



TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE COACALCO

Evaluación de los efectos por metales en
Brassicaceae como alternativa de
fitorremediación en un sitio contaminado

Proyecto de investigación

INGENIERÍA AMBIENTAL

Especialidad
Sustentabilidad y tecnologías de agua.

Presenta(n):

Martinez Gonzalez María Fernanda

Director (a) del proyecto:

Evelin Yazmín Luna García

Coacalco de Berriozábal, febrero, 2023

AGRADECIMIENTOS

Con amor, cariño orgullo agradezco a quien fue una pieza clave en mi formación y la generación de esta investigación.

Primero quiero agradecer al tecnológico por ser testigo de tantas alegrías, risas y momentos no tan felices que viví dentro de él.

A mi mamá por darme su apoyo incondicional y por las noches en las que me acompañó cuando ya no podía más.

A mi papá por ser la inspiración y la fuerza que yo necesitaba para seguir adelante.

A mi hermano por siempre estar para mí en cada momento que más lo necesitaba, dando el empujón que yo necesitaba.

A mi prima que en los últimos momentos de mi carrera ha estado conmigo dándome todo el ánimo que necesito para terminar las cosas.

A todas las personas que conocí en el tecnológico que con el paso del tiempo que se convirtieron en mis amigos y siempre me apoyaron a no darme por vencida cuando las cosas se ponían difíciles.

A mi mejor amigo Miguel que siempre estuvo en todo momento apoyándome cuando más lo necesitaba y con el apoyo y la mancuerna que siempre logramos en toda la universidad convirtiéndonos en el equipo maravilla.

A mis docentes que me impartieron sus conocimientos que me formaron como una ingeniera.

RESUMEN

En la última década el crecimiento poblacional acelerado ha incrementado los desechos y la contaminación por metales, generando problemas relacionados con la salud y el aprendizaje. La demanda de agua para uso agrícola e industrial cada vez presenta una mayor demanda, por tal motivo se utiliza el agua residual. Por tal motivo la presencia de metales en el agua genera una problemática dentro del suelo agrícola.

Por lo tanto, este trabajo pretende brindar información que relacione la cadena suelo-hortaliza-humano para la alcaldía de Xochimilco.

La problemática está basada en la presencia de estos contaminantes en el suelo, por lo que este proyecto tiene como finalidad contribuir a brindar una técnica de remediación para esa parcela que sea factible y económica.

Para el estudio se consideró la Brassicaceae ya que la especie es nativa de Xochimilco, se ha cultivado desde antiguos tiempos mexicanos, esta especie se adapta a las condiciones climáticas del lugar por lo que es ideal para el cultivo en los canales y chinampas de Xochimilco.

Los factores de estudio de este proyecto están basados en la fitotoxicidad, sus efectos en la planta de estudio y la absorción del contaminante por la planta.

La investigación fue de tipo experimental y documental, se trabajó con 3 concentraciones conocidas de ambos contaminantes a los que fue sometida la especie de estudio.

Para esto se realizó la plantación y muestreo del suelo en el cual la especie se sometió a estos metales. Encontrando como factor que el Mg^{2+} y Ca^{2+} se encuentran en concentraciones significativas en el suelo.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
GENERALIDADES DEL PROYECTO	9
1.1 INTRODUCCIÓN	10
1.2 JUSTIFICACIÓN	13
1.3 PROBLEMÁTICA.....	13
1.4 ANTECEDENTES	14
1.5 OBJETIVOS	16
1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES	16
CAPÍTULO II	18
MARCO TEÓRICO	18
2.1 PRODUCCIÓN DE <i>BRASICACEAE</i> EN MÉXICO	19
2.3 CARACTERIZACIÓN DE LA <i>BRASICACEAE</i>	19
2.4 FITORREMEDIACIÓN	20
2.5 FITOTOXICIDAD.....	20
2.6 PLANTA HIPERACUMULADORA.....	21
2.7 PLÁNTULA.....	21
2.8 CULTIVO DE LA ESPECIE.....	21
2.9 CRECIMIENTO FOLIAR.....	22
2.10 RADÍCULA.....	22
2.11 HIPOCÓTILO	22
2.12 COL RIZADA (<i>BRASICACEAE</i>)	22
2.13 TAXONOMÍA.....	22
2.13.1 MORFOLOGÍA	23
2.13.1.1 RAÍZ.....	23
2.13.1.2 TALLO.....	23
2.13.1.3 HOJAS	23
2.13.1.4 FLORES.....	23
2.13.1.5 FRUTOS	24

2.14 CULTIVO	24
2.14.1 SIEMBRA.....	24
2.14.2 COSECHA.....	24
2.15 REQUERIMIENTOS EDAFÓLOGICOS	25
2.15.1 TEMPERATURA	25
2.15.2 LUZ	25
2.15.3 SUELO	25
2.15.4 MARCO DE PLANTACIÓN.....	25
2.15.5 RIEGO	26
2.16 PROPIEDADES NUTRITIVAS.....	26
2.17 FUENTES Y VÍAS DE EXPOSICIÓN DE LA ESPECIE AL CONTAMINATE	26
2.18 MÉTODO VOLUMÉTRICO DEL VERSENATO	27
2.19 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO	27
2.20 MEDICIÓN DE pH	27
2.21 DOSIS LETAL 50	27
2.22 NORMATIVIDAD APLICABLE PARA VERTIFICAR CONCENTRACIONES PERMISIBLES	28
2.23 CONTAMINANTES POR EVALUAR	28
2.23.1 MAGNESIO	28
2.23.2 PROPIEDADES FÍSICAS	29
2.23.3 PROPIEDADES QUÍMICAS	29
2.23.4 USOS DEL Mg^{2+} EN EL SUELO	29
2.23.5 IMPORTANCIA DEL Mg^{2+} EN LA PLÁNTULA	30
2.23.6 EFECTOS FITOTOXICOS DEL Mg^{2+} EN EL SUELO.....	30
2.23.7 EFECTOS BENÉFICOS DEL Mg^{2+} EN EL SUELO.....	30
2.23.8 Mg EN AIRE, AGUA Y SUELO	30
2.23.9 EL Mg^{2+} EN LAS PLANTULAS	31
2.23.10 SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA DE Mg.....	32
2.23.11 SÍNTOMAS DE EXCESO DE Mg.....	33
2.24 CALCIO.....	33
2.24.1 PROPIEDADES FÍSICAS	33
2.24.2 PROPIEDADES QUÍMICAS	34
2.24.7 CALCIO EN LAS PLANTAS.....	35

2.24.8 SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA DE Ca	36
2.24.9 SÍNTOMAS DE EXCESO DE Ca.....	36
2.25 SUSTRATO	36
2.25.1 PEAT MOSS.....	37
CAPÍTULO III.....	38
DESARROLLO.....	38
3.1 ÁREA DE ESTUDIO.....	39
3.2 CULTIVO DE LA BRASSICACEAE.....	39
3.3 REGADO DE LA ESPECIE CON LOS CONTAMINANTES A PRUEBA.....	40
3.4 PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES CON LOS CONTAMINANTES A EVALUAR (Mg ²⁺ y Ca ²⁺).....	41
3.5 MONITOREO DE LA ESPECIE.....	43
3.6 ESTIMACIÓN DE LA DOSIS LETAL MEDIA (DL50).....	44
3.7 VERIFICACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE LOS CONTAMINANTES PRESENTES EN EL SUELO DE ESTUDIO	44
3.7.1 MÉTODO VOLUMÉTRICO DEL VERSENATO PARA LA DETERMINACIÓN DE Ca ²⁺ y Mg ²⁺	45
3.7.2 DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO	47
3.7.3 DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	47
3.7.4 MEDICIÓN DE pH	48
3.7.5 MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA.....	49
CAPÍTULO IV	50
RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	50
4.1 MONITOREO Y ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DEL TALLO (HIPOCÓTILO), RAÍZ (RADÍCULA) Y HOJAS BAJO EL EFECTO DE Ca ²⁺ Y Mg ²⁺ A UNA CONCENTRACIÓN ALTA, MEDIA Y BAJA CONOCIDAS.....	51
4.2 DL50	63
4.3 VERIFICAR LAS CONCENTRACIONES PRESENTES DE LOS CONTAMINANTES EN LA PLANTA DE PRUEBA MEDIANTE EL MÉTODO DEL VERSENATO.	64
4.3.1 DETERMINACIÓN DE MAGNESIO INTERCAMBIABLE EN MUESTRAS SUELO EXPUESTAS AL CONTAMINANTE EN 3 CONCENTRACIONES DE PRUEBA	65
4.3.1.1 DETERMINACIÓN DE Mg ²⁺ INTERCAMBIABLE PARA SUELO EXPUESTO A CONCENTRACIONES CONOCIDAS.	65
4.3.2 DETERMINACIÓN DE CALCIO INTERCAMBIABLE EN MUESTRAS SUELO EXPUESTAS AL CONTAMINANTE EN 3 CONCENTRACIONES DE PRUEBA	72
4.4 CONCLUSIONES.....	78

4.6 FUENTES DE INFORMACIÓN.....	83
---------------------------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Producción de la planta en México.....	19
Tabla 2. Taxonomía de la col	23
Tabla 3. Propiedades correspondientes en 100 g de la especie	26
Tabla 4. Clasificación del suelo en cuanto a su valor de pH.	28
Tabla 5. Concentraciones de Mg^{2+} utilizadas	42
Tabla 6. Concentraciones de Ca^{2+} utilizadas.	43
Tabla 7. Primer monitoreo regado con agua.....	51
Tabla 8. Segundo monitoreo regado con agua sin contaminante.....	52
Tabla 9. Tercer monitoreo con Mg^{2+} a concentración alta (0.809 g/L)	53
Tabla 10. Cuarto monitoreo con Mg^{2+} a una concentración media (0.015 g/L)	54
Tabla 11. Quinto monitoreo con Mg^{2+} a concentración baja (0.011 g/L).....	56
Tabla 12. Sexto monitoreo con Ca^{2+} a concentración alta (0.121 g/L)	58
Tabla 13. Séptimo monitoreo con Ca^{2+} a concentración media (0.060 g/L).....	59
Tabla 14. Octavo monitoreo con Ca^{2+} a concentración baja (0.030 g/L)	61
Tabla 15. Criterios de valoración para Ca^{2+} y Mg^{2+} intercambiable expresados en $cmol (+) kg^{-1}$	64
Tabla 16. Tabla resumen de los mililitros gastados en Mg^{2+}	65
Tabla 17. Prueba 1 para Mg^{2+}	69
Tabla 18. Prueba 2 para Mg^{2+}	70
Tabla 19. Prueba 3 para Mg^{2+}	70
Tabla 20. Prueba 4 para Mg^{2+}	70
Tabla 21. Prueba 5 para Mg^{2+}	70
Tabla 22. Prueba 6 para Mg^{2+}	71
Tabla 23. Prueba 7 para Mg^{2+}	71
Tabla 24. Prueba 8 para Mg^{2+}	71
Tabla 25. Tabla resumen de los mililitros gastados en Ca	72
Tabla 26. Prueba 1 para Ca^{2+}	75
Tabla 27. Prueba 2 para Ca^{2+}	75
Tabla 28. Prueba 3 para Ca^{2+}	75
Tabla 29. Prueba 4 para Ca	75
Tabla 30. Prueba 5 para Ca^{2+}	76
Tabla 31. Criterios de valoración para evaluar la conductividad eléctrica.....	76
Tabla 32. Clasificación del suelo en cuanto a su valor de pH.	76
Tabla 33. Criterios de valoración para evaluar la capacidad de intercambio catiónico total (propuestos por los autores)	76
Tabla 34. Tabla comparativa de otras mediciones para ambos contaminantes.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1:Siembra de la especie	40
Ilustración 2. Etiquetado de semilleros.....	41
Ilustración 3. Soluciones de Mg^{2+} y Ca^{2+}	41
Ilustración 4. Medición de la plántula.....	44
Ilustración 5. Vire de color rosa a lila de la titulación.....	47
Ilustración 6. Medición de la conductividad eléctrica	48
Ilustración 7. Medición del pH.....	49
Ilustración 8. Medición de la temperatura en °C	49

CAPITULO I

GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 INTRODUCCIÓN

Una de las principales causas de la contaminación de las aguas superficiales, es el crecimiento demográfico, cuyo problema proviene del aumento de la densidad poblacional, es decir, entre mayor sea el número de habitantes, más residuos y descargas se generan.

Generando un problema dentro de los sistemas acuáticos de tal manera que se ven afectados por la contaminación, ya que constituyen los principales cuerpos de recepción de la gran mayoría de las sustancias tóxicas de la industria, que se generan por medio de dichos procesos. Sus principales efectos son tres: la acidificación de lagos y ríos que provoca la muerte de los peces y otros seres acuáticos; la acidificación de la tierra, que daña a las plantas.

En un sistema de abastecimiento de agua los metales pueden ser incorporados por medio de los residuos industriales que son vertidos sin un tratamiento previo. De tal manera que al depositarse dentro de los acuíferos tienen una alta posibilidad de lixiviarse al suelo.

Los principales contaminantes que se encuentran en el estudio de la toxicidad a nivel trófico son metales pesados que en definición es un elemento químico de manera orgánica tóxica aquel capaz de dañar un sistema biológico interfiriendo en el funcionamiento normal e incluso provocando la letalidad. Estos componentes son fundamentales en la corteza terrestre o incluso en forma de sales en los cuales se forman agentes tóxicos que no pueden ser degradados que cuentan con funciones metabólicas específicas en las actividades catalizadoras en los procesos bioquímicos para el ecosistema.

La toxicidad de los metales no depende únicamente de su concentración, sino que también influyen otros factores como su disponibilidad y la reactividad con otros compuestos dentro del sistema. La disponibilidad en suelos se relaciona totalmente con el pH, el tipo de materia orgánica y la temperatura del suelo.

Las fuentes naturales y antropogénicas contribuyen a la emisión de elementos metálicos, Estos metales se convierten en contaminantes si su distribución en el ambiente se altera por medio de las actividades antropogénicas o por la liberación al ambiente de efluentes industriales y emisiones a la atmósfera, principalmente el mal manejo de la disposición de residuos metálicos afectando las plantas y otros organismos, lo cual genera toxicidad en los ecosistemas.

El uso de agua residual que se utiliza en la agricultura para el riego crea un aumento en el ingreso de la materia orgánica y nutrientes en los suelos contaminados, la cual genera una contribución de mantener o incrementar la fertilidad de este, al mismo tiempo puede generar efectos nocivos que deterioran la calidad del suelo y agua.

Los metales tienen una alta tendencia de bioacumularse en diferentes cultivos ya que la bioacumulación es un aumento en la concentración de un químico en un organismo por un cierto tiempo.

La presencia que tienen los metales en el suelo tiene efectos negativos sobre las plantas, aunque también han generado un mecanismo de defensa a los metales. Cuando la concentración de los metales pesados rebasa el límite máximo permisible generan daños en el crecimiento normal de la planta y el disturbio de la funcionalidad en otros componentes.

La absorción de los metales por las plantas es el primer paso para la entrada a la cadena alimenticia, en las plantas la bioacumulación se refiere a la agregación de contaminantes algunos más fitosensibles que otros. (1)

Una planta en un suelo óptimo (potencial hídrico cercano) absorbe agua por las raíces, esta viaja por la xilema (savia bruta) hasta llegar a las hojas, donde se evapora y pasa a la atmósfera, la cual tiene un potencial hídrico realmente bajo. (2)

Por lo tanto, se adaptan a distintas estrategias frente a la presencia de los metales en su entorno, algunas se basan en la estrategia de una exclusión del metal, restringiendo su transporte a la parte aérea. Una de las exclusiones más características de especies sensibles y tolerantes a los metales y la acumulación es más común en especies que aparecen en suelos contaminados.

En las últimas décadas se han incrementado las emisiones y desechos de metales causando problemas severos y en ocasiones sin una sintomatología en la población infantil. Las sales solubles en agua de los metales alcalinotérreos como el magnesio, calcio y plomo son tóxicas y acumulables por los organismos que lo absorben, al ser ingeridos por el hombre a través del agua y alimentos que son causantes de provocar ceguera, amnesia o la muerte.

Magnesio (Mg^{2+}). El magnesio es necesario para más de 300 reacciones bioquímicas en el cuerpo. Ayuda a mantener el funcionamiento normal de músculos y nervios, brinda soporte a un sistema inmunitario saludable, mantiene constantes los latidos del corazón y ayuda a que los huesos permanezcan fuertes. También ayuda a ajustar los niveles de glucosa en la sangre. Ayuda en la producción de energía y proteína.

Hay investigaciones en curso sobre el papel del magnesio en la prevención y manejo de trastornos como presión arterial alta, enfermedades cardíacas y diabetes. Sin embargo, actualmente no se aconseja tomar suplementos de magnesio. Las dietas altas en proteínas, calcio o vitamina D incrementarán la necesidad de magnesio.

Las dosis de magnesio, así como de otros nutrientes, se proporcionan en las Ingestas Dietéticas de Referencia (IDR) desarrolladas por la Junta de Alimentos y Nutrición en las Academias Nacionales de Ciencias, Ingeniería y Medicina. IDR es un término para un conjunto de ingestas de referencia que se utilizan para planificar y evaluar la ingesta de nutrientes de las personas sanas. Estos valores, que varían según la edad y el sexo, incluyen:

Cantidad diaria recomendada (CDR): el nivel diario promedio de ingesta que es suficiente para satisfacer las necesidades de nutrientes de casi todas las personas sanas (97% a 98%). Una CDR es un nivel de ingesta basado en evidencia de investigación científica.

Ingesta adecuada (IA): este nivel se establece cuando no hay suficiente evidencia de investigación científica para desarrollar una CDR. Se establece en un nivel que se cree que garantiza una nutrición suficiente. (3)

El calcio es un metal blando, grisáceo, y es el quinto más abundante en masa de la corteza terrestre. También es el ion más abundante disuelto en el agua de mar, tanto como por su molaridad y como por su masa, después del sodio, cloruros, magnesio y sulfatos.

Se encuentra en el medio interno de los organismos como ion calcio (Ca^{2+}) o formando parte de otras moléculas; en algunos seres vivos se halla precipitado en forma de esqueleto interno (huesos de los vertebrados) o externo (concha de los moluscos). (4).

