

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Efecto de Micronutrientes Sobre la Calidad Fisiológica de Semillas
y Plántulas de Maíz

Por:

OMAR DE JESÚS LOPÉZ ACOSTA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre, 2024.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Efecto de Micronutrientes Sobre la Calidad Fisiológica de Semillas
y Plántulas de Maíz

Por:

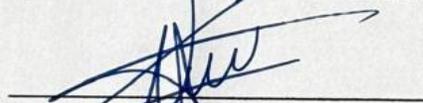
OMAR DE JESÚS LÓPEZ ACOSTA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Neymar Gamposeco Montejo

Asesor Principal



Dr. Perpetuo Álvarez Vázquez

Coasesor



Dr. Antonio Flores Naveda

Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre, 2024.

Derechos de autor y declaración de no plagio

Todo material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor de los Estados Unidos Mexicanos, y pertenece al autor principal quien es el responsable directo y jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestado los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente. Así mismo tengo reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo no ha sido previamente presentado en ninguna otra institución educativa, organización, medio público o privado.

Autor principal

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized, cursive script that appears to read 'Omar de Jesús López Acosta'. The signature is written over a horizontal line.

Omar de Jesús López Acosta

Dedicatoria

A mis padres y hermana, los cuales han sido parte fundamental en el proceso y a lo largo de mi vida.

Agradecimientos

Agradezco al universo por darme la oportunidad de estar presente disfrutando de las maravillas de la vida, comprendiendo que es difícil entender y encontrar el camino, más sin embargo el secreto de la vida misma es disfrutar del trayecto.

Le agradezco a mi madre Leticia Acosta Huesca, a mi padre Raymundo López Cervantes y a mi hermana Kenya Paola López Acosta, por ser un pilar fundamental a lo largo de mi vida llenándome de apoyo, amor incondicional y ánimo en los momentos difíciles.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por darme la oportunidad de desarrollarme como persona y de manera profesional induciéndome a llenarme de metas y objetivos.

Al Dr. Neymar Camposeco Montejo por el apoyo y disponibilidad durante el proceso, por su valiosa colaboración en el presente trabajo de investigación, por su comprensión, consejos y llamadas de atención.

Agradezco a Dona, quien me acompañó en momentos difíciles durante mi estancia universitaria, con quien compartí horas de juego, desvelos, siendo mi soporte emocional quien al final del día era quien me esperaba y recibía en casa, por brindarme poquito de su cariño y empatía cuando lo necesitaba, espero y confió en que algún día puedas regresar a casa.

A mis amigos que se convirtieron en familia, Luis Lemus, Elizabeth Lechuga, Darieli Mendoza, Daniela Castañeda, Yolo Guerrero, Víctor Adrián, Arnoldo García y Diana Vizcarra, por haber hecho más amena la estancia universitaria y los buenos momentos que vivimos.

A María Fernanda Pérez Rivera por su comprensión y apoyo, has hecho que este proceso sea más ligero y bonito, te quiero.

Tabla de contenido

1.INTRODUCCIÓN 1

2.OBJETIVO GENERAL..... 3

 2.1 Objetivos específicos 3

3. HIPÓTESIS 3

4. REVISIÓN DE LITERATURA 4

 4.1 Lugar de origen 4

 4.2 Taxonomía 5

 4.3 Importancias generales 5

 4.3.1 Importancia económica 5

 4.3.2 Importancia social y cultural 7

 4.3.3 Importancia nutricional 7

 4.4 Problemáticas asociadas..... 8

 4.4.1 Déficit de agua 8

 4.4.2 Salinidad 9

 4.6- Procesos de germinación..... 10

 4.6.1 Germinación..... 10

 4.6.2 Imbibición 10

 4.7 Elementos esenciales 11

 4.8 Sustratos 14

5. MATERIAES Y METODOS 17

 5.1 Localización del área de estudio 17

 5.2 Material genético..... 17

 5.3 Preparación de las semillas 17

5.4 Establecimiento de los tratamientos.....	17
5.5 Desarrollo de plántulas	18
5.6 Variables evaluadas.....	18
5.7 Semillas sin germinar.....	18
5.8 Plántulas anormales.....	18
5.9 Plántulas normales.....	19
5.10 Peso fresco de la plántula.....	19
5.11 Peso seco de la plántula	19
5.12 Longitud de plúmula.....	19
5.13 Longitud de radícula.....	20
5.14 Diseño experimental	20
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
6.1 Porcentaje de germinación	22
6.3 Plántulas anormales.....	24
6.4 Longitud de plúmula.....	25
6.7 Peso seco de plántula.....	28
7. CONCLUSIÓN	30
8. LITERATURA CITADA.....	31

Índice de figuras

Figura 1.- Principales países productores de maíz 2023/24-2024/25.	6
Figura 2.- Composición química y valor nutritivo del maíz.	8
Figura 3 Elementos esenciales para la mayoría de las plantas superiores y sus concentraciones internas consideradas como adecuadas. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 4.- Análisis de varianza (ANOVA $p \leq 0.05$) y comparación de medias de Duncan ≤ 0.05 del porcentaje de germinación de semillas de maíz, bajo cinco tratamientos de micronutrientes (Micro Mix SQM) en imbibición.	22
Figura 5.- Análisis de varianza (ANOVA $p \leq 0.05$) y comparación de medias de Duncan ≤ 0.05 de plántulas normales de semillas de maíz, bajo cinco tratamientos de micronutrientes (Micro Mix SQM) en imbibición.	23
Figura 6.- Análisis de varianza (ANOVA $p \leq 0.05$) y comparación de medias de Duncan ≤ 0.05 de plántulas anormales de semillas de maíz, bajo cinco tratamientos de micronutrientes (Micro Mix SQM) en imbibición.	24
Figura 7.- Análisis de varianza (ANOVA $p \leq 0.05$) y comparación de medias de Duncan ≤ 0.05 de longitud de plúmula de semillas de maíz, bajo cinco tratamientos de micronutrientes (Micro Mix SQM) en imbibición.	25
Figura 8.- Análisis de varianza (ANOVA $p \leq 0.05$) y comparación de medias de Duncan ≤ 0.05 de longitud de radícula de semillas de maíz, bajo cinco tratamientos de micronutrientes (Micro Mix SQM) en imbibición.	26
Figura 9.- Análisis de varianza (ANOVA $p \leq 0.05$) y comparación de medias de Duncan ≤ 0.05 de peso fresco de plántulas de semillas de maíz, bajo cinco tratamientos de micronutrientes (Micro Mix SQM) en imbibición.	27
Figura 10.- Análisis de varianza (ANOVA $p \leq 0.05$) y comparación de medias de Duncan ≤ 0.05 de peso fresco de plántulas de semillas de maíz bajo cinco tratamientos de micronutrientes (Micro Mix SQM) en imbibición.	28

Índice de cuadros

Cuadro 1. Cuadrados medios para las variables de germinación en semillas de maíz Zea mays.....	21
Cuadro 2. Cuadrados medios para las variables de crecimiento en plántulas de maíz Zea mays.....	21

Resumen

La buena germinación de las semillas en campo, asegura un buen arranque de los cultivos y promueve en los agricultores proyección en sus futuras cosechas. El presente trabajo de investigación, se realizó en el laboratorio ensayo de semillas del departamento de Fitomejoramiento en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México. El objetivo fue comparar la respuesta fisiológica y calidad de plántulas de Maíz (*Zea mays*), bajo diferentes concentraciones de micronutrientes (Micro MIX SQM) en imbibición. El diseño experimental y modelo estadístico utilizado, fue completamente al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones cada uno. Los tratamientos se conformaron por cinco concentraciones diferentes de micronutrientes de un fertilizante comercial denominado Micro MIX SQM, (Tratamiento 1= 0.77 g L⁻¹), (Tratamiento 2=1.5 g L⁻¹), (Tratamiento 3=2.3 g L⁻¹), (Tratamiento 4= 3.1 g L⁻¹) y (Tratamiento 5=3.85 g L⁻¹), con 4 repeticiones y cada repetición con 25 semillas de la parte central de la misma mazorca. El análisis estadístico (ANOVA $p \leq 0.05$) y la comparación de medias de Duncan con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$), para todas las variables evaluadas. Los resultados detectaron diferencias estadísticas significativas en peso seco de plántula y peso seco de radícula en donde las concentraciones se observó una tendencia en la que a medida que aumenta la concentración también aumentó el resultado de dichas variables, en el resto de las variables no hubo significancia estadística. La acumulación de peso seco de plántula y longitud de radícula es promovida por la absorción de micronutrientes de las semillas en imbibición. Por lo tanto, el uso de microelementos completos en el proceso de imbibición de las semillas es capaz de mantener un buen proceso de germinación y mejora la calidad y el desarrollo de raíces de las plántulas de maíz.

