wang, J., Ke, G, Wu, QL y Holtzapple, MT. (2018) Preparation of microcapsules of slow-release NPK compound fertilizer and the release characteristics. *J Braz Chem Soc*. 29(11), 2397–2404.
- Razaq, M., Zhang, P., Shen, H., Salahuddin. (2017). Influence of nitrogen and phosphorous on the growth and root morphology of *Acer mono*. *PLoS ONE*. 12 (2), 1-13. doi:10.1371/journal.pone.0171321
- Ríos-Ramírez, S.C., Enríquez-del Valle, J.R., Rodríguez-Ortíz, G., Ruíz-Luna, J. y Velasco-Velasco, V.A. (2021). El crecimiento de *Agave angustifolia* Haw. en relación a la condición nutrimental. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 12(5), 865-873.
- Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M. y Pennock, D. (2019). *La contaminación del suelo: una realidad oculta*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>
- Rodríguez-Ortiz, J.C., Alcalá-Jáuregui, J.A., Hernández-Montoya, A., Rodríguez-Fuentes, H., Ruíz-Espinoza, F.H., García-Hernández, J.L. y Díaz-Flores, P.E. (2014). Elementos traza en

- fertilizantes y abonos utilizados en agricultura orgánica y convencional. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(4), 695-701.
- Rop, K., Mbui, D., Njomo, N., Karuku, G., Michira, I. y Ajayi, R. (2019). Biodegradable water hyacinth cellulose-graftpoly(ammonium acrylate-coacrylic acid) polymer hydrogel for potential agricultural application. *Heliyon*. 5(3), 1-29. doi: 10.1016/j.heliyon.2019. e01416
- Sánchez-Mendoza, S., Bautista-Cruz, A., Robles, C. y Rodríguez-Mendoza, M. N. (2020). Irrigation and slow-release fertilizers promote the nutrition and growth of *Agave angustifolia* Haw., *Journal of Plant Nutrition*. 43(5), 699-708. DOI: 10.1080/01904167.2019.1701025.
- Secretaría de Desarrollo Social. (30 de abril de 2021). *Unidades de microrregiones, cédulas de información municipal*. <http://microrregiones.sedesol.gob.mx/zap/medioFisico.aspx?entra=zap&ent=20&mun=068>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), (2021). *Producción mensual agrícola*. Recuperado de https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/
- Soti, P., Fleurissaint, A., Reed, S. y Jayachandran, K. (2015). Effects of control release fertilizers on nutrient leaching, palm growth and production cost. *Agriculture*. 5, 1135-1145.
- Skrzypczak, D., Witek-Krowiak, A., Dawiec-Lisniewska, A., Podstawczyk, D., Mikula, K. y Chojnacka, K. (2019). Immobilization of biosorbent in hydrogel as a new environmentally friendly fertilizer for micronutrients delivery. *Journal of Cleaner Production*. 241.
- Taiz, L. y Zeiger, E. (2012). *Plant Physiology*. Massachusetts, U.S.A: Sinauer Associates Inc.
- Trenkel, M.E. (2010). *Slow-and controlled-release and stabilized fertilizers*. Paris, Francia: International Fertilizers Industry Association.
- Vazquez-Elorza, A., Rivera-Ramírez, J., Gutierrez-Mora, A., Olvera-Vargas, L. A., Romero-Romero, Y., Rodríguez-Peralta, C. M. y García-Pérez, L. (2019). *Fundamentos del ecosistema agave mezcalero para los hacedores de políticas públicas*. Jalisco, México: CIATEJ.
- Vega-Vera, N. V. y Pérez-Akaki, P. (2017). Oaxaca y sus regiones productoras de mezcal: Un análisis desde cadenas globales de valor. *Perspectivas Rurales. Nueva Época*, 15(29), 103 – 132.
- Wang, Y., Liu, M., Ni, B., Xie, L. (2012). k-carrageenan-sodium alginate beads and superabsorbent coated nitrogen fertilizer with slow-release, water-retention, and anticompaction properties. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 51, 1413-1422.
- Weather Spark. (2021). El clima y el tiempo promedio entodo el año en San Jacinto Chilateca. Recuperado de <https://es.weatherspark.com/y/8439/Clima-promedio-en-San-Juan-Chilateca-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-Temperature>

- Wen, P., Han, Y., Wu, Z., He, Y. (2017). Rapid synthesis of a corncob-based semiinterpenetrating polymer network slow-release nitrogen fertilizer by microwave irradiation to control water and nutrient losses. *Arabian Journal of Chemistry*. 10, 922-934.
- Yang, X., Yong, L., Binbin, R., Lein, D., Cuimin, G., Qirong, S. y Shiwei, G. (2012). Drought-induced root aerenchyma formation restricts water uptake in rice seedlings supplied with nitrate. *Plant Cell Physiol*, 53, 495–504.
- Zúñiga-Estrada, L., Rosales-Roble, E., Yáñez-Morales, M de J y Jackes-Hernández, C. (2019). Acumulación de nutrimentos en agave azul desarrollado con fertigación en Tamaulipas. *Contribución al conocimiento científico y tecnológico en Oaxaca*. 3(Núm. Especial “Agave-Mezcal), 19-23.