El calcio es un elemento estructural en la planta, forma parte de la pared celular, membrana celular, participa en la división y elongación celular. Por este motivo los síntomas de deficiencia son observados en órganos en crecimiento (meristemos apicales y frutos en crecimiento). Se une a varias proteínas receptoras que activan diferentes enzimas regulando actividades metabólicas como la mitosis, crecimiento de ápices, corriente citoplasmática, germinación de esporas, formación de yemas, secreción de la enzima alfa-amilasa y transporte de auxinas. También regula la absorción de nitrógeno y contrarresta el exceso de K y Na. (Kass, 1996).

El Calcio se encuentra presente en toda plántula, ya que es necesario para muchos procesos, pero sobre todo para el crecimiento, ya que tiene un efecto regulador sobre las células y le da estabilidad a la plántula.

Cuando el Calcio se encuentra en exceso en una plántula es perjudicial ya que el exceso frena su crecimiento y provoca el oscurecimiento. Además de ser el encargado de la deficiencia de Boro, Manganeseo, Magnesio, Calcio o incluso de Cobre.

Por otro lado, se tomó como referencia la *Brassicaceae* ya que es una especie que cumple con las características necesarias para el estudio, además de ser una especie que se cultiva con mucha facilidad en la zona.

Conocida como “Kale rojo” pertenece a la familia de las crucíferas ya que forman parte de los vegetales de hoja verde carnosas y suaves, estas son principales características que definen al grupo de vegetales que pertenecen a la familia de las crucíferas.

La fitotoxicidad la podemos definir como los daños por un agente externo en el propio cultivo, esto se puede generar debido a la dosificación o aplicación a condiciones adversas, a cambios de plantas cultivadas o al tipo de suelo.

La *Brassicaceae* es una especie nativa de Xochimilco, se ha cultivado desde antiguos tiempos mexicanos, esta especie se adapta a las condiciones climáticas del lugar por lo que es ideal para el cultivo en los canales y chinampas de Xochimilco.

1.2 JUSTIFICACIÓN

En la última década de desarrollo de manera apresurada de las industrias se ha presentado un incremento en los desechos de metales pesados y las emisiones, aumentando la intoxicación por problemas relacionados al crecimiento. (5)

De acuerdo con Constantino et al. 2005 la demanda de agua para su uso agrícola, industrial, comercial y domestico cada vez se presenta en mayores cantidades por lo que el agua residual se está convirtiendo en una fuente de agua principal debido a sus bajos costos en comparación con otros. Mientras que en países en vías de desarrollo dependen del crudo del agua para el riego agrícola.

La contaminación por metales es uno de los problemas más serios al que se enfrentó en cuanto a contaminación ambiental y uno de los más difíciles de resolver, aunque algunos de ellos como el Ca^{2+} y el Mg^{2+} son esenciales en pequeñas cantidades.

El uso de aguas residuales en la agricultura no se ha analizado detalladamente en la legislación ambiental. Ya que cuando se trata de estudiar el grado de acumulación de los metales en el suelo se manejan índices establecidos por otros países y no por México que no brindan una regularización ni control de los contaminantes presentes en productos agrícolas y por lo tanto se genera un problema en la ausencia de los limites permisibles en suelos y tejidos vegetales.

A pesar de que se cuenta con poca información relacionada al tema referente con la bioacumulación de los metales pesados en hortalizas para la alcaldía de Xochimilco. Esta investigación pretende dar un aporte a la investigación tomando como ideas principales la fitotoxicidad y la técnica de fitorremediación que es la base central de este proyecto.

1.3 PROBLEMÁTICA

De acuerdo con los antecedentes de la zona y de los contaminantes en las plantas crucíferas para la evaluación toxicológica de los contaminantes ambientales, en particular los metales, si bien los efectos fitotóxicos del magnesio y calcio que han sido documentados en investigaciones. Esta diversidad en la fitotoxicidad que se manifiesta no solamente entre las especies, sino que también varía según el parámetro evaluado al tiempo de exposición del contaminante.

La evaluación de efectos fitotóxicos con semillas en ensayos de laboratorio que constituyen una herramienta en el estudio de los contaminantes en el ambiente. El conocer la sensibilidad en respuesta del ensayo de semilla de Kale (*brassicaceae oleracea*) en los diferentes puntos de exposición para su uso de como especie de diagnóstico.

En el ensayo de la toxicidad aguda con las semillas se debe tener en consideración los periodos de exposición más representativos del ciclo biológico de la especie. Esta especie conocida como Kale, así como otras de diferentes familias botánicas y ornamentales, se han

recomendado para la evaluación de los efectos fitotóxicos en plantas terrestres, durante el periodo de exposición en el ensayo de la germinación y elongación de la radícula con semillas para el registro de los metales, además de aplicaciones del monitoreo ambiental.

En este marco se desarrolló el estudio comparativo de las respuestas agudas contra un marco blanco en el Kale. Considerando al Mg^{2+} y Ca^{2+} como metal de referencia orientado a la evaluación de los efectos tóxicos en tiempos de exposición prolongados y a diferentes concentraciones a diferentes puntos finales.

Otro de los aspectos a considerar en estudios de fitotoxicidad, es la evaluación que tiene la plántula de recuperación que poseen al ser expuestas a dosis efectivas de tóxicos, cuando estas se desarrollan en un medio no contaminado.

Si bien los ensayos permiten estimar las consecuencias de los efectos fitotóxicos de un contaminante para el desarrollo posterior de las plántulas y así interpretar su peligrosidad sobre los sistemas biológicos. Es por este motivo que se propone evaluar la capacidad de absorción de la *Brassicaceae* al ser sometida de las exposiciones a diferentes concentraciones de Magnesio y Calcio.

La principal problemática a la que se enfrentan las parcelas localizadas en Xochimilco es que el riego de esta es por medio de agua residual, ya que se considera que es una alternativa por la escasez de agua de la zona; sin embargo, esto representa una problemática, puesto que los cultivos se están viendo contaminados por metales.

La fitorremediación es la técnica más económica para la zona de estudio por varias razones; la especie de la *Brassicaceae* se consideró porque es una especie nativa que se encuentra ya adaptada a las condiciones ambientales, composición del suelo y a los contaminantes. Por este motivo es más resistente y tolera los contaminantes a los que es expuesta y ayuda a restaurar el ecosistema del sitio contaminando.

1.4 ANTECEDENTES

Moreno Grau, 2003 menciona que la actividad que más volumen de agua utiliza es la agricultura, ya que más de la tercera parte de esta es proporcionada por ríos, lagos y algunos otros acuíferos en el planeta. La competencia entre la industria, los núcleos urbanos y la agricultura por los recursos hídricos dan pie a una limitación de desarrollo.

En la agricultura urbana tiene grandes ventajas cuando se utiliza y practica de modo apropiado y en las condiciones seguras necesarias. Sin embargo, la aplicación de esta solución presenta riesgos para la salud humana y el medio ambiente que no son observadas de manera común cuando se utilizan suelos para la agricultura tradicional. De los principales riesgos para la salud que se presentan es el paso e ingreso de las sustancias tóxicas, como lo

son metales en los alimentos cultivados en zonas urbanas por la absorción en los mismos suelos, agua contaminada o aire.

En las plantas existe la capacidad de bioacumular metales y otros contaminantes, pero varía dependiendo de la especie vegetal y la naturaleza de los contaminantes. El comportamiento de la planta con base en los metales depende de cada metal.

La *Brassicaceae* es una planta que tiene la capacidad de absorber grandes cantidades de Mg^{2+} y Ca^{2+} de suelos que se encuentren altamente contaminados.

Las hortalizas aportan gran variedad, color y sabor a los alimentos ya que varían por su forma, color, estructura y además toda la planta es comestible desde su raíz, tallo y hojas. Por la adaptación a diversas condiciones climáticas y ambientales han dado como resultado la diversidad en las especies de las hortalizas que son cultivadas en campos, huertos e invernaderos.

En el libro de toxicología de Moreno Grau 2003, se dan a conocer los bioensayos que se realizaron en las muestras vegetales que han sido tomadas de suelos rurales e industriales han mostrado el impacto de las actividades industriales en contaminación de los alimentos por metales, no cabe duda de que uno de los principales factores que influyen en la incorporación de contaminantes en agua, aire y suelos. (42).

De acuerdo con un estudio realizado en Colombia, se encontró que los metales (Mn^{2+} , Ca^{2+} y Pb^{2+}) causan una gran afección a la población que se encuentra expuesta por el río. El agua que es empleada para el riego promueve la movilidad de los metales al suelo y plantas tales como la lechuga, el repollo, el brócoli entre otras utilizadas para el consumo humano. (10).

“La Organización Mundial de la Salud (OMS) y algunas autoridades ambientales, han establecido niveles de riesgo en función de la concentración de metales en aguas de consumo humano y alimentos. Se realizaron mapas en algunas regiones del mundo, en el que se muestra Un importante incremento en la concentración por encima de los límites establecidos, que las clasifica como de alto riesgo.” (8).

De acuerdo con la revista International Journal of Environmental Research and Public Health" en 2021, el riego con agua residual desde 1960, los canales de Xochimilco se estaban contaminando rápidamente debido al crecimiento poblacional. Para mitigar un poco dicha contaminación se tomó la decisión de regar con agua residual tratada las chinampas.

En la década de 1990, el gobierno de la Ciudad de México comenzó a invertir en la construcción de plantas de agua residual para que de esta manera mejorara la calidad del agua que se utiliza para el riego de las chinampas.

Sin embargo, el riego con agua residual también tiene algunos riesgos, entre ellos:

La posibilidad de que los contaminantes se acumulen en los cultivos. Es importante asegurarse de que el agua residual tratada esté adecuadamente tratada para eliminar los

contaminantes que pueden ser perjudiciales para la salud humana; así como también la posibilidad de que las aguas residuales contaminen el suelo. Es importante utilizar métodos de riego que eviten que el agua residual se filtre al suelo. (9)

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

Realizar la caracterización de la especie *Brassicaceae* bajo el efecto de Calcio y Magnesio.

1.5.2 Objetivos específicos

1. Monitorear y analizar el crecimiento del tallo (hipocótilo), raíz (radícula) y hojas bajo el efecto de Mg^{2+} y Ca^{2+} a concentraciones alta, media y baja.
2. Estimación de las Dosis letal media de toxicidad en la especie.
3. Verificar las concentraciones presentes de los contaminantes en el suelo

1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES

Alcance:

Esta investigación se realizará desde la investigación documental hasta la experimentación a nivel laboratorio con las muestras de la especie sometidas a los contaminantes de estudio a nivel laboratorio.

Limitaciones:

Los resultados de este proyecto están dirigidos específicamente para el tipo de suelo de las parcelas de Xochimilco, sin embargo, pueden servir de base como técnica de fitorremediación para suelos contaminados con los metales de estudio y para suelo con condiciones similares.

Otras limitaciones a las que se enfrentó el desarrollo de este proyecto fueron:

Falta de condiciones aptas para el sembrado de la especie.

Falta de reactivos para la realización de las soluciones en laboratorio.

Falta de equipo específico para el análisis de las concentraciones de los contaminantes de estudio en las muestras (espectrofotómetro de barrido).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 PRODUCCIÓN DE *BRASICACEAE* EN MÉXICO

El servicio de seguridad Agroalimentaria y Pesquera, da a conocer que la producción de Kale generalmente se limita en los países del norte y uno de estos países en donde se produce la *Brasicaceae* en México, en la tabla 1 se muestra la producción de la especie en diferentes estados:

Tabla 1. Producción de la planta en México

Estado	Distrito	Superficie sembrada (Ha)	Superficie cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)
Sonora	Cajeme	58.29	58.29	1663.43	28.54
Sonora	San Luis de Rio Colorado	23.00	23.00	451.01	19.61
Guanajuato	Celaya	60.00	60.00	1165.50	19.42
Guanajuato	León	45.00	45.00	830.00	18.44
Baja California	Ensenada	120.00	120.00	1740.00	14.50
Baja California	Rio colorado	150.00	150.00	2100.00	14.00
TOTAL		456.26	456.26	7949.93	17.42

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera – México (2015)

2.3 CARACTERIZACIÓN DE LA *BRASICACEAEA*

López SJ, 2008. Presenta que en la selección de las variables morfológicas da a conocer que la caracterización en plantas es considerada como la determinación del conjunto de características para poderlas diferenciar taxonómicamente. Dentro de la caracterización de una especie se estima la viabilidad existente en el genoma de la población de individuos que la conforman. Su objetivo principal es medir la variabilidad genética de una colección mediante el uso de descriptores definidos. Otros objetivos son el establecimiento de la representatividad de la colección, la investigación de la estructura genética a través de la determinación de poblaciones identificables, la identificación de duplicados dentro de una colección y la identificación de genes especiales o alelos particulares. (34)

La caracterización de la variabilidad detectable visualmente hace referencia a las características responsables de la morfología y la arquitectura de la planta llamadas botánicas-taxonómicas; las características relacionadas con aspectos de manejo agronómico y de producción denominadas morfoagronómicas y las evaluativas que son las que se expresan como reacción a estímulos del medio ambiente. La caracterización de la

variabilidad que no es detectable a simple vista se denomina molecular porque se refiere a la identificación de productos o funciones internas de la célula. (34)

Para realizar la caracterización primeramente es necesario el conocimiento pleno de la especie y el establecimiento del objetivo de la caracterización. Es necesario también conocer la variabilidad global de la colección mediante una siembra previa la cual permitirá homogeneizar las accesiones de acuerdo con sus morfotipos. Para medir la variabilidad es necesario utilizar descriptores discriminatorios y establecer el experimento con un mínimo de cinco plantas por accesión en lotes homogéneos en dos replicaciones, de este modo se obtendrá mejor y más información en el análisis estadístico. (34)

2.4 FITORREMEDIACIÓN

Epelde L. Becerril, 2011 dice que la fitorremediación es una de las variantes de la biorremediación que puede considerarse una tecnología alternativa rentable y sostenida. En ella se emplean plantas que tienen la capacidad de almacenar y eliminar sustancias tóxicas mediante sus procesos metabólicos, principalmente metales, por lo que se consideran plantas bioacumuladoras. (20)

Existen varias técnicas de fitorremediación aplicables a suelos contaminados con metales pesados: Fito extracción, fitoestabilización, fitodegradación, fitovolatilización, Fito restauración. La Fito extracción, también conocida como Fito acumulación, consiste en la absorción y translocación de los metales desde las raíces hasta las partes aéreas de las plantas; estas posteriormente se cortan y se incineran o son acumuladas con el objetivo de reciclar los metales. La fitoestabilización se basa en el uso de plantas tolerantes a los metales para inmovilizarlos a través de su absorción y acumulación en las raíces o precipitación en la rizosfera, y disminuir su movilidad y biodisponibilidad para otras plantas o microorganismos en suelos donde la gran cantidad de contaminantes imposibilita la Fito extracción. (20)

2.5 FITOTOXICIDAD

Robinson B, 2006 da a conocer que la toxicidad de un elemento ocurre cuando su concentración y disponibilidad dentro de los suelos o tejido vegetal va más allá de los requerimientos por una planta y puede afectar su crecimiento y desarrollo. Los micronutrientes B^{3+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} y Ca^{2+} pueden ser tóxicos para las plantas cuando se encuentran en altas concentraciones dentro de la solución del suelo o en las soluciones nutritivas para hidroponía. Una alta concentración de los elementos en los suelos no siempre equivale a una alta disponibilidad para que ocurra la absorción por las raíces. Algunos factores del suelo como textura, capacidad de intercambio catiónico (CIC), porcentaje de materia orgánica y contenido de fósforo, así como el pH, determinan la proporción de un elemento que existe en el suelo, referido esto al momento y concentración. Muchos de estos

elementos se encuentran en equilibrio entre lo que está en la fase sólida del suelo y lo que está en solución. (52)

2.6 PLANTA HIPERACUMULADORA

Carlos V, 2021 considera que estas plantas pertenecen a diferentes familias, por lo tanto, la hiperacumulación es una adquisición independiente que ha surgido varias veces durante la evolución, pero que en todos los casos genera la habilidad de crecer en suelos metalíferos y acumular extraordinarias cantidades de metales pesados en órganos aéreos, a diferencia de los niveles encontrados en la mayoría de las especies. Se sabe que las concentraciones de estos elementos químicos pueden ser entre 100 – 1000 veces mayores que las presentes en especies no hiperacumuladoras.

Generalmente, la química describe los metales pesados como aquellos metales de transición con una masa atómica superior a 20 y una densidad relativa cercana a 5. Desde el punto de vista biológico, los metales pesados son aquellos metales o metaloides que pueden ser tóxicos en bajas concentraciones. Aun así, las plantas hiperacumuladoras consiguen ser tolerantes, es decir, hiperacumulan estos metales pesados sin sufrir efectos fitotóxicos (toxicidad expresada en la planta).

En este sentido, hay tres características principales que describen las plantas hiperacumuladoras:

- Fuerte aumento de la tasa de absorción de metales pesados.
- Raíces que realizan la translocación más rápidamente.
- Gran habilidad por detoxificar y acumular metales pesados en hojas.

Por lo tanto, las plantas hiperacumuladoras están bien preparadas para la asimilación, translocación a hojas y acumulación de grandes cantidades de metales en vacuolas o en paredes celulares. En parte, esto es debido a una sobreexpresión constitutiva de genes que codifican para transportadores de membrana.

2.7 PLÁNTULA

Flores, EM, Benavides, 2016 denominan a los primeros estudios de desarrollo, desde que germina hasta que se desarrollan las primeras hojas verdaderas. Cuando se rompe la semilla y sale el tallo que vendría siendo como un embrión y luego cuando salen las primeras hojas fuertes se llama planta. (23)

2.8 CULTIVO DE LA ESPECIE

La secretaria Rural dice que el proceso de cultivar una especie entre las que se incluyen tareas como la siembra, el riego, la protección contra plagas y la cosecha, cuyo objetivo es obtener productos alimenticios como frutas.