Palabras claves: germinación, microelementos, Imbibición, plántulas.

1.INTRODUCCIÓN

El maíz se ha vuelto fundamental a nivel global debido a que fue el primer cereal sometido rápidamente a importantes transformaciones tecnológicas en su forma de cultivo, esto ha tenido como consecuencia las variedades de híbridos que hoy conocemos actualmente. El maíz es reconocido como uno de los cultivos más antiguos, ha sido considerado de manera económicamente importante por sus diferentes propuestas de consumo en las cuales podemos englobar su uso para la alimentación en lo humanos, así como para la alimentación animal y una gran fuente de productos industriales (Golik et al, 2018).

En México se ha tomado como identidad el cultivo de maíz por ser considerado como nativo, gracias a la diversidad genética cultivada en México podemos apreciar en cuanto a formas y tamaños de la mazorca al igual que en la variedad de texturas y colores. Producción de maíz amarillo abarca un 24% de las necesidades nacionales, la cual es empleada para la alimentación animal y productos industriales. Por otra parte el maíz blanco se estima que aproximadamente el 54.5% se producen en cuatro estados: Sinaloa, Jalisco, México y Michoacán (SIAP, 2019).

Para la producción de este cultivo hay que destacar que existe un orden de procesos fisiológicos el cual la semilla debe afrontar, para dar inicio al crecimiento y desarrollo de plántula. Destacar algunos procesos involucrados dentro de la germinación y desarrollo de la planta, se presenta la imbibición que destaca la absorción de agua provocando una hidratación de la semilla misma, promoviendo la activación de una serie de procesos metabólicos que son esenciales para las siguientes etapas en la germinación. A consecuencia de la imbibición existe un incremento de la actividad metabólica induciendo el desarrollo radicular a través de las cubiertas seminales. Estos procesos son influenciados por factores abióticos como la humedad, temperatura e iluminación, los cuales se pueden y deben presentar un control para que exista un buen porcentaje de germinación (Villamil & García, 1993).

Para el óptimo desarrollo de las plantas los micronutrientes cumplen con funciones específicas muy importantes dentro de los procesos fisiológicos los cuales son totalmente necesarios cumpliendo con requerimientos en las plantas. El hierro, zinc y cobre están involucradas durante todo el proceso de crecimiento, cumpliendo específicamente con biosíntesis de clorofila, promoviendo la participación en los sistemas reversibles de oxidorreducción, así mismo promoviendo el transporte de electrones entre el fotosistema II y fotosistema I, también interviene en el metabolismo de carbohidratos, en el metabolismo de auxinas y síntesis de proteínas (Castillo, 2012).

Por lo antes mencionado, en el presente trabajo se evaluó la calidad fisiológica de las semillas y plántulas de maíz sometidas a diferentes concentraciones de micronutrientes bajo imbibición.

2.OBJETIVO GENERAL

Comparar la respuesta fisiológica y calidad de plántulas de Maíz *Zea mays*, bajo diferentes concentraciones de micronutrientes (Micro MIX SQM) en imbibición.

2.1 Objetivos específicos

Determinar la concentración adecuada de micronutrientes (Micro MIX SQM) para promover una mejor calidad fisiológica y de plántulas de maíz.

3. HIPÓTESIS

Al menos una de las concentraciones del combo de micronutrientes (Micro MIX SQM) promoverá una mejor respuesta fisiológica y calidad de plántulas de maíz.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Lugar de origen

El continente americano ha sido considerado como el centro de origen y diversificación del maíz, aunque existe mucha historia por detrás, sin embargo los autores señalan que el maíz que hoy en día conocemos se debe a una práctica de domesticación que fue llevada a cabo en el sur de México hace nueve mil años (Hernández, 2009).

Entrando al tema de su origen se menciona que la mayoría de la información arqueológica recabada data sobre el sureste de México y centro américa, aunque no hay un lugar exacto donde podamos recalcar, pero se toma en cuenta la antigüedad con la que se lleva cultivando y en los lugares donde más se cultiva nativamente. Introduciéndonos un poco a la historia antes se conocía el teocintle *Zea mays ssp parviglumis* como un progenitor del maíz. Además, “múltiples estudios de comparación morfológica, citogenética y genética han demostrado que el teocintle del Balsas es el ancestro directo del maíz, por ello se le ha clasificado como una subespecie del género *Zea*” (McClintock, 1929; Beadle, 1939; Doebley et al., 1997 citado con Vielle et al., 2014).

4.2 Taxonomía

Reino: Plantae

Sub Reino: Tracheobinta

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Sub Clase: Commelinidae

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Sub Familia: Panicoidae

Tribu: Maydeae

Nombre científico: *Zea mays*

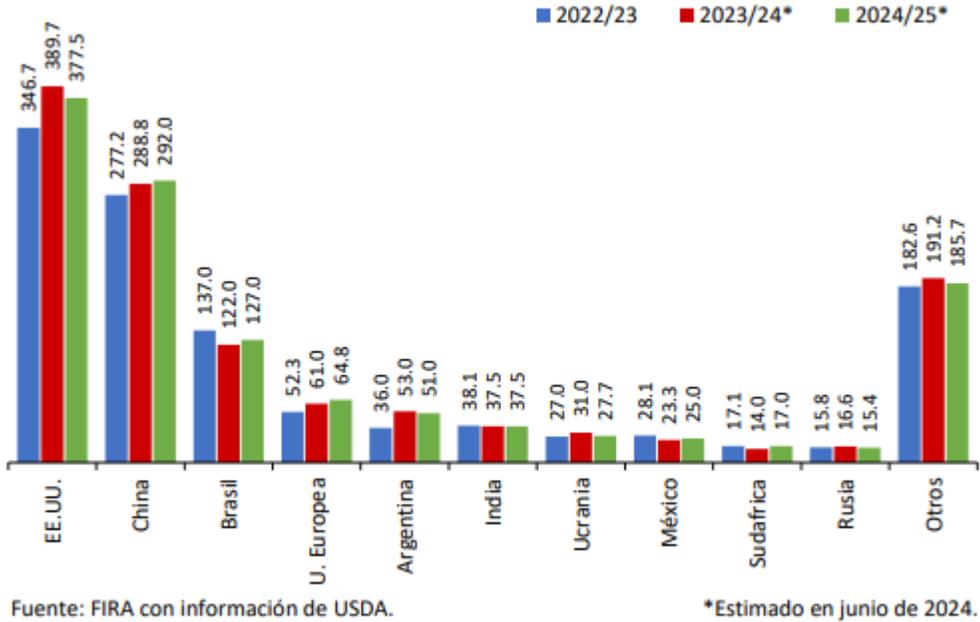
4.3 Importancias generales

4.3.1 Importancia económica

Para el ciclo 23/24 el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) estimó que la producción mundial de maíz se ubique en un máximo histórico de 1,228.1 millones de toneladas (mdt). Mencionan que la superficie estimada cosechada mundial sería de 203.2 millones de hectáreas, y un rendimiento récord de 6.04 toneladas por hectárea (FIRA, 2024).

La producción mundial de maíz esta evaluada de la siguiente manera con los datos recabados de Fira. El 75% de la producción mundial de maíz durante el ciclo comercial 2023/24 se concentró en los cinco principales productores, de acuerdo con información del USDA: Estados Unidos (31.7%), China (23.5%), Brasil (9.9%), Unión Europea (5.0%) y Argentina (4.3%). México ocupó la octava posición mundial, con una participación de 1.9% de la producción total. (FIRA, 2024).

Figura 1.- Principales países productores de maíz 2023/24-2024/25.