2.9 CRECIMIENTO FOLIAR

Casierra-Posada, 2008 Considera que es una práctica que suministra nutrientes a las plantas a través de su follaje, ya sea mediante su disolución en agua o rociándolos directamente sobre las hojas. (10)

2.10 RADÍCULA

Dixon, 2007 da a conocer que radícula es un órgano en desarrollo del embrión de las plantas superiores. La radícula es la primera parte de una plántula que emerge de la semilla durante el proceso de germinación, es, por tanto, la raíz embrionaria de la planta y crece hacia abajo en el suelo. (16)

2.11 HIPOCÓTILO

Dixon, 2007 usa el termino hipocótilo para referirse a una parte de la planta que germina de una semilla. Es el tallo de la plántula, presente en la semilla, entre los cotiledones y la radícula.¹

Cuando se produce la embriogénesis, a medida que el embrión crece durante la germinación, envía un brote (la radícula), que se convertirá en la raíz primaria al penetrar el suelo. Tras la salida de la radícula, el hipocótilo emerge elevando el ápice de la plántula (y normalmente también la envoltura de la semilla) sobre el nivel del suelo, llevando las hojas embrionarias (llamadas “cotiledones”) y la “plúmula”, que da origen a las primeras hojas verdaderas. El hipocótilo es el primer órgano de expansión de la plántula, y se desarrolla hasta formar su tallo. (16)

2.12 COL RIZADA (*BRASICACEAE*)

Es una planta herbácea de origen alemán que crece hasta alcanzar 40 centímetros de altura. Las hojas crecen en forma de rosetas y son grandes, llegan a alcanzar hasta 35 centímetros de longitud, de color verde oscuro y muy rizadas.

La *Brassicaceae* es una col de hojas rizadas o lisas, propiamente del norte de Alemania. Se cultiva mayormente en el norte de Europa y en la costa noroeste de Norteamérica y en algunas regiones de México. En Sudamérica se inserta la producción desde algunas regiones en Chile y Argentina. *Brassica oleracea* es el nombre botánico de 4 esta especie perteneciente a la familia *Cruciferae* y es conocida de forma común como: col crespita, kale y col rizada. (20)

2.13 TAXONOMÍA

En el artículo llamado Un huerto en mi balcón, 2023 da a conocer que la *Brassicaceae* pertenece a la familia botánica de las crucíferas (ahora llamadas *Brassicaceae*) por presentar una flor en forma de cruz. También forma parte de esta familia, los repollos, la coliflor, el repollito de Bruselas, el brócoli, los nabos, entre otras.

En la tabla 2 se describe su taxonomía como:

Tabla 2. Taxonomía de la col

Reino	Plantae
División	Magnoliopyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Brassicales
Familia	Brassicaceae
Genero	Brassica
Especie	B. oleracea

Fuente: elaboración propia

2.13.1 MORFOLOGÍA

La *Brassicaceae* se desarrolla con similitud a las demás especies de la familia Brassica, tenido como característica principal que es un cultivo de hoja (57).

A continuación, se describe la morfología de la especie de manera general:

2.13.1.1 RAÍZ

La forma de raíz de esta especie es de arraigamiento superficial, con una raíz vertical que alcanza hasta los 80 cm de profundidad, se concentran en los primeros 40 a 60 cm del perfil del suelo, en especial cuando se destruye la primera raíz, como ocurre siempre al realizar el cultivo por almacigo y trasplante. (57)

2.13.1.2 TALLO

Durante el primer ciclo vegetativo la especie forma un tallo largo herbáceo y erecto donde están distribuidos las hojas al largo del tallo de manera de intercalar, la altura del tallo depende de la variedad y por diversos factores edafoclimáticos. (57).

2.13.1.3 HOJAS

Las hojas de esta especie son simples, grandes, anchas y variadas formas según la variedad, lobuladas en su base, pencas gruesas pueden ser sésiles y de pedúnculo largo, limbo redondeado o elipsoidal presenta nervaduras muy notorias, presentándose muy gruesa. Los colores de las hojas pueden ser verdes claros, verde oscuro, rojas. (57).

2.13.1.4 FLORES

Se produce durante el segundo ciclo vegetativo cuando la planta alcanza una altura entre 1.20-1.50 m este se ramifica formando racimos florales, las flores en grandes números son amarillas o blanquecinas y se disponen en racimo en el extremo del tallo. (57)

2.13.1.5 FRUTOS

La *Brassicaceae* son plántulas bianuales, por lo que producen frutos al segundo año. Sus flores son de color amarillo y las semillas se encuentran en pequeñas vainas. El fruto es una silicua cilíndrica, semejante a una pequeña vaina, dehiscente y glabra de aproximadamente 10cm de longitud y 4 a 5 cm de ancho y contiene unas 20 semillas por lóculo, las que son redondeadas de superficie irregular y pequeñas (2mm de diámetro) de coloración marrón. (57)

2.14 CULTIVO

Para cultivar la *Brassicaceae* se debe realizar en semilleros en primavera o verano y se cosecha en invierno, al ser una hortaliza resiste a bajas temperaturas, se puede tener cultivos rápidos de la col rizada en primavera, mientras que el clima, es fresco y luego las plantas una segunda vez a finales de verano para la cosecha después de que el clima se enfría de nuevo en otoño. (57)

2.14.1 SIEMBRA

La *Brassicaceae* puede sembrarse en un semillero o directamente en una maceta o suelo donde se vaya dejando crecer. Para hacer uso más eficiente del espacio, agua y tiempo, es mejor que se realice en un semillero. Podemos comenzar a sembrar en agosto-septiembre para tener producción en invierno o de enero a marzo para tener cultivo en primavera-verano.

Se aconseja sembrar el kale en semilleros, para optimizar el espacio del huerto. Ya que los semilleros de kale y otras coles deben realizarse durante la primavera y el verano y a los 7 días de la siembra estas emergerán. (57)

2.14.2 COSECHA

Podemos comenzar a cosechar las hojas cuando comienzan a sacar el quinto par de hojas verdaderas, el tamaño de la hoja es aproximadamente del tamaño de una mano humana. Únicamente cosechar las hojas externas en la planta ya que esto fomenta su crecimiento, ya que ahí se desarrollan nuevas hojas. Cuando las plantas llegan al pico de la producción pueden producir hojas 3 veces por semana. (57)

El kale desarrolla sus hojas a lo largo del tronco principal sin formar repollo. Por tanto, la forma de recolectarla es hoja a hoja, desde las hojas inferiores a las superiores, dejando siempre unas cuantas hojas en la parte superior del tronco, para que la planta continúe desarrollándose y echando hojas.

2.15 REQUERIMIENTOS EDAFÓLOGICOS

Aizpuru, 1999 recomienda que los requerimientos edafológicos de esta especie son los siguientes:

2.15.1 TEMPERATURA

Las especies se desarrollan con normalidad en temperaturas entre 7°C y 35°C, siendo que estos cultivos pueden resistir temperaturas más bajas después del primer mes de desarrollo. Si bien puede cultivarse en cualquier época del año, la temperatura ideal para esta planta ronda entre los 25°C soportando heladas de hasta - 7°C y aproximadamente temperaturas altas hasta los 35°C. Según huertos ecológicos, se desarrolla entre 5°C y 35°C, siendo una temperatura óptima de 20°C a 30°C. 2.2.5 composición nutricional. (2)

2.15.2 LUZ

En cuanto al sol, si bien es una planta que prefiere el sol durante largas horas, también soporta períodos de sombra sin ningún problema; sin embargo, requiere de un nivel de sombra para evitar la pérdida de agua de sus hojas por lo cual se aconseja el empleo de malla semisombra en lugares donde las temperaturas son altas. (2)

2.15.3 SUELO

La especie es poco exigente en cuanto a la calidad de suelo, en comparación a sus demás especies, pero para un óptimo desarrollo se aconseja suelos con aporte de nitrógeno y de agua, en suelos de mala calidad o en condiciones desfavorables no alcanzan un crecimiento óptimo. (2)

La col risada es un cultivo que tiene preferencia por suelos porosos, no encharcados, pero que al mismo tiempo tengan capacidad de retener la humedad del suelo. El pH óptimo debe ser ligeramente ácido alrededor de 5,5 a 6.5 en suelos más alcalinos desarrolla estados carenciales. (2)

2.15.4 MARCO DE PLANTACIÓN

A la hora del trasplante de la especie a su lugar definitivo se debe mantener una distancia de entre 30 y 40 centímetros entre plantas y entre 50 y 70 centímetros entre líneas de cultivo. La densidad de cultivo alcanza a 5-7 plantas por metro cuadrado y tiene una textura apropiada para el consumo si se corta a las 8 o 10 semanas de su cultivo en campo abierto. (2)

2.15.5 RIEGO

La planta poco exigente frente a necesidades de agua. El riego debe de ser poco frecuente. Pero en la etapa del almacenado y las primeras 2 semanas después del trasplante este no debe de sufrir estrés hídrico, por lo cual el riego debe ser más frecuente, es importante mantener la humedad del sustrato o terreno, ya que no soporta la sequía, pero sin encharcarlo porque podrían pudrirse las raíces, el riego es importante sobre todo al principio del cultivo, hasta que las temperaturas del día disminuyan (2)

2.16 PROPIEDADES NUTRITIVAS

La FAO considera que las propiedades de la *Brassicaceae* son diversas, además muy beneficiosas para la salud, para una mejor apreciación de sus beneficios a continuación las características nutricionales, propiedades y beneficios que aporta.

En la tabla 3 se observan algunas propiedades de la especie:

Tabla 3. Propiedades correspondientes en 100 g de la especie

Nutriente	Cantidad	Nutriente	Cantidad
Grasas saturadas	0.11 g	Grasas monoinsaturadas	0.02 g
Adenina	23 mg	Grasas poliinsaturadas	0.49 g
Agua	88.10 g	Guanina	17 mg
Calorías	43.70 kcal	grasa	0.90 g
Carbohidratos	2.54 g	luteína	21900 ug
Colesterol	0 mg	Proteína	4.30 g
Fibra insoluble	2.30 g	Purina	48 mg
Fibra soluble	1.93 g	quercetina	7.10 mg
Fibra	4.20 g	Zeaxantina	100 ug

Fuente: <http://alimentos.org.es/col-rizada>

2.17 FUENTES Y VÍAS DE EXPOSICIÓN DE LA ESPECIE AL CONTAMINANTE

El magnesio se encuentra de manera natural en la corteza terrestre y en muchos alimentos, como por ejemplo en legumbres, hortalizas de hojas verdes y semillas. (45) (47)

Las especies absorben Mg^{2+} a través de sus raíces ya que se absorbe por medio de las raíces a partir del suelo, otra vía de exposición es por medio de las hojas conocida como absorción foliar.

Los carbonatos de calcio son compuestos muy comunes en el suelo, se encuentran presentes en rocas sedimentarias como es la caliza y mármol. (49)

El proceso de absorción de Ca de las plántulas es por medio de sus raíces a partir del suelo, otra vía de exposición es por medio de las hojas conocida como absorción foliar.

2.18 MÉTODO VOLUMÉTRICO DEL VERSENATO

De acuerdo con el manual de edafología de la FES Iztacala, 2005 menciona que el método volumétrico se desarrolló por Cheng y Bray, este es un procedimiento de la determinación de los cationes intercambiables que consiste en extraer por medio de lixiviación y su valoración por una titulación con Versenato. Esta valoración está basada en constituir una solución de color a partir de Calcio y Magnesio presentes en condiciones alcalinas. (9)

2.19 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

El manual de edafología de la Fes Iztacala, 2005 menciona que algunas partículas en el suelo tienen la capacidad de absorber iones en su superficie, estos iones se pueden intercambiar con la solución del suelo y con las raíces. Esta propiedad está ligada a la presencia de colides como: arcillas, moléculas húmicas y oxi-hidróxidos de hierro y aluminio. Como en la mayor parte de los colides del suelo prevalecen las cargas negativas, los iones que más se retienen en el suelo son los que tienen carga positiva (cationes). La absorción de un catión por un ejemplo de absorción o micela coloidal y la liberación subsecuente de uno o más cationes, es el proceso químico de mayor relevancia en el suelo ya que gracias a este, el suelo resguarda y almacena los nutrimentos esenciales para las plantas. (47)

2.20 MEDICIÓN DE pH

Este proceso es usado para determinar qué tan ácido o básico puede llegar a ser el suelo, este se mide en una escala de 0 a 14, siendo 7 el valor más neutro que se puede utilizar en la medición. Los valores menores de 7 nos indican que es ácido y los valores que se encuentran por encima nos indican que es alcalino.

La medición en el suelo es importante ya que nos permite observar cual es la disponibilidad de nutrientes en las plantas para crecer y desarrollarse.

2.21 DOSIS LETAL 50

En el artículo “determinación de la dosis letal” J.C Jurado, 1989 define la DL50 como la cantidad de sustancia que se administra a un grupo de prueba, causa la muerte del 50% de ellos dentro de un periodo de tiempo determinado.

Esta se utiliza para evaluar el riesgo de una sustancia y como se clasifican las sustancias según su toxicidad. (45)

2.22 NORMATIVIDAD APLICABLE PARA VERTIFICAR CONCENTRACIONES PERMISIBLES

NOM-021-RECNAT-2000

Esta Norma indica las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de los suelos. Estudios, muestreo y análisis. (15)

La clasificación del suelo en cuanto a su valor de pH, se presenta en la siguiente tabla (Ver Tabla 4):

Tabla 4. Clasificación del suelo en cuanto a su valor de pH.

Clasificación	pH
Fuertemente ácido	< 5.0
Moderadamente ácido	5.1 - 6.5
Neutro	6.6 - 7.3
Medianamente alcalino	7.4 - 8.5
Fuertemente alcalino	> 8.5

Fuente: NOM-021-RECNAT-2000

2.23 CONTAMINANTES POR EVALUAR

2.23.1 MAGNESIO

Aranda, 1999 presenta que el Mg^{2+} es un elemento químico de numero atómico 12, lo que cuenta con 12 protones de núcleo atómico, se representa con el símbolo Mg^{2+} y se encuentra en el grupo 2 y 3 de la tabla periódica por lo que pertenece al grupo de los no alcalinotérreos. En la tierra, a temperatura y presión estándar, el elemento no se encuentra de manera libre metálica, sí que lo hace formado parte de diversos minerales y compuestos, en su mayoría óxido y sales.

El magnesio supone el 13% de la masa total de la corteza terrestre. El magnesio es el octavo elemento más abundante en ella además de ser el tercero más abundante en los océanos, solo superado por el hierro y el aluminio. (3)

Como sucede con otros elementos, el descubrimiento de este elemento puede atribuirse a una serie de acontecimientos que tienen su inicio en Inglaterra en 1618, donde un granjero descubrió que el agua presentaba un sabor amargo que las vacas se negaban a beber ya que

se formaban sales con el nombre de sales de Epson, en honor al lugar donde fueron descubiertas y con el paso del tiempo reconocidas como sulfato de magnesio. (3)

2.23.2 PROPIEDADES FÍSICAS

Es un metal sólido, de tipo paramagnético de puntos de fusión y ebullición de 650 a 1090°C. (3)

2.23.3 PROPIEDADES QUÍMICAS

El átomo de magnesio tiene una configuración electrónica $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2$.

El magnesio no se encuentra en su forma metálica libre en la naturaleza, si no formando compuestos con otros elementos, principalmente óxidos y sales.

El magnesio es un metal liviano, medianamente fuerte y de color blanco plateado.

En condiciones normales en la Tierra el magnesio se encuentra en estado sólido.

La masa atómica del magnesio es de 24,305 g/mol y su densidad de 1,738 g/ml.

El punto de ebullición del magnesio se encuentra en los 1107°C, su punto de fusión en los 650 °C

El magnesio es un metal altamente inflamable que entra en combustión fácilmente cuando se encuentra en forma de virutas o polvo.

El magnesio posee tres isótopos estables: ^{24}Mg , ^{25}Mg y ^{26}Mg , además de otros 19 isótopos inestables.

Al arder el magnesio produce una llama blanca incandescente muy intensa, lo cual motivó que fuera ampliamente utilizado en los comienzos de la fotografía.

El magnesio es uno de los metales más ligeros que existen. De hecho, el magnesio solo tiene dos tercios de la densidad del aluminio, lo que lo hace idóneo para diversas aplicaciones industriales.

El magnesio es muy abundante en la naturaleza y puede encontrarse en grandes cantidades en muchos minerales rocosos comunes como la dolomita, la magnesita, el olivino y la serpentina. (30)

2.23.4 USOS DEL Mg^{2+} EN EL SUELO

Uno de los usos del Mg^{2+} en la agricultura puede encontrarse en el sulfato de magnesio, conocida en su formación como una sal Epson este se encuentra como un polvo cristalino con un aspecto muy similar al de una sal con gránulos de magnesio rodeados por 7 moléculas de agua en cristalización.

El sulfato es una gran fuente de magnesio ya que cualquier plántula que presente deficiencia de magnesio al ser irrigada con este componente, mejorara la coloración verde en el cultivo, gracias a que mejora la producción de la clorofila vegetal.

2.23.5 IMPORTANCIA DEL Mg^{2+} EN LA PLÁNTULA

Halvin, 2014, menciona lo siguiente:

Niveles suficientes de Mg^{2+} son requeridos para maximizar el transporte de carbohidratos de órganos “Fuente” a órganos de demanda (como la raíz y semillas).

Mantener un adecuado suministro en la fertilización con Magnesio en etapas tardías, es importante también para minimizar la producción de sustancias fototóxicas que causan daños en los cloroplastos.

La deficiencia de Magnesio presenta un bajo crecimiento radicular, que repercute en una pobre absorción de otros nutrientes y agua, especialmente en condiciones de baja fertilidad del suelo.

Una fertilización rica en Magnesio en las plantas ayuda a la síntesis de azúcares y proteínas para aminoácidos esenciales. (26)

2.23.6 EFECTOS FITOTOXICOS DEL Mg^{2+} EN EL SUELO

Torres, 2020 indica que la toxicidad por Mg^{2+} puede conllevar a deficiencias en el proceso de la absorción de los nutrientes. El problema más común es que la planta pierda la oportunidad de tener los niveles correctos de Calcio y Potasio que son nutrientes de acción muy delicada.

De forma indirecta, esto indica que el déficit de Calcio y Potasio en las plantas indica que realidad se trata de un exceso de magnesio. (56)

2.23.7 EFECTOS BENÉFICOS DEL Mg^{2+} EN EL SUELO

El Mg^{2+} como nutriente es esencial sobre determinados efectos benéficos, entre los que destacan:

- Intervención del proceso de la fotosíntesis
- Intervención en la activación de numerosas enzimas, necesarias para el desarrollo vegetal.
- Contribuye a la síntesis de la proteína.

2.23.8 Mg EN AIRE, AGUA Y SUELO

Mikelsen, 2015 presenta como se encuentra el Mg^{2+} en el aire, agua y suelo:

2.23.8.1 AIRE

El óxido de magnesio es un polvo blanco. Cuando el óxido de magnesio finamente dividido se dispersa en el aire, se llama humo de óxido de magnesio. Se usa en la industria de refinación de metales, en material aislante eléctrico y como suplemento en piensos animales.

El PEL, límite legal de exposición admisible en el aire, es de 15 mg/m³ como promedio durante un turno laboral de 8 horas. (31)

2.23.8.2 AGUA

Las sales de magnesio dependen fundamentalmente de las formaciones geológicas atravesadas por el agua de forma previa a su captación. Las aguas subterráneas que atraviesan acuíferos carbonatada son las que presentan mayor dureza, dichos acuíferos formados por carbonato de magnesio. (31)

Las aguas subterráneas que proceden de los acuíferos con composición silicatada dan lugar al agua blanda, es decir con cantidades muy bajas de sales. (31)

2.23.8.3 SUELO

El magnesio que se encuentra presente en la solución del suelo se encuentra en una fracción intercambiable al encontrarse de manera electrostática fijada a la materia orgánica o en minerales arcillosos dependiendo de su liberación de efecto que tiene la absorción de un Mg⁺² en la solución del suelo en equilibrio con la fase de fracción intercambiable, en la no intercambiable el Mg²⁺ se presenta en la red cristal la cual es la base estructural directa de los silicatos del suelo.

Debido a la capa grande que se forma por la hidratación del ion Mg²⁺ están fijados en la superficie de intercambio (fuerza Columb-Lorentz) es relativamente poca y por lo tanto reversible.

El magnesio estabiliza la estructura del suelo a igual que el calcio.

El magnesio liberado en la meteorización de los silicatos representa para la nutrición de la planta una fuente que puede suministrar Mg²⁺, pero en forma muy lenta.

La magnesita y dolomita presentes en algunos suelos dejan de ser una fuente disponible de Mg²⁺ a partir de un pH>6, ya que bajo estas condiciones son casi insolubles.

Muchos suelos por naturaleza son pobres en magnesio. En especial en suelos livianos y ácidos el magnesio disponible para la planta con frecuencia no es suficiente para cubrir la demanda de Mg²⁺ que tienen los cultivos.

La absorción de Mg²⁺ por parte de la planta es influenciada negativamente por una relación Mg²⁺ y Ca²⁺, así como un bajo valor de pH de los suelos. De esta forma, a pesar del suelo tener un alto contenido de Mg²⁺, puede aparecer una deficiencia de magnesio latente o aguda para las plantas. (33)

2.23.9 EL Mg²⁺ EN LAS PLANTULAS

Cakmak, 2010 considera que las plantas absorben el magnesio de la solución del suelo Mg⁺², es muy móvil en la planta para diferentes procesos en su metabolismo.

Funciones:

El magnesio es un componente central de la clorofila ("hoja verde") y por esta razón el magnesio es imprescindible para la síntesis, transporte y almacenamiento de importantes compuestos vegetales (carbohidratos, proteínas, grasas).

Es la base estructural de la clorofila y por ello esencial en el proceso de la fotosíntesis y la fijación de CO_2 como coenzima.

Es esencial en todos los procesos de fosforilación de la planta, promoviendo la transferencia y conversión y acumulación de la energía. Esto es, en la fotosíntesis, síntesis de carbohidratos, proteínas, ruptura de los carbohidratos en ácido pirúvico (respiración).

Tiene un efecto activador sobre diversas enzimas.

Regula el balance energético de las plantas, porque es necesario para la formación de puentes entre enzimas y el portador de energía ATP (adenosín trifosfato). En dónde haya necesidad de ATP, es imprescindible la presencia de Mg^{2+} .

Influencia la formación de RNA (ácido ribonucleico) y con ello la transformación de la información genética en proteínas.

Es un componente de sustancias pécticas importantes para la estabilidad de la estructura celular, así como de la fitina, la cual es un acumulador de fósforo de baja energía (fósforo de fitina) de gran significado para la germinación de la semilla.

Es un componente estructura integrado en los ribosomas y la matriz del núcleo celular y contribuye a la estabilización de la membrana celular.

Participa en la formación de las paredes celulares.

Tiene propiedades hidratantes e influencia con ello el balance hídrico y la eficacia de las enzimas.

El magnesio y el calcio incrementan el valor de la concentración de componentes determinantes como el ácido cítrico y la vitamina C. Estos favorecen la calidad de las verduras al ser congeladas y la resistencia de las papas contra coloraciones en la elaboración de puré y harina para albóndigas. (6).

2.23.10 SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA DE Mg^{2+} EN LAS PLANTULAS

Por medio de la revisión de S.K Mishra, 2018. Referencia que los síntomas de la deficiencia de Mg^{2+} son los siguientes:

Clorosis entre las nervaduras de las hojas viejas: Las hojas más viejas de la planta comienzan a mostrar un color amarillento entre las nervaduras, mientras que las nervaduras permanecen verdes. Esto se debe a que el magnesio es un componente de la clorofila, el pigmento verde que las plantas usan para realizar la fotosíntesis.

Enrojecimiento o bronceado de las hojas: En algunas especies de plantas, las hojas afectadas pueden mostrar un color rojizo o bronceado.

Deformación de las hojas: Las hojas afectadas pueden comenzar a curvarse o enrollarse.

Caída de las hojas: En casos severos, las hojas afectadas pueden caerse. (13)

2.23.11 SÍNTOMAS DE EXCESO DE Mg^{2+} EN LAS PLANTÚLAS

J.A.M. Van den Berg, 2012 público que el exceso de Mg^{2+} en las plantas produce los siguientes síntomas:

Clorosis intervenal: Las hojas de la planta desarrollan un color amarillo entre las nervaduras, mientras que las nervaduras permanecen verdes. Esto se debe a que el exceso de magnesio interfiere con la absorción de otros nutrientes, como el hierro y el zinc.

Enrojecimiento o bronceado de las hojas: En algunas especies de plantas, las hojas afectadas pueden mostrar un color rojizo o bronceado.

Deformación de las hojas: Las hojas afectadas pueden comenzar a curvarse o enrollarse.

Caída de las hojas: En casos severos, las hojas afectadas pueden caerse.

2.24 CALCIO

Oriol Planas, 2021 menciona que el calcio es el mineral más abundante en el organismo. El calcio es un metal alcalinotérreo de color blanco plateado. Es un elemento que tiene afinidad por los lípidos, que en la Tierra se encuentra principalmente en la corteza, que consta de aproximadamente un 4,15 por ciento en peso de este elemento. Debido a sus propiedades reactivas, no ocurre en estado libre. Los minerales conocidos que contienen este elemento son la calcita, el yeso (sulfato cálcico) y la fluorita (fluoruro cálcico). Generalmente se puede obtener aislándolo por electrólisis de otros compuestos. (48)

2.24.1 PROPIEDADES FÍSICAS

- Elemento metálico con mayor conductividad eléctrica y térmica, color rojizo, es maleable, dúctil.
- Estado ordinario Sólido (paramagnético)
- Densidad 1550 kg/m³
- Punto de fusión 1115 K
- Punto de ebullición 1800 K
- Entalpía de vaporización 153,6 kJ/mol
- Entalpía de fusión 8,54 kJ/mol (3)

2.24.2 PROPIEDADES QUÍMICAS

- Es resistente, no se corroe en situaciones normales.
- Peso molecular = 74 g/mol
- Densidad= 2.08-2.34 g/cm³.
- pH de una solución saturada, a 25 grados centígrados= 12.4
- Soluble en agua, glicerina, soluciones de azúcar o de cloruro de amonio. (58)

2.24.3 USOS DEL Ca²⁺ EN EL SUELO

Uno de los principales usos del Ca en el suelo, es el nitrato de calcio que está presente en infinidad de planes de fertilización. El Ca es un nutriente vital para edificar las paredes celulares de las plantas.

Entre otros fertilizantes podemos encontrar el cloruro de calcio, hidróxido de calcio, acetato de calcio.

2.24.4 EFECTOS FITOTOXICOS DEL Ca²⁺ EN EL SUELO

Los efectos de la salinidad en el suelo se pueden concentrar en 3 aspectos entre los que se encuentran: relaciones hídricas, balance de energía y nutrición.

Relaciones hídricas: el primer efecto se presenta con el estrés hídrico ya que la planta no puede extraer agua del suelo al presentar la disolución del suelo a una alta concentración de sales. Como consecuencia gran parte de un suelo salino es absorbible por las plantas.

Balance energético: aquí se presenta una disminución en su altura, ya que al aumentar la presión osmótica del suelo se ven obligadas a una adaptación de sus células para seguir absorbiendo agua.

Nutrición: en este aspecto se presentan una serie de modificaciones debido a las variaciones del pH que afectan la disponibilidad de los nutrientes, ya que la presencia de Ca²⁺ provoca antagonismos sobre otros. (11)

2.24.5 EFECTOS BENÉFICOS DEL Ca EN EL SUELO

La revista de edafología (M.A.S Gómez, 2002) menciona que la presencia de Ca²⁺ en el suelo es fundamental en la estructura de los suelos agrícolas para obtener un sistema eficiente, ya que genera los siguientes beneficios:

Actúa como un elemento estructural y al mismo tiempo genera una barrera de defensa contra fitotoxidades.

Actúa como elemento catalizador en muchas reacciones entre las que están la calidad y la producción. (7)

2.24.6 CALCIO EN EL AIRE, AGUA Y SUELO

2.24.6.1 AIRE

J. Smith 2012. Presenta que el calcio se encuentra en forma de partículas sólidas, de manera principal en forma de carbonato de calcio (CaCO_3), que es el componente principal de la piedra caliza y la marga. Estas partículas se liberan a la atmosfera por la erosión de las piedras y los suelos. (11)

2.24.6.2 AGUA

C. Brown, 2018. Proporciona la siguiente información de cómo podemos encontrar el calcio en el agua:

- Carbonato de calcio (CaCO_3): El carbonato de calcio es la forma más común de calcio en el agua. Se encuentra en rocas y suelos calcáreos, y se libera a los acuíferos por la disolución.
- Cloruro de calcio (CaCl_2): El cloruro de calcio es una forma soluble de calcio que se encuentra en aguas subterráneas y superficiales. Se puede formar por la disolución de rocas y suelos, o por la contaminación industrial.
- Sulfato de calcio (CaSO_4): El sulfato de calcio es una forma menos común de calcio en el agua. Se encuentra en aguas subterráneas y superficiales, y se puede formar por la disolución de rocas y suelos, o por la contaminación industrial. (12)

2.24.6.3 SUELO

Es un macronutriente para las plantas, ayuda a la absorción del magnesio, almacenamiento de fosfatos, fundamental en la fotosíntesis y traslado de azúcar en el sistema, es el responsable de crear y mantener la estructura de los suelos agrícolas. Con una correcta agrupación de partículas, el aire y el agua pueden entrar a través de los poros y favorecer el crecimiento y desarrollo de las raíces, ayudando a absorber los nutrientes y el agua del suelo. (59)

2.24.7 CALCIO EN LAS PLANTAS

Fertibox, 2020 toma en cuenta que el calcio es un elemento importante para el desarrollo de las plantas, ya que forma parte de la pared celular, participa en la división y elongación celular, y controla la permeabilidad e integridad de la membrana celular, por mencionar algunas de sus funciones dentro de la planta. Todas las funciones donde participa el calcio son posible gracias a las diferentes formas en las que se encuentra este nutrimento dentro de la planta, tales como: como calcio libre o soluble en agua, calcio ligado a proteínas (pectatos y tatos) y calcio insoluble (Oxalatos y Silicatos) (32)

Funciones en la planta:

- División celular adecuada y elongación
- El desarrollo de la pared celular adecuada
- La absorción de nitrato y el metabolismo
- La actividad enzimática
- Metabolismo del almidón (44)

2.24.8 SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA DE Ca^{2+} EN LAS PLANTAS

El sistema más común de la deficiencia de calcio es un pobre crecimiento radical.

Las raíces con deficiencia de calcio se tornan negras y se pudren.

Las hojas nuevas y otros tejidos en crecimiento desarrollan el síntoma de detener su desarrollo e incluso se mueren. En el fruto se desarrolla una pudrición seca.

Pero está muy a menudo se asocia a un bajo abastecimiento de agua con relación al ritmo de crecimiento de los frutos.

Las plantas leguminosas presentan mayor demanda de calcio al igual que la mayoría de las hortalizas. Los brotes nuevos también se pueden deformar. (55)

2.24.9 SÍNTOMAS DE EXCESO DE Ca^{2+} EN LAS PLANTAS

Singh, S.K. (2019) presenta que cuando una planta tiene exceso de Calcio presentan los siguientes síntomas:

- Clorosis intervenal: Las hojas de la planta desarrollan un color amarillo entre las nervaduras, mientras que las nervaduras permanecen verdes. Esto se debe a que el exceso de calcio interfiere con la absorción de otros nutrientes, como el hierro y el zinc.
- Enrojecimiento o bronceado de las hojas: En algunas especies de plantas, las hojas afectadas pueden mostrar un color rojizo o bronceado.
- Deformación de las hojas: Las hojas afectadas pueden comenzar a curvarse o enrollarse.
- Caída de las hojas: En casos severos, las hojas afectadas pueden caerse. (13)

2.25 SUSTRATO

Alberto Masaguer explica que un sustrato es un material que se puede utilizar para el anclaje, soporte y aporte de nutrientes a las plantas.

Los sustratos se utilizan en una variedad de sistemas de cultivo ya que proporciona el apoyo en la estructura para las raíces de las especies. (36)

2.25.1 PEAT MOSS

De acuerdo con hydro enviroment es un material que se da por medio de la descomposición de musgos en ambientes húmedos y ácidos; se requería que el tipo de suelo fuera apto para la especie y su crecimiento, se decidió usar este sustrato porque es un suelo estéril; además de que brindaba diversos beneficios, entre los que se encuentran que es un material absorbente lo cual ayuda a mantener la humedad; tiene un pH neutro por lo que no genera microorganismos; es de fácil manipulación.

Los aportes específicos del peat moss a las plantas dependen de la etapa de crecimiento de la planta y del tipo de cultivo. En general, el peat moss puede ayudar a las plantas de las siguientes maneras:

- Mejora la germinación de las semillas: El peat moss proporciona un ambiente húmedo y aireado que es ideal para la germinación de las semillas.
- Fomenta el enraizamiento de las plántulas: El peat moss ayuda a las plántulas a desarrollar un sistema radicular sano.
- Mejora el crecimiento de las plantas: El peat moss ayuda a las plantas a absorber agua y nutrientes del suelo.
- Reduce el estrés hídrico: El peat moss ayuda a las plantas a resistir la sequía.

CAPÍTULO III

DESARROLLO

Para el monitoreo y análisis del crecimiento de las plántulas bajo el efecto de Ca^{2+} y Mg^{2+} , a una concentración alta, media y baja conocidas, se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

3.1 ÁREA DE ESTUDIO

Se inicio identificando el área de estudio, la cual se realizó tomando en cuenta la solicitud de la parcela 130 en la zona de las chinampas en Xochimilco que se encuentra ubicada en la Ciudad de México, CP.16034 al sureste de la capital, junto a el centro histórico. Una de las condiciones técnicas que nos brinda una chinampa son suelos drenados, relacionando a suelo y disponibilidad de nutrientes.

De acuerdo con la investigación realizada, se encontró que los niveles de pesticidas fosforados en el agua de Xochimilco estaban dentro de los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud, generando un impacto negativo en la flora y la fauna lo que puede llegar a la perdida de la biodiversidad en esta localidad.

Por lo tanto, el uso de los pesticidas en el agua genera el principal problema en la parcela ya que esta es regada con esa agua entre los metales de interés a estudiar.

3.2 CULTIVO DE LA BRASSICACEAE

Posteriormente se procedió a realizar el cultivo de la especie se realizó a nivel laboratorio en el Estado de México por lo tanto la especie se enfrentó a un clima templado subhúmedo con una temperatura de 25°C y a precipitaciones.

Se tomo como base el artículo de un huerto en mi balcón 2023, la especie (*Brassicaceae*) se plantó en semilleros de plástico de 50 compartimientos, dejando una separación de una fila por plantación para que de esta manera la plántula tuviera espacio de crecimiento entre una y otra.

1. El sustrato utilizado fue Peat Moss.
2. La especie se sembró utilizando 6 semilleros de plástico.
3. En cada semillero se plantaron 25 semillas, para dar el suficiente espacio para su crecimiento entre una y otra.
4. En total se plantaron 150 plántulas

Como se muestra en la ilustración1:

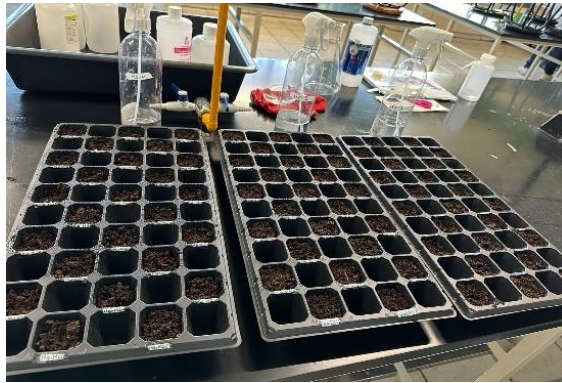


Ilustración 1: Siembra de la especie

3.3 REGADO DE LA ESPECIE CON LOS CONTAMINANTES A PRUEBA

Una vez cultivada la especie se realizó el riego de esta especie de manera diaria tomando en cuenta lo que se indica en bibliografía consultada (Cultivo de Kale 2023), que indica que el riego debe realizarse de manera diaria.

Para evaluar el efecto de los contaminantes sobre el crecimiento de las plántulas, se prepararon distintas soluciones de los contaminantes a 3 concentraciones diferentes y con cada una de ellas se realizó el riego.

Se utilizaron 6 semilleros para verificar el efecto de los contaminantes de estudio: De los cuales, se destinaron 3 semilleros para someterlos al contaminante 1 (Magnesio) y 3 más para someterlo al contaminante 2 (Calcio).

Estos contaminantes fueron preparados en soluciones a concentraciones conocidas, la descripción se muestra más adelante.

Para los semilleros del contaminante Magnesio, se designó 1 semillero para ser regado a una concentración baja, un segundo semillero para ser regado con una concentración media y un tercer semillero con una concentración alta.