Tomada de *Principales países productores de maíz 2022/23 – 2024/25* [Fotografía], por FIRA 2024, PANORAMA AGROALIMENTARIO (<https://www.fira.gob.mx>)

Se ha considerado que el maíz es nativo de el continente americano, en México la mayoría de los estados son productores de maíz, no como potencia, pero podemos asegurar que se puede desarrollar en la mayoría y que esta practica sigue llevada a cabo de manera tradicional o convencional, debemos destacar o hablar específicamente de los estados altamente especializados en maíz y que pueden producir cualquier otro cultivo importante sin verse afectado la producción del mismo, cabe recalcar que Sinaloa, Jalisco y Nayarit son comprendidos como estados especializados en la producción del maíz, que bien podemos comprender que se

vuelve una zona de alta producción, se habla que estos tres estados son autosuficientes para mantener el consumo nacional y de misma manera estar generando un producto de exportación (Vázquez et al., 2023).

4.3.2 Importancia social y cultural

El cultivo de maíz, es uno de los mas importantes a nivel mundial es una fuente de identificación social ya que esta presente en muchos aspectos cotidianos, esta dentro de la base de la alimentacion mundial y eso potencializa su influencia. Su consumo se da de diversas formas, puede ser de manera comestible para el ser humano, es empleado en la alimentacion animal como forraje o grano peletizado, lo encontramos como fuente de energia en el etanol y estos son solo ejemplos sencillos pero no menos importantes. El maíz no es considerado solo un alimento, en México es una identidad o bien un patrimonio biocultural para los pueblos y familias campesinas, se habla que el maíz se ha producido por muchas decadas de la manera tradicional tanto ha sido arraigada a la cultura que se ha sembrado de la misma manera cerca de 350 generaciones, todo esto ha impactado y atribuido a México. El consumo promedio de maíz en México por persona es de 196.4 kg, es muy bien conocido que el maíz no solo en mexico si no en el mundo es la base de la alimentación (Morales, 2020).

4.3.3 Importancia nutricional

La diversidad de usos que tiene el maiz es muy amplia, por lo cual es importante conocer como esta compuesto quimicamente y de que manera atribuye nutricionalmente. El principal componente químico del grano del maiz es el almidon el cual representa un 70% del peso de dicho grano, seguido del almidon se encuentran las proteinas que estas influyen en un 8-10% del peso del grano la cual se encuentra en la parte del endospermo (FAO, 1993).

Figura 2.- Composición química y valor nutritivo del maíz.

Componente químico	Pericarpio	Endospermo	Germen
Proteínas	3,7	8,0	18,4
Extracto etéreo	1,0	0,8	33,2
Fibra cruda	86,7	2,7	8,8
Cenizas	0,8	0,3	10,5
Almidón	7,3	87,6	8,3
Azúcar	0,34	0,62	10,8

Nota. Composición química de las partes principales de los granos de maíz (%). Tomada de *El maíz en la nutrición humana* [Fotografía], por FAO, 1993, FAO (<https://www.fao.org>)

4.4 Problemáticas asociadas

4.4.1 Déficit de agua

Existen muchas condiciones adversas o problemáticas a enfrentar cuando se inicia el ciclo del cultivo, en este caso la germinación hasta el desarrollo de plántula hay varios factores a los cuales tenemos que darle importancia. La entrada de agua a las semillas es indispensable para romper el estado de dormancia que presentan, este factor se da a través de la capilaridad por las cubiertas seminales. Esto va a influir negativamente los porcentajes de germinación si existe un déficit o exceso de agua, cuando existe un exceso de agua en la germinación suele ser desfavorable dificultando la llegada de oxígeno al embrión. En caso contrario cuando hay una falta de agua (déficit de agua) la velocidad de germinación es menor y suelen ser más susceptibles por hongos (Villamil & Garcia,1993).

4.4.2 Salinidad

Los problemas de salinidad están presentes en todo el mundo, los suelos salinos están presentes en un 60%, los datos revelan que las hectáreas afectadas se aproximan a 1 100 millones. Hay diferentes causas que han estado desarrollando los problemas de salinidad en los suelos, muchas de ellas tienen partes de procesos naturales como la erosión, sales que son arrastradas lateralmente por el agua en movimiento, cabe mencionar que el agua subterránea también influye en las aportaciones de sales de manera en que fluye el agua por capilaridad, moviendo sales que la misma agua presenta en las profundidades. Podemos mencionar que los problemas de salinidad han sido inducidos por el ser humano, en la mayoría de los casos se puede evitar haciendo un buen manejo y conservación de los suelos (Omuto et al., 2021).

La salinidad en los suelos acarrea problemas severos con el desarrollo de las plantas, ha sido una condición en la agricultura desde sus inicios hasta el día de hoy. La salinidad en los suelos es capaz de causar diferentes estreses en el crecimiento de las plantas, esto a partir de los efectos que causan, bien se puede mencionar que la inducción de estrés hídrico se da por la presencia excesiva de solutos en el suelo disminuyendo el potencial osmótico, ejemplificando este efecto hay una disminución de absorción de agua por las raíces, lo que repercute una situación de estrés hídrico. Podemos incluir dentro de la problemática, los efectos causados por los iones tóxicos disueltos en el agua de riego, siendo más específicos el sodio (Na), el cloruro (Cl) y el sulfato (SO₄), cuando llega a haber una carga excesiva de estos elementos considerados como micronutrientes se puede presentar una inhibición de la actividad enzimática e inhibición en la fotosíntesis (Piedra & González, 2013).

4.6- Procesos de germinación.

4.6.1 Germinación.

Durante la germinación, la semilla sufre diferentes procesos fisiológicos impulsado por factores internos y externos, que son fundamentales para el ciclo de vida de las plantas. La germinación inicia con la absorción de agua por parte de la semilla, hasta la transformación del embrión en una plántula que pueda vivir por sí sola. Bien la semilla depende de sí misma para llevar a cabo una buena germinación pero también depende de condiciones externas propiamente relacionadas con el medio ambiente, principalmente como la disponibilidad de agua, la influencia de temperatura y la presencia o ausencia de luz, podemos mencionar que la germinación depende propiamente de la misma semilla con respecto a la viabilidad del embrión, la cantidad y calidad de los tejidos de reserva (Melgarejo et al., 2010).

4.6.2 Imbibición

El proceso de imbibición consta de la absorción de agua por parte de la semilla seca independientemente si la semilla es viable o no, si la semilla posee latencia o no, es un proceso fisiológico que se da de manera natural o por inercia, dicha absorción de agua por parte de la semilla está directamente persuadida por la presencia de la testa y la permeabilidad que esta exponga, a pocos instantes de haber iniciado la imbibición la semilla viable reanuda sus actividades metabólicas asumiendo que cuenta con las enzimas y estructura necesaria (Natera et al., 2008).

El proceso de germinación culmina cuando se presenta la emergencia radicular, este proceso lo lleva a cabo el eje embrionario o la radícula principalmente penetran los tejidos envolventes. El fin de la germinación se distingue por la emergencia e inicia con el crecimiento y desarrollo de una plántula la cual puede valerse por sí sola, dicho

proceso está vinculado y dirigido por la elongación celular en los tejidos y mismo que en el sistema radicular (Matilla, 2008).

4.7 Elementos esenciales

Las plantas indispensablemente necesitan de recursos naturales como lo es la luz solar y agua, así como también requieren de 17 elementos esenciales en la cual se comprende el O, H y C, el resto se incorpora los nutrientes minerales los cuales según la cantidad absorbida por la planta se consideran como macronutrientes entre ellos nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg). Dentro los micronutrientes destacan Boro (B), zinc (Zn), cloro (Cl), cobre (Cu), con estos elementos las plantas son aptas de sintetizar compuestos que necesitan para tener un desarrollo óptimo (Rodríguez & Flórez , 2004).

El nitrógeno (N) siendo de los elementos requeridos en mayor cantidad cumple con funciones específicas dentro del desarrollo, el nitrógeno es parte fundamental o motor de crecimiento de la planta, considerado como parte esencial de las proteínas que generalmente se involucran en la totalidad de los principales procesos del desarrollo y buen rendimiento.

El fósforo (P) es clave en el metabolismo energético de la planta, siendo esencial para la fotosíntesis como para otros procesos químicos-fisiológicos como la respiración y síntesis de almidón, al mismo tiempo influye en la diferenciación de las células y desarrollo de tejidos (Land and Water, 2002).

Hay que mencionar que el potasio (K) juega un papel importante dentro del desarrollo de la planta, actúa en la activación de enzimas, participa también en la síntesis de proteínas y carbohidratos, es importante mencionar que influye en las relaciones hídricas, así como también influye en los sistemas de defensa de la planta aumentando la tolerancia a la sequía, heladas y salinidad, también plantas que han llevado una buena nutrición con K son menos susceptibles a enfermedades.