Se realizó lo mismo, para el contaminante Calcio.

Se etiquetó cada uno de los semilleros con las concentraciones alta, media y baja para cada uno de los contaminantes. El riego se llevó a cabo diariamente, monitoreando el crecimiento del tallo, raíz y hojas.

Como se observa en la ilustración 2:



Ilustración 2. Etiquetado de semilleros

3.4 PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES CON LOS CONTAMINANTES A EVALUAR (Mg^{2+} y Ca^{2+})

Se preparo una serie de soluciones a concentraciones conocidas de Mg^{2+} y Ca^{2+} , tomando como referencia 2 artículos:

Para las soluciones de Mg^{2+} , se consideró como parte de esta investigación el artículo llamado Magnesium stress signaling in plant: Just beginning Wanli Guo, 2015, en el cual se indica que el suelo soporta una concentración baja de 0.011g/L y una concentración alta de 0.809 g/L.

Se partió de estas concentraciones como base y se tomó una concentración más al azar entre ellas.

Las soluciones fueron envasadas y etiquetadas como se puede observar en la ilustración 3:

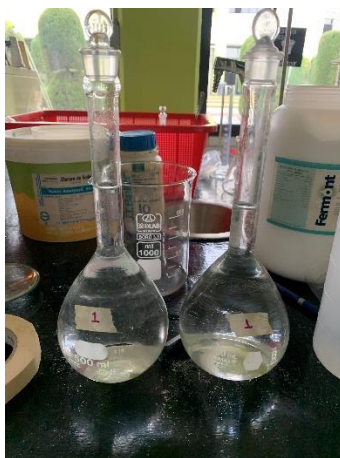


Ilustración 3. Soluciones de Mg^{2+} y Ca^{2+}

Los valores de la preparación de las soluciones se muestran en la tabla 5:

Tabla 5. Concentraciones de Mg^{2+} utilizadas

Concentración de Magnesio	Concentraciones (g/L)
Alta	0.809
Media	0.015
Baja	0.011

Fuente: Elaboración propia

Para la preparación de las soluciones de Ca^{2+} y Mg^{2+} se usaron los siguientes materiales: un vaso de precipitado de 1 L, vidrios de reloj, espátula, desecador, pissetas, termómetro, una balanza granataria, pinzas, agua destilada, matraz aforado de 1L, recipientes de plástico de capacidad de 1L.

3.4.1 SOLUCIONES DE Mg^{2+} :

Concentración alta de magnesio

Se pesaron 0.809g de Mg^{2+} en la balanza granataria, se aforo en un volumen de 1 L de agua destilada y agitar hasta que la solución sea homogénea.

Concentración media de magnesio

Se pesaron 0.015g de Mg^{2+} en la balanza granataria, se aforo en un volumen de 1 L de agua destilada y se agito hasta que la solución sea homogénea.

Concentración baja de magnesio

Se pesaron 0.0119g de Mg^{2+} en la balanza granataria, se aforo en un volumen de 1 L de agua destilada y se agito hasta que la solución sea homogénea.

3.4.2 SOLUCIONES DE Ca^{2+} :

Para la preparación de soluciones de Ca^{2+} , se consideró el artículo llamado Ca^{2+} en suelos de diferentes tipos, G. D. Jong 2006, en el cual se indica que el suelo soporta una concentración baja de 0.030g/L y una concentración alta de 0.121 g/L.

Se partió de estas concentraciones como base y se tomó una concentración al azar más entre ellas.

Los valores de la preparación de las soluciones se muestran en la tabla 6:

Tabla 6. Concentraciones de Ca^{2+} utilizadas.

Concentración de Calcio	Concentraciones (g/L)
Alta	0.121
Media	0.060
Baja	0.030

Fuente: Elaboración propia

Cada una de estas soluciones fueron utilizadas para el riego de la especie.

Concentración alta de calcio

Se pesaron 0.121g de Ca^{2+} en la balanza granataria, se aforo en un volumen de 1 L de agua destilada y agito hasta que la solución sea homogénea.

Concentración media de calcio

Se pesaron 0.060g de Ca^{2+} en la balanza granataria, se aforo en un volumen de 1 L de agua destilada y agito hasta que la solución sea homogénea.

Concentración baja de calcio

Se pesaron 0.030g de Ca^{2+} en la balanza granataria, se aforo en un volumen de 1 L de agua destilada y agito hasta que la solución sea homogénea.

3.5 MONITOREO DE LA ESPECIE

El monitoreo consistió en la medición del tallo (hipocótilo) y raíz (radícula) y conteo hojas

El monitoreo de cada plántula a las distintas concentraciones de contaminantes se realizó de manera diaria hasta el deceso de las plántulas.

Para las plántulas sometidas al riego con el contaminante Magnesio, el riego se realizó de manera alternada un día sí y otro no, por un periodo de cultivo de 28 días. Por lo que en los resultados se muestra un registro con únicamente 13 datos.

Para las plántulas sometidas al riego con el contaminante Calcio, el riego se realizó de manera diaria, por un periodo de cultivo de 28 días. Por lo que en los resultados se muestra un registro de los 28 días.

El monitoreo se realizó desde su plantación, el proceso de germinación y su deceso para observar el comportamiento de cada una sometidas a diferentes concentraciones. El monitoreo consistió en medir desde la raíz hasta el tallo; y se realizó el conteo de hojas; estas medidas fueron registradas en una tabla de monitoreo para poder tener un margen de comparación entre cada una.

A continuación, se muestra cómo se llevó a cabo el monitoreo (Ver ilustración 4):



Ilustración 4. Medición de la plántula

3.6 ESTIMACIÓN DE LA DOSIS LETAL MEDIA (DL50)

- Se seleccionaron los semilleros con las plántulas regadas a diferentes concentraciones con las soluciones de Mg^{2+} y Ca^{2+} .
- Se determinó la dosis inicial que se administra a la muestra.
- Se llevó a cabo el monitoreo durante un mes de cultivo de la especie, para detectar los síntomas de toxicidad y deceso.
- Se monitoreó cuántas plántulas murieron en la mitad del tiempo de cosecha. (Ver Tablas 9 y 10)
- Se calculó la dosis con la siguiente fórmula:

$$DL50 = X1 + (X2 - X1) / 2$$

Donde:

X1= dosis de la sustancia que mata al 10% de las plántulas.

X2= dosis de la sustancia que mata al 90% de las plántulas.

3.7 VERIFICACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE LOS CONTAMINANTES PRESENTES EN EL SUELO DE ESTUDIO

Para la determinación del Ca^{2+} y Mg^{2+} se utilizó el método del Versenato, el cual se realizó en el laboratorio escolar.

3.7.1 MÉTODO VOLUMÉTRICO DEL VERSENATO PARA LA DETERMINACIÓN DE Ca^{2+} y Mg^{2+} .

La verificación de las concentraciones de los contaminantes presentes en el suelo se realizó con las muestras de suelo en las que fue cultivada la especie después de su deceso, mediante el método del Versenato, de acuerdo con el procedimiento indicado en el manual de edafología de la UNAM, Muñoz, 2005.

Los materiales que se usaron para este método fueron: muestra de suelo seco y cernido a través de un tamiz de malla No.10, balanza semianalitica, vasos de precipitados de 100 ml, vasos de precipitados de 150 ml, probeta de 50 ml, papel filtro, embudos, pipeta de 10 ml, probetas de 10 ml, soporte universal con pinzas.

A continuación, se muestran los reactivos que se utilizaron y la descripción de cómo se preparó cada uno:

1. Solución de acetato de sodio 1N pH7.0: pesar 82.037 g de acetato de sodio anhidrido (CH_3COONa); se disolvió en agua destilada y se aforo a 1L. Se ajusto el pH a 7.0 con ácido acético (CH_3COOH) o hidróxido de sodio (NaOH) diluidos.
2. Solución buffer pH 10.0: pesar 67.5 g de cloruro de amonio (NH_4Cl) y se disolvió en 200 ml de agua destilada. Se agrego 570 ml de hidróxido de amonio concentrado (NH_4OH) y se aforo a 1L con agua destilada. Se ajusto el pH a 10.0 con ácido clorhídrico (HCl) o hidróxido de amonio (NH_4OH) (Se agrego aproximadamente 90 mL de ácido clorhídrico concentrado por litro).
3. Solución de clorhidrato de hidroxilamina: pesar 4.5 g de clorhidrato de hidroxilamina (NH_2OHHCl); Se disolvió en alcohol metílico y se aforo a 100mL.
4. Solución de cianuro de potasio al 2%: se pesaron 2g de cianuro de potasio (KCN), se disolvieron en agua destilada y aforaron a 100mL.
5. Solución iniciadora de negro eriocromo T: pesar 0.2 g de indicador, se disolvió y diluyo en 25 ml de alcohol metílico, que contenga 1 g de clorhidrato de hidroxilamina (NH_2OHHCl). Preparar solución cada 3 semanas.
6. Solución de EDTA (versenato) 0.02 N: Se pesaron 4 g de la sal disódica del ácido etilendiaminotetraacético ($\text{PM}= 372.254$), previamente secada en la estufa durante 2 horas a 80°C y 0.079 g de cloruro de magnesio hexahidratado ($\text{MgCl}_{26}\text{H}_2\text{O}$). Se disolvieron en agua destilada y aforar a 1L. Se guardo la solución en un recipiente de polietileno.
7. Solución de cloruro de calcio 0.02N: pesar 2.2198 g de cloruro de calcio anhidro (CaCl_2), se diluyo con agua destilada y aforar a 1L.
8. Solución de hidróxido de sodio al 5%; pesar 5 g de hidróxido de sodio (NaCl) y 10 de cloruro de amonio y se aforo a 100 mL.

9. Murexida: pesar 40 g de sulfato de potasio (KSO_4) o cloruro de sodio (NaCl) y 10 g de cloruro de amonio (NH_4Cl), se trituro en un mortero y se mezcló con 0.6 g de murexida (purpurato de amonio $\text{C}_8\text{H}_8\text{N}_6\text{H}_2\text{O}_4$). Se mantuvo la mezcla en un frasco ámbar con tapa esmerilada.

10. Carbón activado

Una vez preparados los reactivos, se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

1. Se pesaron 5 g de suelo y se colocaron en un vaso de precipitado de 150 mL.
2. Se agregaron 50 mL de solución de acetato de sodio o de amonio.
3. Se agrego 0.1 g de carbón activado.
4. Se agito durante 10 minutos y se dejó reposar durante 30 minutos.
5. Se filtro.
6. Se aforo el filtrado a un volumen de 50 mL con la solución de acetato de sodio según sea el caso. (solución 1)

Para determinar Ca^{2+} y Mg^{2+} , se llevaron a cabo los siguientes pasos:

1. Se tomaron 10 ml del filtrado (blanco)
2. Se agregaron 10 mL de solución buffer pH 10.0 (solución 2).
3. Se agregaron 5 gotas de cianuro de potasio al 2% (solución 4).
4. Se agregaron 5 gotas de solución de clorhidrato de hidroxilamina (solución 3).
5. Se agregaron 5 gotas de solución indicadora negro eriocromo T. (solución 5).
6. Se tituló con EDTA (versenato), hasta que virara de purpura a azul.

Una vez preparados los reactivos, se llevó a cabo el siguiente procedimiento para la determinación de Ca^{2+} :

1. Se tomaron 10mL de filtrado.
2. Se agregaron 5mL de solución de hidróxido de sodio al 5% (solución 8).
3. Se agregaron 0.1g de murexida como indicador (solución 9).
4. Se titularon con EDTA (versenato), hasta observar que virara de rosa a lila.

Posteriormente en cada una de las muestras de suelo en las que fue cultivada la especie, se realizó también la determinación de la capacidad de intercambio catiónico tomando como base lo indicado en el manual de Edafología, 2005, en el que se indica que para comprobar que el método del versenato funciona de manera correcta se sugiere que se mida la conductividad eléctrica y el pH, en cada una de las soluciones con las muestras de prueba.

A continuación, se muestra un ejemplo de la titulación realizada con el método del versenato, donde se aprecia el vire de rosa a lila (Ver Ilustración 5):



Ilustración 5. Vire de color rosa a lila de la titulación

3.7.2 DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO

El procedimiento se muestra a continuación:

1. Se pesaron 5g de suelo y colocho en un embudo con papel filtro.
2. Se agrego la solución de cloruro de calcio 5 veces, 10 mL cada vez (eliminar el filtrado).
3. Se agrego el alcohol etílico 5 veces, 10 mL cada vez (eliminar el filtrado).
4. Se traslado en el embudo con muestra a un frasco limpio y se agregó solución de cloruro de sodio 5 veces, 10 mL cada vez.
5. Se guardo el filtrado y aforo a 50 mL con la misma solución de NaCl.
6. Se agregaron 10 mL de la solución buffer pH. 10.0 al filtrado de cloruro de sodio.
7. Se agregaron 5 gotas de solución de cianuro de potasio.
8. Se agregaron 5 gotas de solución de hidróxido de hidroxilamina.
9. Se agregaron 5 gotas de solución indicadora de negro eriocromo T.
10. Se título con EDTA (versenato), hasta que vire de purpura a azul.

3.7.3 DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Para la medición de la conductividad eléctrica se requirieron los siguientes materiales: muestra de suelo seco y cernida a través de un tamiz de malla No.10, balanza granataria, recipiente de plástico con capacidad de 600 g, vaso de precipitados de 250 ml, bureta de 100ml, espátula, papel filtro, embudo Buchner, matraz Kitasato de 500ml, piceta con agua destilada, bomba de vacío, probeta de 250 ml, conductímetro, agua destilada.

El procedimiento que se realizó para dicha medición fue el siguiente:

- Se pesaron 25 g de suelo y se colocaron en un vaso de precipitado, hasta que se llegó al 100% de retención de agua. Se adiciono suficiente agua destilada hasta observar 2mm de agua por encima de la superficie del suelo teniendo precaución de no hacer espuma.
- Se tapo con papel aluminio y se dejó reposar durante 24 horas en refrigeración.
- Se decanto el agua o en caso de ser necesario centrifugar a 5000 rpm durante 5 minutos para obtener el líquido.
- Se coloco el líquido en un matraz de 250 ml y con un conductímetro, se midió la conductividad en mili Siemens (mS) de acuerdo con las indicaciones.

La medición de la conductividad se llevó a cabo mediante el uso del equipo TDS&EC que permite conocer de manera precisa este valor como se muestra en la ilustración 6:

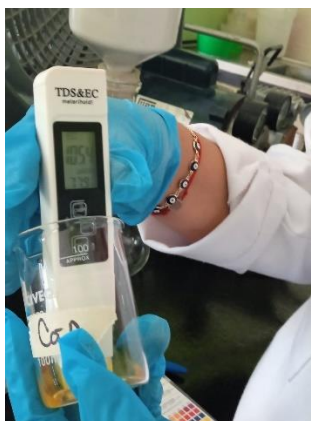


Ilustración 6. Medición de la conductividad eléctrica

3.7.4 MEDICIÓN DE pH

1. Se coloco en un vaso de precipitado 15g de suelo y 37.5 ml de agua destilada.
2. Se agito durante 5 minutos.
3. Se midió el pH haciendo uso de papel pH.

La medición del pH fue por medio del uso de papel pH como se observa en la ilustración 7:



Ilustración 7. Medición del pH

3.7.5 MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA

Con el mismo equipo TDS&EC se realizó la medición de la temperatura para cada una de las pruebas (Ver ilustración 8):



Ilustración 8. Medición de la temperatura en °C

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 MONITOREO Y ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DEL TALLO (HIPOCÓTILO), RAÍZ (RADÍCULA) Y HOJAS BAJO EL EFECTO DE Ca^{2+} Y Mg^{2+} A UNA CONCENTRACIÓN ALTA, MEDIA Y BAJA CONOCIDAS.

A continuación, se presentan los resultados de la medición en el primer ensayo de la especie *Brassicaceae* a condiciones normales con el riego de agua sin ningún contaminante, donde las mediciones se realizaron de manera diaria hasta el deceso de la plántula:

Tabla 7. Primer monitoreo regado con agua

Nombre de las muestras	Días de monitoreo/Longitud del tallo la plántula (cm)												Medida final de tallo a raíz (cm)	Conteo final de hojas
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
M-01	SC	SC	SC	SC	1	1.2	1.5	1.7	1.9	2.1	2.5	2.8	5.5	2
M-02	SC	SC	SC	SC	0.8	1.3	1.6	1.8	2.1	2.3	2.6	2.9	5.9	2
M-03	SC	SC	SC	SC	0.5	0.7	1	1.3	1.5	1.8	2	2.2	5.2	2
M-04	SC	SC	SC	SC	SC	0.6	0.9	1.2	1.4	1.6	2	2.3	5.3	2
M-05	SC	SC	SC	SC	SC	0.5	0.8	1.2	1.6	1.9	2.4	2.7	5.7	2
M-06	SC	SC	SC	SC	SC	0.2	0.4	0.5	0.7	0.8	1	1.3	4.3	2
M-07	SC	SC	SC	SC	SC	0.8	1.2	1.5	1.8	1.8	1.8	1.8	3.8	2
M-08	SC	SC	SC	SC	SC	0.5	0.8	1.1	1.3	1.6	1.9	2.3	5.3	2
M-09	SC	SC	SC	SC	SC	0.8	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.5	5.5	2
M-10	SC	SC	SC	SC	SC	0.6	0.9	1	1.3	1.7	2	2.3	6.3	2
M-11	SC	SC	SC	SC	SC	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.4	1.7	5.9	2
M-12	SC	SC	SC	SC	SC	SC	0.3	0.5	0.8	1	1.3	1.5	6	2
M-13	SC	SC	SC	SC	SC	SC	0.4	0.6	1	1.3	1.7	2	6.2	2
M-14	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
M-15	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG

Fuente: Elaboración propia

El tamaño de la muestra fue de 15 plántulas por ser la muestra piloto, el 86% de las plántulas germinaron y presentando un crecimiento a partir del día 5 y una clorosis en el 12 mientras tanto el 13% de las plántulas no germinaron.

Nota:

SC= sin crecimiento (aún no nace)

NG= no germino

Se realizo un segundo cultivo, el cual aún se rego sin aplicar ningún contaminante y se cultivó tomando en cuenta lo citado en la bibliografía; la medición de las plántulas se realizó de

forma alternada, un día sí y otro no. Registrando las medidas de cada una de las plántulas, como se observan en la siguiente tabla (Tabla 8).

Tabla 8. Segundo monitoreo regado con agua sin contaminante

Nombre de las muestras	Días de monitoreo/Longitud del tallo la plántula (cm)																		Medida final de tallo a raíz (cm)	Cuento final de hojas
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
M-01	SC	SC	SC	SC	0.5	0.7	1	1.3	1.5	1.8	2.1	2.5	2.8	3.2	3.7	3.9	4.3	4.3	7.3	4
M-02	SC	SC	SC	SC	0.5	0.6	0.8	0.8	0.9	1.2	1.3	1.3	1.5	1.6	1.9	2.1	2.1	2.4	4.4	4
M-03	SC	SC	SC	SC	0.6	0.7	0.9	1.1	1.5	1.7	2	2.5	2.8	3.2	3.4	3.7	4	4.4	7.4	4
M-04	SC	SC	SC	SC	0.7	0.9	1.3	1.6	1.9	2.1	2.4	2.7	2.9	3	3.4	3.7	4.3	4.7	8.7	4
M-05	SC	SC	SC	SC	0.5	0.6	0.8	1.4	1.7	2	2.5	2.8	3.2	3.6	3.9	4.3	4.5	4.8	7.8	4
M-06	SC	SC	SC	SC	0.6	0.8	1.1	1.5	1.8	2.2	2.3	2.7	2.8	3.3	3.4	3.7	3.9	4.2	6.2	4
M-07	SC	SC	SC	SC	0.8	1	1.4	1.7	1.9	2.3	2.6	2.9	3.2	3.5	3.9	4.5	4.7	5	8	4
M-08	SC	SC	SC	SC	0.7	1.1	1.6	1.9	2.3	2.6	2.7	3.1	3.5	3.8	4	4.7	4.9	5.1	8.1	4
M-09	SC	SC	SC	SC	0.5	0.7	0.9	1.3	1.7	2	2.4	2.6	2.6	2.9	3.1	3.6	4.1	4.7	7.7	4
M-10	SC	SC	SC	SC	0.7	1.2	1.6	1.9	2.4	2.7	3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.2	5.7	6	9	4
M-11	SC	SC	SC	SC	0.8	1.4	1.7	2	2.3	2.5	2.8	3	3.4	3.4	3.7	3.9	3.9	4.3	7.3	4
M-12	SC	SC	SC	SC	0.7	1.1	1.3	1.6	1.9	2.2	2.6	2.9	3.3	3.5	3.6	3.8	4.1	4.3	8.3	4
M-13	SC	SC	SC	SC	0.7	1	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	2.9	3.3	3.4	3.7	4.2	4.5	4.8	6.3	4
M-14	SC	SC	SC	SC	0.8	1.2	1.6	2.1	2.4	2.7	2.9	3.3	3.7	3.8	4.3	4.6	4.8	5.3	9.3	4
M-15	SC	SC	SC	SC	0.9	1.3	1.7	2	2.3	2.7	2.9	3.1	3.1	3.4	3.7	3.9	4	4.6	7.6	4
M-16	SC	SC	SC	SC	0.4	0.5	0.8	1.4	1.6	1.9	2.2	2.6	2.9	3.4	3.7	4.3	4.7	5.5	7.5	4
M-17	SC	SC	SC	SC	0.8	1	1.3	1.4	1.7	2.1	2.4	2.7	3.1	3.3	3.5	3.8	3.9	4.2	6.2	4
M-19	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	NG	NG
M-20	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	NG	NG
M-21	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	NG	NG
M-22	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	NG	NG
M-23	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	NG	NG
M-24	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	NG	NG
M-25	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	NG	NG

Fuente: Elaboración propia

El tamaño de la muestra fue de 25 plántulas, el 68% de las plántulas germinaron y presentando un crecimiento a partir del día 5 y una clorosis en el día 18 mientras tanto el 32% de las plántulas no germinaron.

Nota:

SC= sin crecimiento (aún no nace)

NG= no germino

A continuación, se muestran los cultivos de las plántulas bajo los efectos de los contaminantes de prueba.

En el tercer cultivo, se usaron las soluciones preparadas a las concentraciones conocidas del **contaminante** Mg^{2+} , para observar su comportamiento y realizar una comparativa con la especie de las muestras testigo regadas con solo agua.

El monitoreo se realizó de manera terciada, un día sí y otro no, por lo que en la Tabla 9 se muestran 13 registros. De esta manera se muestran también las tablas 10 y 11. Cabe mencionar que el cultivo tuvo una duración de 28 días.

Tabla 9. Tercer monitoreo con Mg^{2+} a concentración alta (0.809 g/L)

[illegible]

Mg-A-15	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	0	0
Mg-A-16	SC	SC	SC	SC	0.7	0.9	1.4	1.7	2	2.6	3.2	3.6	4.2	8.2	4
Mg-A-17	SC	SC	SC	SC	0.5	0.9	1.3	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	5.6	4
Mg-A-18	SC	SC	SC	SC	0.4	0.7	1	1.3	1.8	2.2	2.5	2.9	3.4	6.4	4
Mg-A-19	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	0	0
Mg-A-20	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	0	0
Mg-A-21	SC	SC	SC	SC	SC	0.8	1.3	1.7	2.2	2.6	2.9	3.4	3.7	7	4
Mg-A-22	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	0.7	1.1	1.4	1.8	2	2.5	5.5	4
Mg-A-23	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	0	0
Mg-A-24	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	0	0
Mg-A-25	SC	SC	SC	SC	SC	0.4	0.8	1.3	1.7	1.9	2	2.4	2.8	6.2	4

Fuente: Elaboración propia

El tamaño de la muestra fue de 25 plántulas, el 56% de las plántulas germinaron y presentando un crecimiento a partir del día 5 y una clorosis en el día 11 hasta el 18 mientras tanto el 44% de las plántulas no germinaron.

Nota:

SC= sin crecimiento (aún no nace)

NG= no germino

Tabla 10. Cuarto monitoreo con Mg^{2+} a una concentración media (0.015 g/L)

Nombre de las muestras	Días de monitoreo/ longitud del tallo la plántula (cm)													Medida final de tallo a raíz (cm)	Conteo de hojas
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
Mg-M-01	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	0	4
Mg-M-02	SC	SC	SC	SC	0. 1	0. 4	0. 8	1. 3	1. 6	2	2	2	2	5	4

[illegible]

[illegible]

Fuente: Elaboración propia

El tamaño de la muestra fue de 25 plántulas, el 40% de las plántulas germinaron, siendo menos de la mitad y presentando un crecimiento a partir del día 5 y una clorosis en el día 9 hasta el 18 mientras tanto el 60% de las plántulas no germinaron.

Nota:

SC= sin crecimiento (aún no nace)

NG= no germino

Tabla 11. Quinto monitoreo con Mg^{2+} a concentración baja (0.011 g/L)

[illegible]

TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE COACALCO

Mg-B-06	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	0	0
Mg-B-07	SC	SC	SC	SC	SC	SC	0.6	0.8	1.2	1.6	2.2	2.2	2.2	5.2	4
Mg-B-08	SC	SC	SC	SC	0.3	0.6	0.9	1.4	1.8	2.2	2.6	2.9	3.5	6.5	4
Mg-B-09	SC	SC	SC	SC	0.4	0.7	1	1.3	1.7	2.1	2.5	3	3.7	7.7	4
Mg-B-10	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	0.4	0.8	1.3	1.8	2	2.4	5.4	4
Mg-B-11	SC	SC	SC	SC	SC	SC	0.4	0.7	1.1	1.3	1.3	1.3	1.3	4.3	4
Mg-B-12	SC	SC	SC	SC	0.4	0.4	0.7	1	1.3	1.9	1.9	1.9	1.9	4.9	4
Mg-B-13	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	0	0
Mg-B-14	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	0	0
Mg-B-15	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	0	0
Mg-B-16	SC	SC	SC	SC	0.5	0.8	1	1.4	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	4.7	4
Mg-B-17	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	0	0
Mg-B-18	SC	SC	SC	SC	0.6	1	1.4	1.7	2.1	2.4	2.4	2.4	2.4	5.4	4
Mg-B-19	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	0	0
Mg-B-20	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	0	0
Mg-B-21	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	0	0
Mg-B-22	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	0	0
Mg-B-23	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	0	0
Mg-B-24	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	0	0
Mg-B-25	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	0	0

Fuente: elaboración propia

El tamaño de la muestra fue de 25 plántulas, el 44% de las plántulas germinaron, siendo menos de la mitad y presentando un crecimiento a partir del día 5 y una clorosis en el día 9 hasta el 18 mientras tanto el 56% de las plántulas no germinaron.

Nota:

SC= sin crecimiento (aún no nace)

NG= no germino

El monitoreo se realizó de manera diaria, por lo que en la Tabla 12 se muestran 28 registros. De esta manera se muestran también las tablas 13 y 14. Cabe mencionar que el cultivo tuvo una duración de 28 días.

Tabla 12.Sexto monitoreo con Ca^{2+} a concentración alta (0.121 g/L)

[illegible]

[illegible]

Fuente: Elaboración propia

El tamaño de la muestra fue de 25 plántulas, el 72% de las plántulas germinaron, presentando un crecimiento a partir del día 5 y una clorosis en el día 6 hasta el 28 mientras tanto el 28% de las plántulas no germinaron.

Nota:

SC= sin crecimiento (aún no nace)

NG= no germino

Tabla 13. Séptimo monitoreo con Ca^{2+} a concentración media (0.060 g/L)

[illegible]

TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE COACALCO

Ca-M-05	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	0
Ca-M-06	SC	SC	SC	SC	0.6	1	1.4	1.7	1.9	2.2	2.5	2.8	3.2	3.5	3.8	4.1	4.4	4.6	4.9	5.2	5.6	5.7	5.9	6.3	6.5	6.6	6.9	7.2	10.2	4
Ca-M-07	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	0
Ca-M-08	SC	SC	SC	0.7	1	1.4	1.8	2.2	2.5	2.8	3.1	3.4	3.6	3.9	4.4	4.6	4.9	5.3	5.7	5.9	6.3	6.7	6.9	7.2	7.4	7.7	8	8.2	11.2	4
Ca-M-09	SC	SC	SC	0.6	0.9	1.5	1.8	2.3	2.8	2.9	3.2	3.5	3.7	3.9	4.2	4.5	4.7	4.9	5.1	5.4	5.7	5.9	6.2	6.5	6.8	6.9	7.2	7.4	10.4	4
Ca-M-10	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	0
Ca-M-11	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	0
Ca-M-12	SC	SC	SC	SC	0.6	0.8	1.2	1.6	2.3	2.8	2.9	3.2	3.5	3.7	3.9	4.2	4.5	4.7	4.9	5.1	5.4	5.7	5.9	6.2	6.8	6.9	7.2	7.7	10.7	4
Ca-M-13	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	0
Ca-M-14	SC	SC	SC	0.4	0.8	1.1	1.4	1.9	2.3	2.4	2.9	3.2	3.5	3.7	3.9	4	4.5	4.7	4.9	5.1	5.4	5.7	5.9	6.2	6.5	6.8	6.9	7.2	10.2	4
Ca-M-15	SC	SC	SC	0.7	1	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	4.3	4
Ca-M-16	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	0
Ca-M-17	SC	SC	SC	0.3	0.6	0.9	1.3	1.6	1.9	2.3	2.5	2.7	3	3.3	3.7	3.9	4.1	4.4	4.7	5	5.3	5.7	5.9	6.2	6.6	6.9	7	7.4	10.4	4
Ca-M-18	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	0
Ca-M-19	SC	SC	SC	0.4	0.8	1.3	1.5	1.8	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	5	4
Ca-M-20	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	0
Ca-M-21	SC	SC	SC	0.6	0.9	1.5	1.8	2.1	2.5	2.8	3	3.3	3.7	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	7.1	4
Ca-M-22	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	0
Ca-M-23	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	0
Ca-M-24	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	0
Ca-M-25	SC	SC	SC	0.3	0.7	1	1.4	1.8	2.4	2.7	2.9	3.3	3.5	3.8	4	4.3	4.6	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	7.8	4

Fuente: Elaboración propia

El tamaño de la muestra fue de 25 plántulas, el 56% de las plántulas germinaron, presentando un crecimiento a partir del día 5 y una clorosis en el día 6 hasta el 28 mientras tanto el 44% de las plántulas no germinaron.

Nota:

SC= sin crecimiento (aún no nace)

TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE COACALCO

NG= no germino

Tabla 14. Octavo monitoreo con Ca²⁺ a concentración baja (0.030 g/L)

Nombre de las muestras	Días de monitoreo/Longitud del tallo la plántula (cm)																												Medida final de tallo a raíz (cm)	Conteo final de hojas
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28		
Ca-B-01	S C	S C	S C	0. 5	0. 9	1. 4	1. 7	2	2. 4	2. 4	2. 7	2. 9	3	3. 2	3. 6	3. 8	4. 1	4. 5	4. 7	4. 9	5. 3	5. 7	5. 9	6. 2	6. 5	6. 7	7. 1	7. 4	10.4	4
Ca-B-02	S C	S C	S C	0. 6	0. 9	1. 2	1. 6	1. 9	2. 2	2. 2	2. 6	2. 8	3. 2	3. 5	3. 6	3. 9	4. 1	4. 4	4. 8	5. 3	5. 4	5. 7	5. 9	6. 2	6. 4	6. 7	6. 8	6. 8	9.9	4
Ca-B-03	S C	S C	S C	0. 5	0. 7	1. 2	1. 4	1. 7	2	2. 2	2. 5	2. 9	3. 2	3. 5	3. 8	4	4	4. 2	4. 7	4. 9	5. 3	5. 6	5. 8	6. 2	6. 4	6. 7	6. 9	7. 3	10.3	4
Ca-B-04	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	NG	0
Ca-B-05	S C	S C	S C	0. 5	0. 7	1. 3	1. 5	1. 8	2. 2	2. 4	2. 7	2. 9	3. 3	3. 7	4	4. 2	4. 6	4. 9	5. 1	5. 4	5. 7	5. 9	5. 9	6. 1	6. 4	6. 7	7	7. 2	10.2	4
Ca-B-06	N G	N G	N G	N G	N G	N G	0. 6	0. 9	1. 4	1. 6	1. 8	2	2. 4	2. 6	2. 9	3. 1	3. 3	3. 5	3. 7	3. 9	4. 3	4. 7	4. 8	5	5. 2	5. 4	5. 7	6	9	4
Ca-B-07	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	NG	0
Ca-B-08	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	NG	0
Ca-B-09	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	NG	0
Ca-B-10	S C	S C	S C	0. 3	0. 7	1. 1	1. 5	1. 8	2. 2	2. 8	2. 9	3. 2	3. 5	3. 7	3. 9	4. 2	4. 5	4. 7	4. 9	5. 1	5. 4	5. 7	5. 9	6. 2	6. 5	6. 8	6. 9	7. 2	10.2	4
Ca-B-11	S C	S C	S C	S C	S C	S C	0. 6	0. 9	1. 3	1. 4	1. 7	2. 1	2. 5	2. 5	2. 5	2. 5	2. 5	2. 5	2. 5	2. 5	2. 5	2. 5	2. 5	2. 5	2. 5	2. 5	2. 5	2. 5	5.5	4
Ca-B-12	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	NG	0
Ca-B-13	S C	S C	S C	0. 5	0. 9	1. 4	1. 8	2. 4	2. 7	2. 9	2. 9	2. 9	2. 9	2. 9	2. 9	2. 9	2. 9	2. 9	2. 9	2. 9	2. 9	2. 9	2. 9	2. 9	2. 9	2. 9	2. 9	2. 9	5.9	4
Ca-B-14	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	NG	0
Ca-B-15	S C	S C	S C	0. 4	0. 7	1. 2	1. 6	1. 9	2. 3	2. 5	2. 7	3	3. 3	3. 7	3. 9	4. 1	4. 4	4. 7	5	5. 3	5. 7	5. 9	6. 2	6. 6	6. 9	7	7. 4	7. 6	10.6	4
Ca-B-16	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	NG	0
Ca-B-17	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	NG	0
Ca-B-18	S C	S C	S C	0. 6	0. 9	1. 4	1. 7	2. 3	2. 6	2. 9	3. 4	3. 7	4. 1	4. 6	4. 8	5	5. 2	5. 4	5. 5	5. 7	5. 9	6	6. 1	6. 4	6. 5	6. 7	6. 9	7. 3	10.3	4
Ca-B-19	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	NG	0
Ca-B-20	S C	S C	S C	0. 7	1. 1	1. 5	1. 8	2	2. 4	2. 6	2. 9	3	3. 3	3. 7	3. 9	4. 2	4. 5	4. 7	4. 9	5. 3	5. 5	6. 1	6. 3	6. 6	6. 8	7	7. 4	7. 6	10.6	4
Ca-B-21	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	NG	0
Ca-B-22	S C	S C	S C	0. 6	1	1. 3	1. 6	1. 9	2. 2	2. 3	2. 7	2. 9	3. 4	3. 7	4. 1	4. 6	4. 8	5	5. 2	5. 4	5. 5	5. 7	5. 9	6	6. 1	6. 4	6. 5	6. 7	9.9	4

TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE COACALCO

Ca-B-23	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	NG	0
Ca-B-24	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	N G	NG	0
Ca-B-25	S C	S C	S C	0. 8	1. 3	1. 6	1. 9	2. 4	2. 7	2. 8	2. 9	3. 3	3. 5	3. 8	4	4. 3	4. 6	4. 8	5	5. 2	5. 4	5. 5	5. 7	5. 9	6	6. 1	6. 4	6. 8	9.8	4

Fuente: Elaboración propia

El tamaño de la muestra fue de 25 plántulas, el 52% de las plántulas germinaron, presentando un crecimiento a partir del día 5 y una clorosis en el día 10 hasta el 28 mientras tanto el 48% de las plántulas no germinaron.

Nota:

SC= sin crecimiento (aún no nace)

NG= no germino

4.2 DL50

Con la ecuación mencionada con anterioridad en punto 3.8, se calculó la Dosis Letal 50 para cada una de las concentraciones conocidas del contaminante Mg^{2+} y Ca^{2+} , obteniendo los siguientes resultados de la tabla siguiente:

A continuación, se muestra un ejemplo de la manera en la que se calcularon los valores de la DL50:

$$DL50 = X1 + (X2 - X1) / 2$$

Donde:

X1= dosis de la sustancia que mata al 10% de las plántulas.