Así mismo dentro de los macroelementos cabe destacar que existen los macroelementos secundarios dentro de ellos se encuentra el magnesio (Mg). Cumple

con diferentes funciones dentro de la planta siendo parte fundamental de molécula de clorofila, siendo necesario para la activación de enzimas, interviene en la síntesis de proteínas y la síntesis de ATP (INIFAP, 2005).

Los micro elementos son parte esencial en la nutrición para que una planta tenga un desarrollo adecuado presentando óptimas condiciones, estos los podemos catalogar en dos grupos;

Catiónicos: cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), níquel (Ni), zinc (Zn).

Aniónicos: boro (B), cloro (Cl), molibdeno (Mo).

Cada microelemento cumple con una función específica diferente siendo necesarios en pequeñas o grandes proporciones y no pueden ser sustituidos por algún otro elemento, cabe mencionar que sus rangos óptimos es muy pequeño, por lo cual debemos manejar las dosis correctas para evitar cualquier toxicidad en la planta que pueda ocasionar pérdidas o repercusiones en el crecimiento y desarrollo (Land and Water, 2002).

Elemento	Símbolo químico	Forma disponible para la planta	Concentración en tejido seco (%)
Macroelementos:			
Carbono	C	CO ₂	45
Oxígeno	O	O ₂ , H ₂ O	45
Hidrógeno	H	H ₂ O	6
Nitrógeno	N	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	1,5
Potasio	K	K ⁺	1,0
Calcio	Ca	Ca ²⁺	0,5
Magnesio	Mg	Mg ²⁺	0,2
Fósforo	P	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻	0,2
Azufre	S	SO ₄ ²⁻	0,1
Microelementos:			
Cloro	Cl	Cl ⁻	0,01
Hierro	Fe	Fe ³⁺ , Fe ²⁺	0,010
Boro	B	H ₃ BO ₃ ⁻	0,002
Manganeso	Mn	Mn ²⁺	0,005
Zinc	Zn	Zn ²⁺	0,002
Cobre	Cu	Cu ⁺ , Cu ²⁺	0,0006
Níquel	Ni	Ni ²⁺	—
Molibdeno	Mo	MoO ₄ ²⁻	0,00001

Figura 3 Elementos esenciales para la mayoría de las plantas superiores y sus concentraciones internas consideradas como adecuadas.

Nota. Tomado de Elementos esenciales para la mayoría de las plantas superiores y sus concentraciones internas consideradas como adecuadas [Fotografía] Castillo, 2012, <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/12469>.

Consideramos que el zinc (Zn) es un elemento nutrimental requerido en pocas cantidades pero siendo no menos importante ya que presenta funciones, una de ellas es que actúa como constituyente de enzimas que catalizan la formación de ácidos carbónicos, dichas enzimas las encontramos en los cloroplastos como en citoplasma (Rodríguez & Flórez, 2004).

El boro (B) que se encuentran en las plantas comprenden alrededor del 95% en la pared celular llevando a cabo funciones específicas una de ellas es la estimulación del alargamiento del tubo polínico y germinación, además se involucra en procesos como la división y crecimiento celular tanto como la regulación hormonal.

Es importante reconocer dentro del desarrollo de las plantas, la labor que lleva a cabo el hierro (Fe) ya que cumple con la formación de complejos, interviene como transportador de electrones en diferentes procesos metabólicos, también es cierto que desempeña un papel importante en la biosíntesis de clorofila (Castillo, 2012).

Cabe mencionar que dentro de la nutrición es de importancia las funciones específicas que cumple el cobre (Cu) dentro de la planta, ya que forma parte de numerosas enzimas las cuales promueven la transferencia de electrones en el fotosistema I, involucradas en los procesos de biosíntesis de lignina y alcaloides, por su parte el cobre incentiva la inhibición de esporas y desarrollo de hongos.

Por su parte el manganeso (Mn) es soluble a pHs menores a 7 (suelos ácidos) y su solubilidad disminuye en suelos alcalinos. Cumple con importantes funciones específicas como en el proceso fotosintético, también se involucra en fotólisis de agua, su presencia favorece al fotosistema II.

El molibdeno (Mo) es considerado como un constituyente esencial de enzimas, específicamente con nitrógenoasa y el nitrato reductasa las cuales están relacionadas directamente con la fijación biológica de nitrógeno y con la reducción del nitrato de amonio (Rodríguez & Flórez, 2004).

4.8 Sustratos

Con respecto a los sustratos, este es el material sólido diverso al suelo el cual puede o no estar modificado por el humano, podemos comprender que los sustratos los encontraremos de forma natural o sintética, en forma mineral u orgánica, colocándose en un contenedor adecuado ya sea de manera pura o mezclada, nos permitirá el anclaje de las plantas mediante su sistema radicular. Los sustratos adecuados que se usan para el óptimo desarrollo de las plantas deben de cumplir con diferentes características, las cuales se consideran como químicas, físicas, biológicas, así mismo cabe mencionar que mantienen diferentes propiedades las cuales son importantes mencionar, un ejemplo de ello es; que posea las propiedades físicas,

químicas y biológicas adecuadas para el crecimiento, evitar que causen daños al ambiente, libres de patógenos, buena porosidad, entre otros. (Sáez, 1999).

Como se indicó los sustratos provienen de origen, diferentes materiales y podemos clasificarlos como orgánicos e inorgánicos.

Los orgánicos proceden de manera vegetal, impactando en la absorción de y fijación de nutrientes, caracterizando la formación de microporos induciendo la retención de humedad y óptima oxigenación. Podemos enfatizar los sustratos más comunes o accesibles:

- Peat moss
- Fibra de coco
- Aserrín compostado
- Bagazo (café o cebada)
- Cascarrilla de arroz (Crespo et al., 2013).

Los sustratos inorgánicos o de origen mineral, se pueden clasificar de manera natural, transformados y tratados. Los que provienen de origen natural básicamente se derivan de rocas o minerales, en el caso de las rocas normalmente son volcánicas, puede ser; tezontle, piedra pómez, arena, grava. Distinto de los que emanan de tratados industrialmente o materiales transformados, se obtienen a través de tratamientos físicos y en ciertas ocasiones químicos, el cual tiene como resultado modificar las características de los materiales base. Los sustratos que se pueden generar a través de estos procesos son; la perlita, vermiculita, arcilla expandida y lana de roca (Crespo et al., 2013).

Es importante enfatizar que a la hora de usar los sustratos cumplan con las propiedades adecuadas buscando un buen desarrollo en las plantas, analizando sus características físicas, químicas y biológicas, se buscan específicamente estas propiedades de un sustrato asegurando un buen desarrollo del cultivo cumpliendo el ciclo completo. Las principales funciones que nos aportan es el soporte de la planta en base al buen anclaje por parte del sistema radicular, proveer suficiente agua, oxígeno y la disponibilidad de nutrientes a la raíz. Lo que hace diferenciar de buenos sustratos

es la granulometría, el espacio poroso total, la capacidad de aireación, la capacidad de retención de agua, densidad aparente y densidad real (Fertilab, 2021).

El uso de sustratos en la agricultura ha tenido un impacto creciente ya que es favorable para el desarrollo óptimo y eficiente, por lo cual podemos mencionar que desempeña un papel importante en las pruebas de germinación. Los sustratos han tenido modificaciones buscando obtener y asegurar mejores índices germinativos y promoviendo un buen desarrollo de plántulas con mayor vigor impulsando una mejor adaptación al terreno de trasplante, sufren menor estrés y a consecuencia presentan un mejor desarrollo en su ciclo productivo. Es importante mencionar que la elección de un buen sustrato termina siendo crucial por las características que aporta para las condiciones apropiadas al cultivo (Salinas et al., 2021).

El sustrato presenta varias funciones dentro de la etapa de germinación y desarrollo de las plántulas, no solo actuando como un soporte físico, si no que también proporciona una correcta disposición de los nutrientes sin dejar de un lado que se obtiene de la mano de un buen manejo acorde a la tasa de transpiración del cultivo y la absorción mineral, debemos añadir una buena dosificación de agua adecuada en conjunto a la capacidad de retención del mismo sustrato (Martínez & Roca, 2011).