X2= dosis de la sustancia que mata al 90% de las plántulas

Datos utilizados para la determinación de DL50 del contaminante Mg^{2+} :

X1= 0.011 g/L (concentración baja de magnesio)

X2= 0.809 g/L (concentración alta de magnesio)

Sustitución de datos para conocer cuál es la DL50 del contaminante Mg^{2+} que soporta la plántula:

$$DL50 = 0.011g/L + (0.809g/L - 0.011g/L) / 2$$

$$DL50 = \mathbf{0.41 \text{ g/L}}$$

Datos utilizados para la determinación de DL50 del contaminante Ca^{2+} :

X1= 0.030 g/L (concentración baja de magnesio)

X2= 0.121 g/L (concentración alta de magnesio)

Sustitución de datos para conocer cuál es la DL50 del contaminante Ca^{2+} que soporta la plántula:

$$DL50 = 0.030g/L + (0.121g/L - 0.030g/L) / 2$$

$$DL50 = \mathbf{0.0755 \text{ g/L}}$$

4.3 VERIFICAR LAS CONCENTRACIONES PRESENTES DE LOS CONTAMINANTES EN LA PLANTA DE PRUEBA MEDIANTE EL MÉTODO DEL VERSENATO.

Para la determinación de magnesio y calcio, se realizó el Método del versenato, considerando lo indicado en el manual de edafología,2005.

En el cual se muestra una Tabla de referencia para realizar la comparativa de los resultados obtenidos. Dicha tabla se muestra a continuación (Ver Tabla 15):

Tabla 15. Criterios de valoración para Ca^{2+} y Mg^{2+} intercambiable expresados en $cmol (+) kg^{-1}$

Categoría	Calcio intercambiable $cmol (+) kg^{-1}$	Magnesio intercambiable
Muy bajo	< 3	< 0.5
Bajo	3.1 - 6.0	0.6 – 2.0
Medio	6.1 – 14.0	2.1 – 6.0
Alto	14.1 – 20	6.1 – 10
Muy alto	> 20	> 10

Fuente: Manual de edafología 2005

El método indica que se deben preparar 2 Blancos testigos, para obtener un factor de corrección que solicita la fórmula para la determinación de los contaminantes, dicha formula se muestra a continuación:

$$FC = \frac{10(ml \text{ de cloruro de calcio } 0.02N)}{\text{Gasto promedio de EDTA en los blancos}}$$

Donde:

FC= Factor de corrección

N=Normalidad del ETDA

A continuación, se muestra el gasto del EDTA utilizado en cada muestra testigo

NOMBRE	Gasto de EDTA (ml)
Muestra Testigo 1 (NaCl 0.02N)	8.2 ml
Muestra Testigo 2 (NaCl 0.02N)	7.8 ml

A continuación, se muestra el cálculo para determinar el gasto promedio del EDTA:

$$\text{Gasto promedio de EDTA en los blancos} = (7.8 \text{ ml} + 8.2 \text{ ml}) / 2 = \mathbf{8ml}$$

A continuación, se muestra el cálculo para determinar el Factor de Corrección (FC):

$$FC = \frac{10ml}{8ml}$$

$$FC = 1.25$$

4.3.1 DETERMINACIÓN DE MAGNESIO INTERCAMBIABLE EN MUESTRAS SUELO EXPUESTAS AL CONTAMINANTE EN 3 CONCENTRACIONES DE PRUEBA

En el método del versenato, se indica que para el cálculo de Mg^{2+} intercambiable se debe utilizar como referencia la siguiente formula:

$$Magnesio^{++}(cmol (+)kg^{-1}) = \frac{ml\ de\ EDTA \times 5 \times N \times FC}{g\ muestra} \times 100$$

Donde:

N= normalidad del EDTA

FC= Factor de corrección de EDTA

A continuación, se muestra el procedimiento que se siguió para la determinación de Mg^{2+} intercambiable en las muestras de suelo a las 3 distintas concentraciones:

(Cabe mencionar que, para cada muestra, se realizaron 8 determinaciones)

4.3.1.1 DETERMINACIÓN DE Mg^{2+} INTERCAMBIABLE PARA SUELO EXPUESTO A CONCENTRACIONES CONOCIDAS.

En la siguiente Tabla se muestran los resultados del gasto de EDTA en cada una de las pruebas realizadas con el contaminante Mg^{2+} :

Tabla 16. Tabla resumen de los mililitros gastados en Mg^{2+}

Prueba	Concentraciones Mg^{2+}	ml gastados
1	Alta	12.3
	Media	8.8
	Baja	7.3
2	Alta	12.5
	Media	8.3
	Baja	7.5
3	Alta	12.1
	Media	8
	Baja	7.3

4	Alta	12.1
	Media	8
	Baja	7.3
5	Alta	4.5
	Media	7
	Baja	4.5
6	Alta	5.5
	Media	9.4
	Baja	6.6
7	Alta	3.6
	Media	5.4
	Baja	4.7
8	Alta	4
	Media	23.4
	Baja	3.2
Datos Generales		
Factor de corrección	1.25	
Normalidad	0.02	
g de suelo	5	

Fuente: Elaboración propia

Donde:

N= normalidad

FC= factor de corrección

g de suelo= gramos de suelo

A continuación, se muestra el cálculo para cada una de las 8 pruebas realizadas:

Calculo para la determinación de Magnesio, en suelo de cultivo regado a una concentración alta de la primera prueba:

Sustitución de datos en fórmula y resultado para Mg^{2+} :

Calculo para la determinación de Magnesio, en suelo de cultivo regado a una concentración alta de la primera prueba:

$$Magnesio^{++}(cmol(+)kg^1) = \frac{12.3 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = 30.75 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$$

Calculo para la determinación de Magnesio, en suelo de cultivo regado a una concentración media de la primera prueba:

$$\text{Magnesio}^{++}(\text{cmol}(+)\text{kg}^1) = \frac{8.8 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = \mathbf{22 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}}$$

Calculo para la determinación de Magnesio, en suelo de cultivo regado a una concentración baja de la primera prueba:

$$\text{Magnesio}^{++}(\text{cmol}(+)\text{kg}^1) = \frac{7.3 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = \mathbf{18.25 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}}$$

Calculo para la determinación de Magnesio, en suelo de cultivo regado a una concentración alta de la segunda prueba:

$$\text{Magnesio}^{++}(\text{cmol}(+)\text{kg}^1) = \frac{12.5 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = \mathbf{31.25 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}}$$

Calculo para la determinación de Magnesio, en suelo de cultivo regado a una concentración media de la segunda prueba:

$$\text{Magnesio}^{++}(\text{cmol}(+)\text{kg}^1) = \frac{8.3 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = \mathbf{20.75 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}}$$

Calculo para la determinación de Magnesio, en suelo de cultivo regado a una concentración baja de la segunda prueba:

$$\text{Magnesio}^{++}(\text{cmol}(+)\text{kg}^1) = \frac{7.5 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = \mathbf{18.75 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}}$$

Calculo para la determinación de Magnesio, en suelo de cultivo regado a una concentración alta de la tercera prueba:

$$\text{Magnesio}^{++}(\text{cmol}(+)\text{kg}^1) = \frac{12.1 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = \mathbf{30.25 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}}$$

Calculo para la determinación de Magnesio, en suelo de cultivo regado a una concentración media de la tercera prueba:

$$\text{Magnesio}^{++}(\text{cmol}(+)\text{kg}^1) = \frac{8 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = \mathbf{20 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}}$$

Calculo para la determinación de Magnesio, en suelo de cultivo regado a una concentración baja de la tercera prueba:

$$\text{Magnesio}^{++}(\text{cmol}(+)\text{kg}^1) = \frac{7.3 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = \mathbf{18.75 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}}$$

Calculo para la determinación de Magnesio, en suelo de cultivo regado a una concentración alta de la cuarta prueba:

$$\text{Magnesio}^{++}(\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}) = \frac{12.1 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = \mathbf{30.25 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}}$$

Calculo para la determinación de Magnesio, en suelo de cultivo regado a una concentración media de la cuarta prueba:

$$\text{Magnesio}^{++}(\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}) = \frac{8 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = \mathbf{20 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}}$$

Calculo para la determinación de Magnesio, en suelo de cultivo regado a una concentración baja de la cuarta prueba:

$$\text{Magnesio}^{++}(\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}) = \frac{7.3 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = \mathbf{18.75 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}}$$

Calculo para la determinación de Magnesio, en suelo de cultivo regado a una concentración alta de la quinta prueba:

$$\text{Magnesio}^{++}(\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}) = \frac{4.5 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = \mathbf{11.25 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}}$$

Calculo para la determinación de Magnesio, en suelo de cultivo regado a una concentración media de la quinta prueba:

$$\text{Magnesio}^{++}(\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}) = \frac{7 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = \mathbf{18.25 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}}$$

Calculo para la determinación de Magnesio, en suelo de cultivo regado a una concentración baja de la quinta prueba:

$$\text{Magnesio}^{++}(\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}) = \frac{4.5 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = \mathbf{11.25 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}}$$

Calculo para la determinación de Magnesio, en suelo de cultivo regado a una concentración alta de la sexta prueba:

$$\text{Magnesio}^{++}(\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}) = \frac{5.5 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = \mathbf{13.75 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}}$$

Calculo para la determinación de Magnesio, en suelo de cultivo regado a una concentración media de la sexta prueba:

$$\text{Magnesio}^{++}(\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}) = \frac{9.4 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = \mathbf{23.5 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}}$$

Calculo para la determinación de Magnesio, en suelo de cultivo regado a una concentración baja de la sexta prueba:

$$\text{Magnesio}^{++}(\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}) = \frac{6.6 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = \mathbf{16.5 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}}$$

Calculo para la determinación de Magnesio, en suelo de cultivo regado a una concentración alta de la séptima prueba:

$$\text{Magnesio}^{++}(\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}) = \frac{3.6 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = \mathbf{9 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}}$$

Calculo para la determinación de Magnesio, en suelo de cultivo regado a una concentración media de la séptima prueba:

$$\text{Magnesio}^{++}(\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}) = \frac{5.4 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = \mathbf{13.5 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}}$$

Calculo para la determinación de Magnesio, en suelo de cultivo regado a una concentración baja de la séptima prueba:

$$\text{Magnesio}^{++}(\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}) = \frac{4.7 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = \mathbf{11.75 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}}$$

Calculo para la determinación de Magnesio, en suelo de cultivo regado a una concentración alta de la octava prueba:

$$\text{Magnesio}^{++}(\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}) = \frac{4 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = \mathbf{10 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}}$$

Calculo para la determinación de Magnesio, en suelo de cultivo regado a una concentración media de la octava prueba:

$$\text{Magnesio}^{++}(\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}) = \frac{23.4 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = \mathbf{58.5 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}}$$

Calculo para la determinación de Magnesio, en suelo de cultivo regado a una concentración baja de la octava prueba:

$$\text{Magnesio}^{++}(\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}) = \frac{3.2 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = \mathbf{8 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}}$$

En las tablas 17 a la 24, se muestran en la última columna de cada tabla, los resultados para las muestras de suelo sometidas al contaminante magnesio, comparándolos con los criterios de valoración establecidos por el método, que se indican en la Tabla 15 (Manual de edafología de Fes Iztacala):

Tabla 17. Prueba 1 para Mg^{2+}

Muestras	mL gastados de EDTA	Resultados Magnesio ⁺⁺ (cmol(+) Kg ⁻¹)	Comparación cualitativa con autores (Cheng y Bray 1951, Cheng y Kurtz 1960)
Mg-A	12.3	30.75	muy alto
Mg-M	8.8	22	muy alto
Mg-B	7.3	18.25	muy alto

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Prueba 2 para Mg²⁺

Muestras	mL gastados de EDTA	Magnesio ⁺⁺ (cmol(+) Kg ⁻¹)	Comparación cualitativa con autores (Cheng y Bray 1951, Cheng y Kurtz 1960)
Mg-A	12.5	31.25	muy alto
Mg-M	8.3	20.75	muy alto
Mg-B	7.5	18.75	muy alto

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19. Prueba 3 para Mg²⁺

Muestras	mL gastados de EDTA	Magnesio ⁺⁺ (cmol (+) Kg ⁻¹)	Comparación cualitativa con autores (Cheng y Bray 1951, Cheng y Kurtz 1960)
Mg-A	12.1	30.25	muy alto
Mg-M	8	20	muy alto
Mg-B	7.3	18.75	muy alto

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Prueba 4 para Mg²⁺

Muestras	mL gastados de EDTA	Magnesio ⁺⁺ (cmol (+) Kg ⁻¹)	Comparación cualitativa con autores (Cheng y Bray 1951, Cheng y Kurtz 1960)
Mg-A	12.1	30.25	muy alto
Mg-M	8	20	muy alto
Mg-B	7.3	18.75	muy alto

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Prueba 5 para Mg²⁺

Muestras	mL gastados de EDTA	Magnesio ⁺⁺ (cmol (+) Kg ⁻¹)	comparación cualitativa con autores (Cheng y Bray 1951, Cheng y Kurtz 1960)
Mg-A	4.5	11.25	muy alto
Mg-M	7	17.5	muy alto
Mg-B	4.5	11.25	muy alto

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22. Prueba 6 para Mg²⁺

Muestras	mL gastados de EDTA	Magnesio ⁺⁺ (cmol (+) Kg ⁻¹)	Comparación cualitativa con autores (Cheng y Bray 1951, Cheng y Kurtz 1960)
Mg-A	5.5	13.75	muy alto
Mg-M	9.4	23.5	muy alto
Mg-B	6.6	16.5	muy alto

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Prueba 7 para Mg²⁺

Muestras	mL gastados de EDTA	Magnesio ⁺⁺ (cmol (+) Kg ⁻¹)	Comparación cualitativa con autores (Cheng y Bray 1951, Cheng y Kurtz 1960)
Mg-A	3.6	9	alto
Mg-M	5.4	13.5	muy alto
Mg-B	4.7	11.75	muy alto

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24. Prueba 8 para Mg²⁺

Muestras	mL gastados de EDTA	Magnesio ⁺⁺ (cmol (+) Kg ⁻¹)	Comparación cualitativa con autores (Cheng y Bray 1951, Cheng y Kurtz 1960)
Mg-A	4	10	alto
Mg-M	23.4	58.5	muy alto
Mg-B	3.2	8	alto

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 DETERMINACIÓN DE CALCIO INTERCAMBIABLE EN MUESTRAS SUELO EXPUESTAS AL CONTAMINANTE EN 3 CONCENTRACIONES DE PRUEBA

En el método del versenato, se indica que para el cálculo de Ca^{2+} intercambiable se debe utilizar como referencia la siguiente formula:

El cálculo de Ca intercambiable se realizó tomando como referencia la siguiente formula:

$$\text{Calcio}^{++}(\text{cmol (+)}\text{kg}^{-1}) = \frac{\text{ml de EDTA} \times 5 \times N \times \text{FC}}{\text{g muestra}} \times 100$$

Donde:

N= normalidad del EDTA

FC= factor de corrección de EDTA

g de muestra= Gramos de muestra

En la Tabla 25 se muestran los resultados del gasto de EDTA en cada una de las pruebas realizadas con el contaminante Ca^{2+} :

Cabe mencionar que, para cada muestra, se realizaron 5 pruebas

Tabla 25. Tabla resumen de los mililitros gastados en Ca

Prueba	Concentraciones Ca^{2+}	ml gastados
1	Alta	9.2
	Media	3.6
	Baja	9.3
2	Alta	6.3
	Media	4.8
	Baja	6.3
3	Alta	9.6
	Media	25
	Baja	25
4	Alta	9.2
	Media	25
	Baja	25
5	Alta	9.2
	Media	6.5
	Baja	5.7
Datos Generales		

Factor de corrección	1.25
Normalidad	0.02
g de suelo	5

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra el procedimiento que se siguió para la calcular la cantidad de Ca^{2+} intercambiable en las muestras de suelo a las 3 distintas concentraciones y la sustitución de datos en las fórmulas:

Calculo para la determinación de Calcio, en suelo de cultivo regado a una concentración alta de la primera prueba:

$$\text{Calcio}^{++}(\text{cmol (+)}\text{kg}^{-1}) = \frac{9.2 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = 23 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$$

Calculo para la determinación de Calcio, en suelo de cultivo regado a una concentración media de la primera prueba:

$$\text{Calcio}^{++}(\text{cmol (+)}\text{kg}^{-1}) = \frac{3.6 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = 9 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$$

Calculo para la determinación de Calcio, en suelo de cultivo regado a una concentración baja de la primera prueba:

$$\text{Calcio}^{++}(\text{cmol (+)}\text{kg}^{-1}) = \frac{9.3 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = 23.25 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$$

Calculo para la determinación de Calcio, en suelo de cultivo regado a una concentración alta de la segunda prueba:

$$\text{Calcio}^{++}(\text{cmol (+)}\text{kg}^{-1}) = \frac{6.3 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = 15.75 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$$

Calculo para la determinación de Calcio, en suelo de cultivo regado a una concentración media de la segunda prueba:

$$\text{Calcio}^{++}(\text{cmol (+)}\text{kg}^{-1}) = \frac{4.8 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = 12 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$$

Calculo para la determinación de Calcio, en suelo de cultivo regado a una concentración baja de la segunda prueba:

$$\text{Calcio}^{++}(\text{cmol (+)}\text{kg}^{-1}) = \frac{6.3 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = 15.75 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$$

Calculo para la determinación de Calcio, en suelo de cultivo regado a una concentración alta de la tercera prueba:

$$\text{Calcio}^{++}(\text{cmol (+)}\text{kg}^1) = \frac{9.6 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = \mathbf{24 \text{ cmol (+) kg}^{-1}}$$

Calculo para la determinación de Calcio, en suelo de cultivo regado a una concentración media de la tercera prueba:

$$\text{Calcio}^{++}(\text{cmol (+)}\text{kg}^1) = \frac{25 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = \mathbf{62.5 \text{ cmol (+) kg}^{-1}}$$

Calculo para la determinación de Calcio, en suelo de cultivo regado a una concentración baja de la tercera prueba:

$$\text{Calcio}^{++}(\text{cmol (+)}\text{kg}^1) = \frac{25 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = \mathbf{62.5 \text{ cmol (+) kg}^{-1}}$$