5. MATERIAES Y METODOS

5.1 Localización del área de estudio

El presente trabajo de investigación se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en el laboratorio de Ensayo de Semillas, ubicado en Buenavista, Saltillo, Coahuila de Zaragoza. Se encuentra geográficamente en las coordenadas 25 ° 21' 18'' latitud norte, 101° 02' 10'' longitud oeste, a una altitud de 1812 msnm (Google Earth, 2021)

5.2 Material genético

Para este experimento se emplearon semillas de maíz (*Zea mays*) tipo criollo proveniente del estado de Chiapas, de una sola mazorca y de la parte central, sin tomar granos de la punta ni de la base, a fin de uniformizar los tratamientos.

5.3 Preparación de las semillas

Este trabajo de investigación se llevó a cabo el día 6 de febrero del 2024. Se usaron 600 semillas de maíz *Zea mays*, dichas semillas fueron separadas en seis tratamientos de 100 semillas cada uno, las cuales están conformadas por 4 repeticiones de 25 semillas. El producto utilizado fue, que consiste en una fórmula de micro elementos en dosis al 0.77, 1.5, 2.3, 3.1 y 3.85 g/l. Las semillas se colocaron dentro de las cajas Petri las cuales contenían la solución y se dejaron imbibir durante 24 horas.

5.4 Establecimiento de los tratamientos

Posteriormente al haberse cumplido las 24 horas de la imbibición, preparamos las charolas para germinar de 200 cavidades así mismo como el sustrato que en este caso fue Peat Moss y perlita en una proporción 70/30. Con respecto a esta actividad, se emplearon charolas de unicel de 200 cavidades, las cuales usamos una charola para dos tratamientos previamente etiquetados cada tratamiento para tener un orden y sea fácil identificar.

5.5 Desarrollo de plántulas

Las charolas fueron puestas en la cámara de germinación, una vez que empezó el proceso de germinación fueron monitoreadas al 3er día principalmente para tener un control de humedad en el sustrato en las que fueron sembradas. El primer conteo de germinación se llevó a cabo el 4to día y los primeros datos a evaluar se obtuvieron al 5to día llevando a cabo la primera medición de este experimento y así progresivamente hasta el día 14 de vida de la plántula.

5.6 Variables evaluadas

Una vez obteniendo el desarrollo y crecimiento adecuado de la plántula la cual se determinó a los 14 días posteriores de la siembra, para recabar los datos de las variables a continuación: Porcentaje de germinación, longitud de plúmula, longitud de radícula, peso fresco y peso seco.

5.7 Semillas sin germinar

El conteo de germinación lo llevamos a cabo a los cinco días posteriores de la siembra en las charolas, consideramos dicha variable para destacar que resultados nos aportaría en la germinación de las semillas, se contaron el total de semillas no germinadas por cada repetición de cada tratamiento incluyendo el testigo.

5.8 Plántulas anormales

Para obtener esta variable se decidió hacer el conteo de plántulas anormales al día siete de haberlas puesto en proceso de germinación. Consideramos como plántulas anormales aquellas que tuvieron una germinación lenta, que tienen la plúmula en condiciones no aptas para su desarrollo normal, tallos subdesarrollados o deformes, raíces cortas o con crecimiento irregular y las que tuvieron una emergencia incompleta.

5.9 Plántulas normales

En cuestión de las plántulas normales se decidió llevar el conteo a los 14 días posteriores de haber establecido el experimento en el cual ya era el último día de evaluación. Esta variable es una de las más importantes en dicho experimento para evaluar como influyó el producto en el desarrollo de las plántulas.

5.10 Peso fresco de la plántula

Otra variable importante considerada fue determinar el peso seco de la plántula. El cual se hizo separando las repeticiones de cada tratamiento, tomando el peso de cada una con la ayuda de una balanza analítica de precisión, posteriormente obteniendo el peso total se dividió entre el número total de plantas por cada repetición. Dicho dato fue tomado a los 14 días posteriores de haber establecido el experimento.

5.11 Peso seco de la plántula

De igual manera para obtener este dato, se llevó a cabo con la ayuda de una estufa de secado. Se dividió cada repetición de los tratamientos y se colocaron dentro de la estufa en por un lapso de 120 horas hasta llegar el punto óptimo de deshidratación de cada muestra. El registro de este dato se hizo a los 14 días posteriores de la siembra.

5.12 Longitud de plúmula

Las mediciones se empezaron a hacer al 6to día de la siembra, la última medición se registró a los 14 días posteriores en el cual se sacó el promedio de cada repetición de cada tratamiento. Esto se realizó con el apoyo de una regla convencional graduada por centímetros.

5.13 Longitud de radícula

Para tomar los datos de la longitud de radícula fue empleada una regla convencional graduada en centímetros, de igual manera se tomó la medida de cada una plántula por repetición y así obtener un promedio. La medida se obtuvo midiendo desde el inicio del tallo hasta la raíz más larga, con el fin de comparar que efectos tuvo el producto evaluado.

5.14 Diseño experimental

Para el presente trabajo de investigación se utilizó el diseño experimental y modelo estadístico como completamente al azar, con cinco tratamientos y cuatro repeticiones cada uno, específicamente con 25 semillas en cada repetición. Para el análisis de datos (ANOVA $p \leq 0.05$) se utilizó el sistema estadístico INFOSTAT 2020, y para la comparación de medias se requirió la prueba de Duncan con un nivel de significancia ($Duncan \leq 0.05$) para todas las variables evaluadas.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Obtenido los resultados del análisis de varianza para las variables porcentaje de germinación (%Ger), longitud de plúmula (Long Plum), longitud de radícula (Long Rad), peso fresco de plántula (PF plántula), peso seco (PS plántula), porcentaje de plántula normal (%Plan Normal) y porcentaje de plántula anormal (% Porc Plan Anormal), se muestran en los cuadros 1 y 2.

Cuadro 1. Cuadrados medios para las variables de germinación en semillas de maíz *Zea mays*.

F.V	GL	% GER		Long Plum (cm)		Long Rad (cm)		% SSin Germ	
Trat	4	30.8	ns	0.2	ns	3.28	*	30.8	ns
Error	15	33.33		0.16		1.1		33.33	
Total	19								
C.V%		6.26		3.3		8.51		74.02	

F.V Fuente de variación; GL Grados de libertad; C.V. Coeficiente de variación; ns=no significativo; *=significativo al 0.05; **=significativo al 0.01

Cuadro 2. Cuadrados medios para las variables de crecimiento en plántulas de maíz *Zea mays*.

F.V	GL	PF Plantula		PS Plantula (gr)		% Plan Normal		% Plan Anormal	
Trat	4	1.10E-08	ns	2.20E-06	*	28	ns	28	ns
Error	15	9.1E-09		6.70E-07		36.01		36.01	
Total	19								
C.V%		4.97		4.68		6.55		71.85	

F.V Fuente de variación; GL Grados de libertad; C.V. Coeficiente de variación; ns=no significativo; *=significativo al 0.05; **=significativo al 0.01

6.1 Porcentaje de germinación

En el análisis de varianza ANOVA ($p \leq 0.05$) y prueba de medias de la variable de germinación, no mostró diferencia estadística significativa tal como se observa en la figura 4, podemos destacar que hubo una tendencia similar en porcentaje de germinación de las semillas de maíz, cuando se usaron las concentraciones de 0.77 g L^{-1} y 3.1 g L^{-1} de Micro Mix SQM que destacaron, pero similares al control.

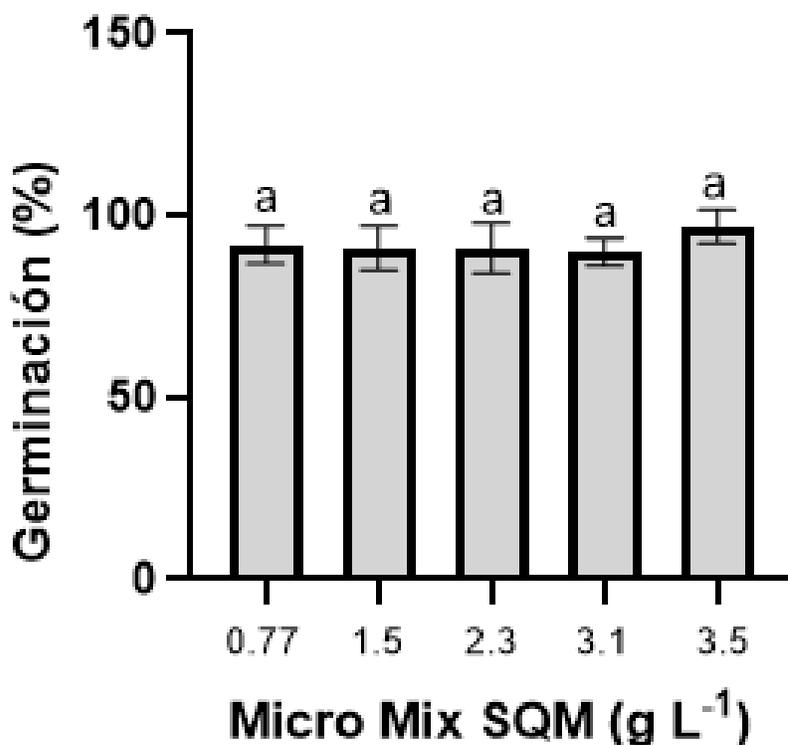


Figura 4.- Análisis de varianza (ANOVA $p \leq 0.05$) y comparación de medias de Duncan ≤ 0.05 del porcentaje de germinación de semillas de maíz, bajo cinco tratamientos de micronutrientes (Micro Mix SQM) en imbibición.

6.2 Plántulas normales

El porcentaje de plántulas normales según el análisis de varianza aplicado sobre dicha variable, deduce que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos presentados en la figura 5. Todas las concentraciones evaluadas presentaron un porcentaje de plántulas normales muy similares, aunque destacó la dosis de 3.85 g L⁻¹ ya que fue la que obtuvo valores ligeramente sobresalientes al resto.

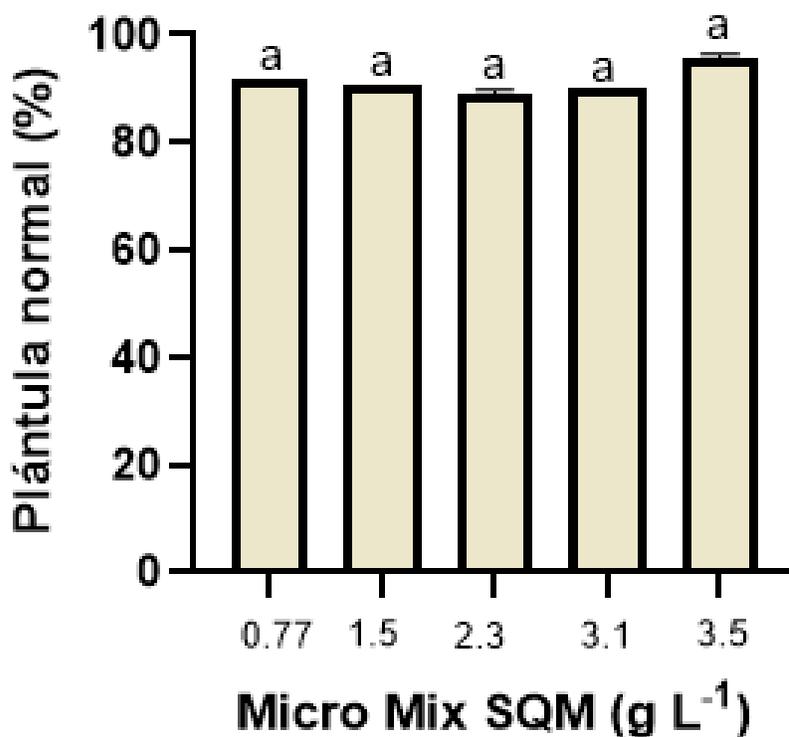


Figura 5.- Análisis de varianza (ANOVA $p \leq 0.05$) y comparación de medias de Duncan ≤ 0.05 de plántulas normales de semillas de maíz, bajo cinco tratamientos de micronutrientes (Micro Mix SQM) en imbibición.

6.3 Plántulas anormales

En el análisis de varianza de la variable plántulas anormales, podemos interpretar que, las diferencias registradas en los tratamientos presentados en la figura 6 no son estadísticamente significativas, por lo que resultan similares, aunque la dosis más alta aplicada es la que presenta la menor cantidad de plántulas anormales. Con esto podemos afirmar que las diferentes concentraciones de Micro Mix SQM probadas no afecta el porcentaje de plántulas anormales.

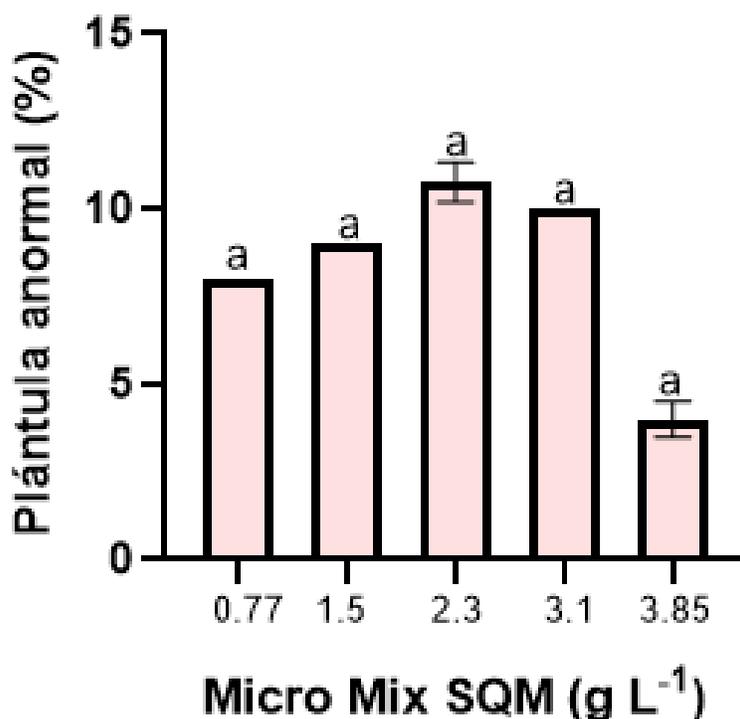


Figura 6.- Análisis de varianza (ANOVA $p \leq 0.05$) y comparación de medias de Duncan ≤ 0.05 de plántulas anormales de semillas de maíz, bajo cinco tratamientos de micronutrientes (Micro Mix SQM) en imbibición.

6.4 Longitud de plúmula

Según el análisis de varianza ANOVA $p \leq 0.05$ y la comparación de medias de Duncan utilizadas para la variable de longitud de plúmula, muestra que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes concentraciones evaluadas, por lo que todos los tratamientos muestran valores muy similares comprendido entre 10-12 cm, con una tendencia de incremento conforme incrementa la dosis.

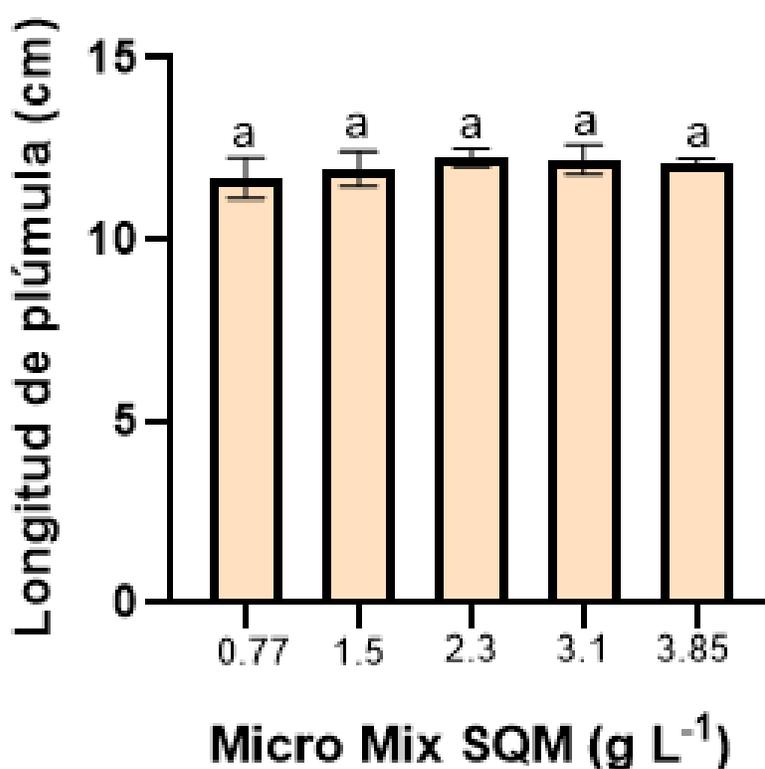


Figura 7.- Análisis de varianza (ANOVA $p \leq 0.05$) y comparación de medias de Duncan ≤ 0.05 de longitud de plúmula de semillas de maíz, bajo cinco tratamientos de micronutrientes (Micro Mix SQM) en imbibición.

6.5 Longitud de radícula

De acuerdo con el análisis de varianza realizado en la variable longitud de radícula, podemos detectar que presenta una diferencia significativa. En esta variable se observa un mayor efecto positivo sobre la longitud de radícula con respecto a las dosis empleadas de 3.85 g L⁻¹ y 3.1 g L⁻¹ de Micro Mix SQM., a diferencia de los tratamientos 0.77 g L⁻¹, 1.5 g L⁻¹ y 2.3 g L⁻¹ los cuales mostraron valores significativamente menores sin diferencias importantes entre ellos.

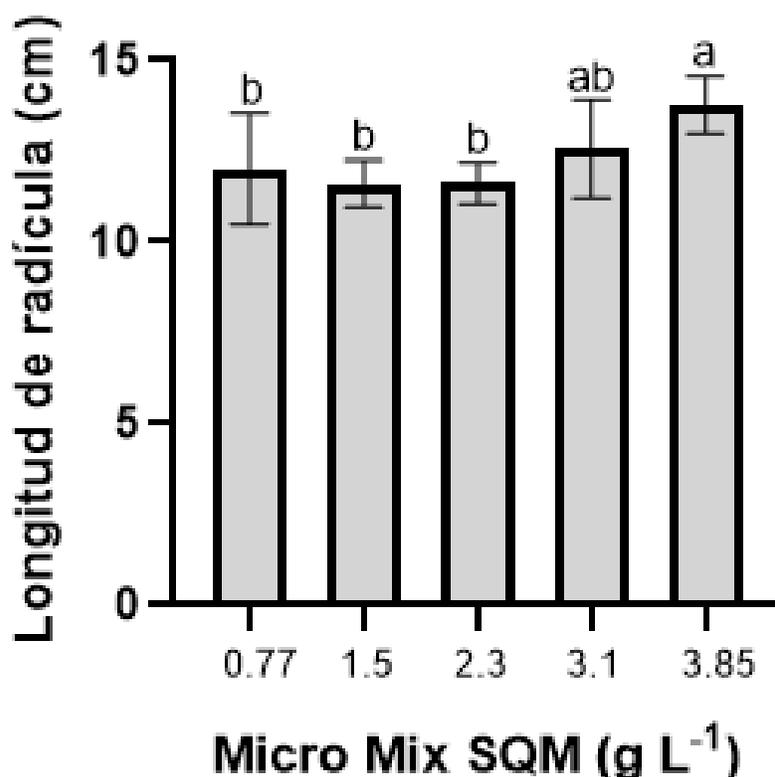


Figura 8.- Análisis de varianza (ANOVA $p \leq 0.05$) y comparación de medias de Duncan ≤ 0.05 de longitud de radícula de semillas de maíz, bajo cinco tratamientos de micronutrientes (Micro Mix SQM) en imbibición.

6.6 Peso fresco de plántula

Los resultados obtenidos con base al análisis de varianza ANOVA $p \leq 0.05$ y la comparación de medias de Duncan ≤ 0.05 en la variable evaluada de peso fresco de plántula, podemos mencionar que los resultados exhibieron que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos aplicados de Micro Mix SQM, no obstante, la dosis más alta de Micro Mix SQM, mostro un ligero incremento respecto de los demás tratamientos.

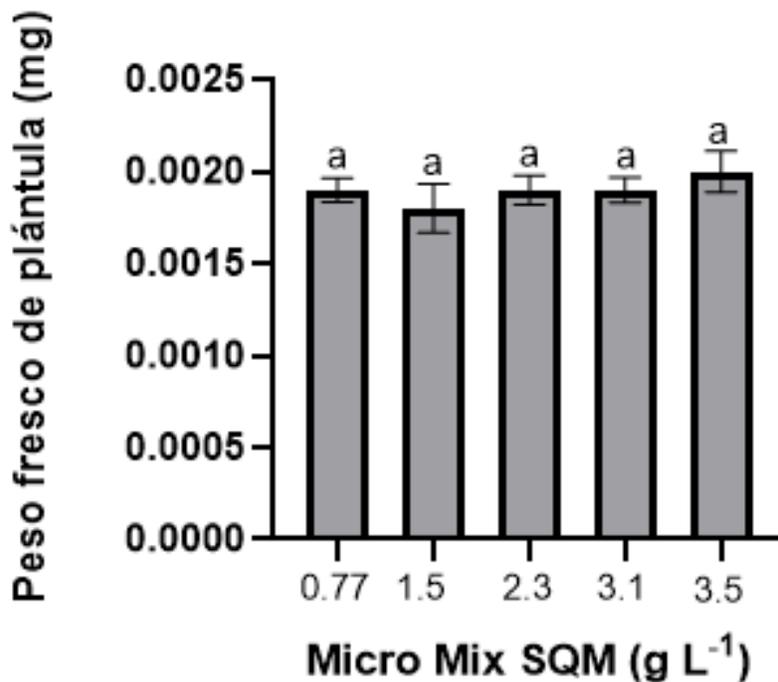


Figura 9.- Análisis de varianza (ANOVA $p \leq 0.05$) y comparación de medias de Duncan ≤ 0.05 de peso fresco de plántulas de semillas de maíz, bajo cinco tratamientos de micronutrientes (Micro Mix SQM) en imbibición.

6.7 Peso seco de plántula

De acuerdo con los resultados mostrados en la figura 10, obtenidos del análisis de varianza ANOVA y la comparación de medias Duncan en la variable de peso seco de la plántula, podemos mencionar que existe una respuesta estadística significativa. En donde a excepción de la dosis de 0.77 g L⁻¹ el resto mostró una respuesta similar.

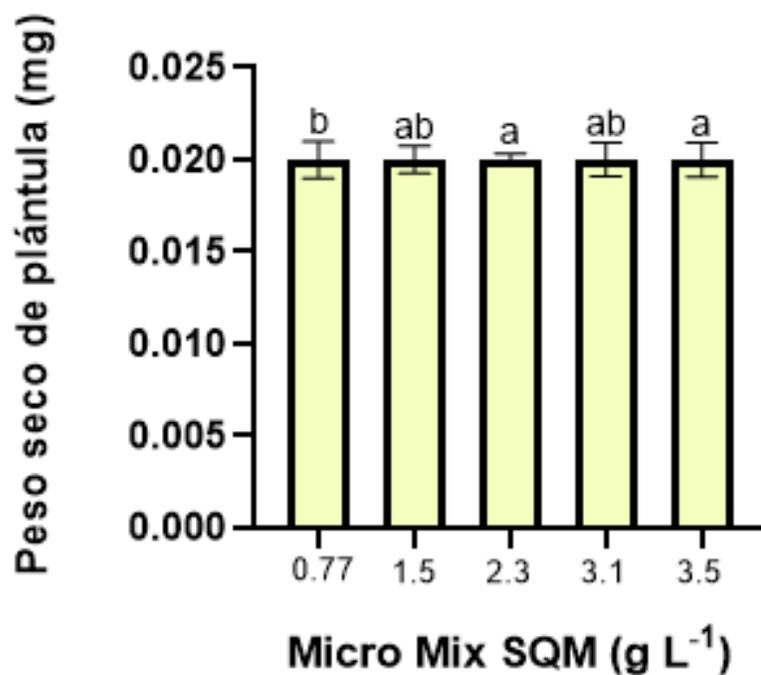


Figura 10.- Análisis de varianza (ANOVA $p \leq 0.05$) y comparación de medias de Duncan ≤ 0.05 de peso fresco de plántulas de semillas de maíz bajo cinco tratamientos de micronutrientes (Micro Mix SQM) en imbibición.

En base a los resultados obtenidos en este trabajo de investigación se muestra la manera en que influye la aplicación de micronutrientes en semillas de maíz promoviendo un impacto positivo, específicamente en las variables de longitud de radícula y la acumulación de peso seco de la plántula.

Específicamente se evidenció que el uso de Micro Mix SQM favoreció la longitud de radícula alcanzando un máximo de 14 cm en la concentración de 3.85 g L^{-1} , valor que se encuentra por encima de lo registrado por (Factos, 2022), donde se registró que la longitud de raíz fue de 7.57 cm. Podemos atribuir que aunque en concentraciones bajas de micro elementos son indispensables y se reflejan en las funciones específicas, siendo constituyentes de grupos protéticos en metaloproteínas y como activadores de reacciones enzimáticas, cabe mencionar que los micronutrientes forman complejos enzimáticos ligando enzimas con un sustrato (Kyrkby & Römheld, 2007).

El efecto de la aplicación de micronutrientes resultó favorable en la variable de peso seco de la plántula específicamente en las concentraciones de 2.3 g L^{-1} y 3.5 g L^{-1} , mismo efecto que se presentó en la interacción entre nanopartículas de NPsZnO en diferentes concentraciones (200 ppm, 500 ppm) las cuales presentaron mejoras considerables para el peso seco de los tallos, al sustituir la fuente de Zinc en la solución nutritiva con la NPsZnO, tuvo mejor efecto que sustituir con Mg con las NPsMgO (Sáenz, 2022).

7. CONCLUSIÓN

La calidad fisiológica de las semillas de maíz previamente embebidas con un combo de microelementos completos en diferentes concentraciones durante un lapso de 24 horas, mostraron un efecto positivo en la acumulación de peso seco y longitud de radícula, promovido por la absorción los micronutrientes.

El uso de microelementos completos en el proceso de imbibición de las semillas es capaz de mantener un buen proceso de germinación y un óptimo desarrollo de plántulas de maíz.

8. LITERATURA CITADA

- Caballero, J. C., Salinas, S. G., N. Ramos, E., & Aguilar., C., F. (2021). Sustratos alternativos para la producción de plántulas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa Brot.*) en Chiapas. *Siembra*, 7(2), 014–021. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i2.1916>
- Castillo, A. R. (2012). Elementos esenciales para la mayoría de las plantas superiores y sus concentraciones internas consideradas como adecuadas. [Fotografía]. Manejo de la nutrición mineral en sistemas ganaderos de los llanos orientales de Colombia, 64-66. Obtenido de <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/12469>
- Crespo, E. C., Can, A., Sandoval, M., Bugarin, R., Robles, A., & Juarez, P. (2013). Sustratos en la horticultura. *Revista Bio-ciencias*, 17-26. Obtenido de <http://dspace.uan.mx:8080/jspui/handle/123456789/719>
- Factos, N. G. (s.f.). Evaluación de la impregnación de semillas con Fe sobre la germinación y vigor de plántulas de maíz dulce (*Zea mays l.*) var. Bandit. Tesis de licenciatura. Universidad de las Fuerzas Armadas. Recuperado el diciembre de 2024, de <https://repositoriobe.espe.edu.ec/server/api/core/bitstreams/542edb9d-5755-4c47-b7d0-0c2025bb7eca/content>
- FAO. (1993). El maíz en la en la nutrición humana. Recuperado el noviembre de 2024, de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación: <https://www.fao.org/4/t0395s/T0395S00.htm#Contents>
- Fertilab. (2021). Sustratos para fertirriego. recuperado el 2024, obtenido de Fertilab: <https://www.fertilab.com.mx/blog/171-sustratos-para-fertirriego/>
- FIRA. (2024). Panorama agroalimentario. Recuperado el noviembre de 2024, de FIRA: <https://www.fira.gob.mx>
- Golik, S., Larran, S., Gerard, G., & Fleitas, M. (2018). Maíz: Importancia, origen, sistemática, morfología y composición química. En M. R. Simón, & S. I. Golik, cereales de verano. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). Recuperado el 2024, de <https://libros.unlp.edu.ar/index.php/unlp/catalog/book/935> p.p. 10-26

- Hernández, J. A. S. (2009). El origen y la diversidad del maíz en el continente americano. Universidad Autónoma de la Ciudad de México. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54325384/Serratos_2009_Diversidad_Maiz.-libre.pdf?1504461901=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DSerratos_2009_Diversidad_Maiz.pdf p.p. 1-30.
- INIFAP. (2005). La fertilización en los cultivos de maíz, sorgo y trigo en México. Recuperado el noviembre de 2024, de Intagri: https://www.intagri.com/public_files/Manual%20de%20fertilizacion.pdf
- Kyrkby E., & Römheld V., (2007), Micronutrientes en la fisiología de las plantas: funciones, absorción y movilidad, obtenido de <http://listas.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/MicronutrientesenlaFisiologia.pdf>.
- Land and water. (2002). Los fertilizantes y su uso. FAO. Recuperado el noviembre de 2024, de <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/x4781s>
- Martínez, P. F., & Roca, D. (2011). Sustratos para el cultivo sin suelo. Recuperado el diciembre de 2024, de https://www.researchgate.net/profile/Dolors_Roca/publication/237100771_Sustratos_para_el_cultivo_sin_suelo_Materiales_propiedades_y_manejo/links/0deec51b8657d36d7e000000/Sustratos-para-el-cultivo-sin-suelo-Materiales-propiedades-y-manejo.pdf
- Matilla, A. J. (2008). Desarrollo y germinación de las semillas. Fundamentos de fisiología vegetal. Recuperado el Noviembre de 2024, de <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FundamentosdeFisiologiaVegetal2008Azcon..pdf> p.p. 537-558
- Melgarejo, M., Romero, M., Hernández, S., Barrera, J., Solarte, M. E., Suarez, D., Pérez, W. (2010). Experimentos en fisiología vegetal. Luz Marina. Recuperado el noviembre de 2024, de <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2019/02/Melgarejo-2010.pdf> p.p. 13-16
- Morales, F. (2020). Maíz, herencia y futuro de México. Obtenido de CIMMYT: <https://idp.cimmyt.org/maiz-herencia-y-futuro-de-mexico/>

- Natera, R., Merazo, J., & Montaña, N. (2008). Relación entre la tasa de imbibición y el porcentaje de germinación en semillas de maíz (*Zea mays L.*), caraota (*Phaseolus vulgaris L.*) y quinchoncho (*Cajanus cajan (L.) Mill.*). Revista científica de la Escuela de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Oriente. Recuperado el noviembre de 2024, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/revista?codigo=8490> p.p 61-66
- Omuto, T., Viatkin, K., Vargas, R., & Yigini, Y. (2021). Mapeo de suelos afectados por salinidad. Recuperado el noviembre de 2024, de FAO: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/f41c5261-3d94-4e19-8ba0-193366685c09/content>
- Piedra, L., & González, M. C. (2013). La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. Recuperado el noviembre de 2024, de Cultivos Tropicales: <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v34n4/ctr05413.pdf>
- Rodríguez, M. & Flórez R., V. J. (2004). Elementos esenciales y beneficiosos. Obtenido de repositorio de la producción científica de la Universidad de Almería: <https://repositorio.ual.es/handle/10835/3133>
- Sáenz, M. (2022). Aplicación de Nanopartículas de ZnO y de MgO para determinar su efecto en plantas de maíz cultivadas en invernadero. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Recuperado diciembre 2024 de, <https://repositorio.uaaan.mx/bitstream/handle/123456789/48926/K%2068130%20S%c3%a1enz%20Alarc%c3%b3n%2c%20Manuel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sáez, J. N. (1999). Utilización de sustratos en viveros. Recuperado el 2024, de Terra latinoamericana: <https://www.redalyc.org/pdf/573/57317307.pdf>
- SIAP. (2019). Maíz grano. Obtenido de gobierno de México: <https://www.gob.mx/siap/maiz-grano/>
- Vázquez, P., Sangermán, D., & Pérez, K. (2023). Creación de regiones agrícolas altamente especializadas en el cultivo maíz Estudio de caso: Sinaloa, Sonora, Nayarit y Jalisco. Revista mexicana de ciencias agrícolas. Recuperado el noviembre de 2024, de <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/3421/5820>

Vielle, J., Vallebuena, M., & Padilla, J. (2014). Paleogenómica en la cueva de San Marcos y su contribución al entendimiento del origen del maíz [Versión PDF]. <https://www.revistas.inah.gob.mx/index.php/arqueologia/article/download/6161/7002>.

Villamil, M., & García, F. (1993). Germinación de semillas. Recuperado el noviembre de 2024, de www.mapa.gob.es