Calculo para la determinación de Calcio, en suelo de cultivo regado a una concentración alta de la cuarta prueba:

$$\text{Calcio}^{++}(\text{cmol (+)}\text{kg}^1) = \frac{9.2 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = \mathbf{23 \text{ cmol (+) kg}^{-1}}$$

Calculo para la determinación de Calcio, en suelo de cultivo regado a una concentración media de la cuarta prueba:

$$\text{Calcio}^{++}(\text{cmol (+)}\text{kg}^1) = \frac{25 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = \mathbf{62.5 \text{ cmol (+) kg}^{-1}}$$

Calculo para la determinación de Calcio, en suelo de cultivo regado a una concentración baja de la cuarta prueba:

$$\text{Calcio}^{++}(\text{cmol (+)}\text{kg}^1) = \frac{25 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = \mathbf{62.5 \text{ cmol (+) kg}^{-1}}$$

Calculo para la determinación de Calcio, en suelo de cultivo regado a una concentración alta de la quinta prueba:

$$\text{Calcio}^{++}(\text{cmol (+)}\text{kg}^1) = \frac{9.2 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = \mathbf{23 \text{ cmol (+) kg}^{-1}}$$

Calculo para la determinación de Calcio, en suelo de cultivo regado a una concentración media de la quinta prueba:

$$\text{Calcio}^{++}(\text{cmol (+)}\text{kg}^1) = \frac{6.5 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = \mathbf{16.25 \text{ cmol (+) kg}^{-1}}$$

Calculo para la determinación de Calcio, en suelo de cultivo regado a una concentración baja de la quinta prueba:

$$\text{Calcio}^{++}(\text{cmol (+)}\text{kg}^{-1}) = \frac{5.7 \times 5 \times 0.02 \times 1.25}{5g} \times 100 = 14.25 \text{ cmol (+)} \text{ kg}^{-1}$$

En la siguiente tabla, se muestran de forma resumida los resultados obtenidos para las muestras de suelo sometidas al contaminante calcio, con base en los criterios de valoración de la Tabla 15 (Manual de edafología de Fes Iztacala):

Tabla 26. Prueba 1 para Ca^{2+}

Muestras	mL gastados de EDTA	Magnesio++ (cmol(+) Kg ⁻¹)	Comparación cualitativa con autores (Cheng y Bray 1951, Cheng y Kurtz 1960)
Ca-A	9.2	23	muy alto
Ca-M	3.6	9	medio
Ca-B	9.3	23.25	muy alto

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27. Prueba 2 para Ca^{2+}

Muestras	mL gastados de EDTA	Magnesio++ (cmol(+) Kg ⁻¹)	Comparación cualitativa con autores (Cheng y Bray 1951, Cheng y Kurtz 1960)
Ca-A	6.3	15.75	alto
Ca-M	4.8	12	alto
Ca-B	6.3	15.75	alto

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28. Prueba 3 para Ca^{2+}

Muestras	mL gastados de EDTA	Magnesio++ (cmol(+) Kg ⁻¹)	Comparación cualitativa con autores (Cheng y Bray 1951, Cheng y Kurtz 1960)
Ca-A	9.6	24	muy alto
Ca-M	25	62.5	muy alto
Ca-B	25	62.5	muy alto

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Prueba 4 para Ca

Muestras	mL gastados de EDTA	Magnesio++ (cmol(+) Kg ⁻¹)	Comparación cualitativa con autores (Cheng y Bray 1951, Cheng y Kurtz 1960)
Ca-A	9.2	23	muy alto
Ca-M	25	62.5	muy alto
Ca-B	25	62.5	muy alto

Tabla 30 .Prueba 5 para Ca^{2+}

Muestras	mL gastados de EDTA	Magnesio++ (cmol (+) Kg ⁻¹)	Comparación cualitativa con autores (Cheng y Bray 1951, Cheng y Kurtz 1960)
Ca-A	9.2	23	muy alto
Ca-M	6.5	16.25	alto
Ca-B	5.7	14.25	alto

Fuente: Elaboración propia

La siguiente Tabla 31 se tomó como referencia para realizar la comparativa de los efectos de la conductividad eléctrica sobre los cultivos. Dicha tabla se muestra a continuación:

Tabla 31. Criterios de valoración para evaluar la conductividad eléctrica

Categoría	Valor (mmhos/cm)	Efecto sobre los cultivos
No salino	0-2.0	Sin efecto
Muy ligeramente salino	2.1-4.0	Solo cultivos muy sensibles son afectados
Ligeramente salino	4.1-8.0	La mayor parte de los cultivos son afectados
Moderadamente salino	8.1-16.0	Solo crecen cultivos tolerantes
Fuertemente salino	>16.0	Solo crecen cultivos muy tolerantes

Fuente: Vázquez y Bautista 1993

La Tabla 32, se tomó como referencia para realizar la comparativa de los criterios de clasificación del pH en un suelo de cultivo. Dicha tabla se muestra a continuación:

Tabla 32. Clasificación del suelo en cuanto a su valor de pH.

Clasificación	pH
Fuertemente ácido	< 5.0
Moderadamente ácido	5.1 - 6.5
Neutro	6.6 - 7.3
Medianamente alcalino	7.4 - 8.5
Fuertemente alcalino	> 8.5

Fuente: NOM-021-RECNAT-2000

En la siguiente tabla 33 que se tomó como referencia se muestran los criterios de valoración de la capacidad de intercambio catiónico sobre los cultivos

Tabla 33. Criterios de valoración para evaluar la capacidad de intercambio catiónico total (propuestos por los autores)

Categoría	Valor (cmol (+) kg ⁻¹)
Muy bajo	<10
Bajo	11-20
Medio	21-35
Alto	36-60
Muy alto	>60

Fuente: Manual de edafología, 2015

En Tabla 34 se muestra de manera resumida los resultados valores obtenidos de conductividad, pH, capacidad de intercambio catiónico y temperatura tomadas para las concentraciones conocidas de magnesio y calcio.

Tabla 34. Tabla comparativa de otras mediciones para ambos contaminantes

Concentraciones	Resultados Conductividad mmhos/cm	Efecto de la conductividad sobre los cultivos	Categoría en base a la conductividad	Resultados pH	Categoría	Resultados Capacidad de Intercambio catiónico (cmol (+) kg ⁻¹)	Categoría Capacidad de Intercambio catiónico	Temperatura °C
Mg-A	1094	Crecimiento de cultivos muy tolerantes	Fuertemente salino	5.5	Moderadamente ácido	38.2	Alto	23.6
Mg-M	570	Crecimiento de cultivos muy tolerantes	Fuertemente salino	5.5	Moderadamente ácido	64	Muy alto	23.6
Mg-B	211	Crecimiento de cultivos muy tolerantes	Fuertemente salino	5.5	Moderadamente ácido	45.7	Alto	23.6
Ca-A	1164	Crecimiento de cultivos muy tolerantes	Fuertemente salino	6	Moderadamente ácido	66	Muy alto	24
Ca-M	1100	Crecimiento de cultivos muy tolerantes	Fuertemente salino	5	Fuertemente ácido	62.8	Muy alto	24
Ca-B	954	Crecimiento de cultivos muy tolerantes	Fuertemente salino	5	Fuertemente ácido	61.25	Muy alto	23.6

Fuente: Elaboración propia

4.4 CONCLUSIONES

En este proyecto se investigo acerca del tema de fitorremediación que se sugiere como opción de tratamiento para un suelo contaminado con Ca^{2+} y Mg^{2+} . Por lo que fue necesario realizar la selección y caracterización de la especie *Brassica oleracea L (Kale)*; para verificar el desarrollo y cultivo de la especie. Cabe mencionar que el desarrollo de este proyecto se realizó a nivel laboratorio, dentro de las instalaciones de la escuela.

Los resultados muestran una relación significativa entre su crecimiento, la conductividad, la capacidad de intercambio catiónico, el pH y la temperatura en las pruebas realizadas para las concentraciones conocidas de Mg^{2+} y Ca^{2+} .

Además, se encontró que el Ca^{2+} y Mg^{2+} compiten de manera directa, por lo que al haber exceso de Calcio afecta directamente la absorción del Mg.

El estudio revelo la correlación establecida entre la temperatura y la conductividad, ya que al presentarse un aumento en la temperatura al mismo tiempo aumentara la conductividad misma.

El valor de pH que se presentó en el suelo entre la franja de 5 y 6 influyo de manera satisfactoria para la absorción ideal de Mg^{2+} y Ca^{2+} .

El desarrollo de la especie bajo las condiciones de pH y nivel de salinidad no representaron ningún impedimento para su cultivo y producción; lo que coincide con el estudio realizado por Aizpuru, quien encontró que éstos no afectan a la especie.

Respecto al Monitoreo y análisis del crecimiento del tallo (hipocótilo), raíz (radícula) y hojas de la especie se obtuvieron las siguientes conclusiones:

Para la especie cultivada sin ser sometida a ningún contaminante se observó que la especie presento un crecimiento de manera regular desde el día 5, con un promedio final de crecimiento de 5 cm durante los primeros 12 días tomando en consideración desde el tallo hasta la raíz.

En el monitoreo final al día 12, la especie presento el crecimiento de 4 hojas por cada plántula y en ninguna se presentó caída de hojas.

No se presentaron alteraciones, ni afecciones en el tallo, la raíz y las hojas dentro del tiempo de monitoreo, este monitoreo fue considerando como la prueba testigo y sirvió para apreciar el desarrollo de la especie.

Para verificar que el desarrollo de la especie se llevó a cabo un segundo cultivo en las mismas condiciones que el cultivo anterior.

La especie presento un crecimiento sano desde el día 5, con un promedio de 7 cm de crecimiento; el tiempo de vida de este cultivo se extendió hasta 18 días, resistiendo más tiempo que el monitoreo anterior.

Presento el crecimiento de 4 hojas por cada plántula y no presento caída de hojas.

No se presentaron alteraciones, ni afecciones en el tallo, raíz y hojas dentro del tiempo de monitoreo.

Con base en el desarrollo de las muestras expuestas a Magnesio:

Al someterlas a una solución a alta en magnesio, la especie mantuvo un crecimiento desde el día 5 hasta el día 13, únicamente germinando 14 plántulas de las 25 que fueron plantadas alcanzando una medida máxima de 8.2 cm.

De acuerdo con lo consultado con J.A.M Van den Berg, 2012 el resultado obtenido coincide con los efectos de la exposición de la plántula a una concentración alta de magnesio, esta presento una saturación del contaminante, por lo tanto, presento los siguientes efectos: clorosis intervenal ya que sus hojas comenzaron a presentar un color amarillento mientras que las nervaduras tenían un color verdoso. Otro de los efectos fue el bronceado de sus hojas en los últimos días de su crecimiento, así mismo la deformación de ellas.

Al someterlas a una solución media de magnesio, la especie mantuvo un crecimiento desde el día 5 hasta el día 13, únicamente germinando 10 plántulas de las 25 que fueron plantadas, pero a diferencia de las plántulas con concentración alta de magnesio, alcanzaron una medida de 9.1 cm en los mismos días de crecimiento.

En este monitoreo el único efecto que se presento fue la deformación de sus hojas.

Al someterlas a una solución de baja concentración de magnesio, la especie mantuvo un crecimiento más lento desde el día 5 hasta el día 13, únicamente germinando 11 plántulas de las 25 que fueron plantadas, alcanzando una medida de 7.7 cm en los 13 días de monitoreo.

Las plántulas monitoreadas presentaron una deformación en sus hojas y la caída de estas, además presento clorosis intervenal ya que sus hojas comenzaron a presentar un color amarillento en ellas.

Por lo tanto, la especie soporto más la concentración alta de Magnesio (0.809 g/L) ya que fue la que presento un crecimiento estable y alcanzo una altura mayor en comparación a la media y baja. Además, los efectos que ocasiono el magnesio en ella fueron mínimos.

Cabe mencionar que para las muestras expuestas al contaminante Magnesio se realizaron 8 pruebas, mostrándose el vire de coloración en las 8 pruebas de titulación; en tanto en para calcio se observó que únicamente en 5 pruebas se identificó el vire.

Con base en el desarrollo de las muestras expuestas a Calcio:

Las muestras regadas con una solución de concentración alta de calcio resistieron mayor tiempo al contaminante.

Al someterlas a una solución alta de calcio, la especie mantuvo un crecimiento acelerado desde el día 5 hasta el día 28, únicamente germinado 18 plántulas de las 25 que fueron plantadas, alcanzando una medida de 10.6 cm en los 28 días de su monitoreo.

De acuerdo con lo consultado con Singh.S. K, 2019 el resultado coincidió con lo que el menciona el autor ya que, al estar expuesta la plántula a una concentración alta de calcio, esta presento una saturación del contaminante, por lo tanto, presento los siguientes efectos: clorosis intervenal ya que sus hojas comenzaron a presentar un color amarillento mientras que las nervaduras tenían un color verdoso. Otro de los efectos fue el bronceado de sus hojas en los últimos días de su crecimiento, así mismo la deformación y caída de ellas.

Al someterlas a una solución media de calcio, la especie mantuvo un crecimiento desde el día 5 hasta el día 28, únicamente germinando 14 de las 25 que fueron plantadas, alcanzando una medida de 11.2 cm por encima de la medida de la concentración alta.

Las plántulas monitoreadas presentaron un efecto de bronceado de hojas, ya que empezaron a tornarse de un color rojizo a la mitad del tiempo de su crecimiento, así mismo sus hojas se deformaron.

Al someterlas a una solución baja de magnesio, la especie mantuvo un crecimiento lento, pero desde el día 5 hasta el día 28, únicamente germinando 13 plántulas de las 25 que fueron plantadas, alcanzando una medida de 10.6 cm en los 28 días de monitoreo. Aunque germinaron menos plántulas que en las concentraciones alta y baja, se mantuvieron vivas más tiempo.

El único efecto que se presento fue la caída de hojas.

Por lo tanto, la especie soporto más la concentración de Calcio (0.121 g/L) ya que fue la que presento un crecimiento más rápido con mayor tiempo de vida. Además de que los efectos presentados por esta solución fueron mínimos.

Cabe mencionar que para las muestras sometidas al contaminante Calcio solo se obtuvieron 5 pruebas distintas ya que al efectuarse la sexta el vire de color ya no se apreciaba.

La dosis letal 50:

De acuerdo con el resultado que se obtuvo para DL50 para el contaminante magnesio fue de 0.41g/L, por lo tanto, es menor que la concentración máxima aplicada.

De acuerdo con el resultado obtenido de la DL50 para el contaminante calcio fue de 0.075 g/L, por lo tanto, la concentración máxima aplicada es menor a la dosis letal 50.

La concentración de los contaminantes en la planta:

Con respecto a la determinación de Mg^{2+} intercambiable, se observó que para el contaminante Mg^{2+} se encontraba en valores muy altos con respecto al contaminante Ca^{2+} que se encontraba en menor cantidad en valores muy altos y en altos.

A través del método del versenato se pudo confirmar la presencia de ambos contaminantes, mostrándose también que ambos contaminantes compiten entre sí, pues al estar presente uno en una solución, en el otro no se observa vire al querer identificar el Calcio.

Por lo tanto, el resultado coincide con lo citado en el manual de edafología, donde se menciona que los iones se pueden intercambiar con la solución del suelo y con las raíces.

4.5 COMPETENCIAS DESARROLLADAS

Al momento de realizar este proyecto se desarrollaron las siguientes competencias que se apegan a nuestro perfil de egreso como profesionales en ingeniería ambiental:

Perfil de Egreso

1. **Vincular el valor de los recursos naturales para promover su uso sustentable de acuerdo con las necesidades de la región, mediante instrumentos de concientización, sensibilización y comunicación.** Esta competencia se desarrolló mediante la selección de una especie que cumpliera con las características necesarias para la estabilización del suelo de la zona.
2. **Participar en el desarrollo y ejecución del protocolo de investigación básica o aplicada para la resolución de problemas ambientales.** Se realizó un trabajo que permitiera conocer temas respecto a la fitoestabilización, la fitorremediación y su aplicación en suelos.
3. **Conocer y aplicar criterios de ingeniería básica y aplicada, así como de las ciencias biológicas para el dimensionamiento, adecuación, operación, mantenimiento y desarrollo de tecnologías de tratamiento, prevención, control y transformación de efluentes sólidos, líquidos y gaseosos contaminados.** Esta competencia se desarrolló mediante la aplicación de la tecnología de la fitorremediación para su aplicación en la zona de parcelas en Xochimilco.
4. **Ser analítico, ético, crítico, y consiente de la importancia de su entorno para la vida y respetuoso de la misma, siendo promotor del desarrollo sustentable.** Se llevó a cabo mediante el análisis que se realizó mediante la toma de las muestras y el análisis de cada una de ellas para su interpretación.

4.6 FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). (2005). *Reseña Toxicológica del Zinc*. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública.
2. Aranda, P., Planells, E., & Llopis, J. (1999, 20 de diciembre). Magnesio. *Ars Pharmaceutica*.
3. Aschner, M., Aschner, J. L. (1991). Manganese neurotoxicity: cellular effects and blood-brain barrier transport. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 15(3), 333-340.
4. Bidwell, R. G. S. (2010). *Fisiología vegetal* (4a ed.). Corrientes, Argentina: Editorial Dunken.
5. Brown, C., Smith, D., & Jones, J. (2018). Contaminación del agua por calcio: una revisión. *Environmental Science & Technology*, 52(10), 5849-5861.
6. Cakmak, I., & Yazici, A. M. (2010). Magnesium: Forgotten elements in crop production. *Better Crops*, 94(2), 23-25.
7. Carlos, V., & Mercedes, M. (2021). *Capacidad de absorción de plantas hiperacumuladoras*. Universidad César Vallejo.
8. Casierra-posada, F. y Gómez, N. E. (2008). Crecimiento foliar y radical en plantas bajo estrés por encharcamiento. *Agronomía colombiana*, 26(3):381–388.
9. Davis JM. (1998) Methylcyclopentadienyl manganese tricarbonyl: health risk uncertainties and research directions. *Environ Health Perspect.*;106 Suppl 1:191-201.
10. Dixon, G. R. (2007). Vegetable brassicas and related crucifers. In *Crop Production Science in Horticulture* (Vol. 14, pp. 18-19). CAB International.
11. Epelde, L., Becerril, J. M., Alkorta, I., & Garbisu, C. (2011). Heavy metal phytoremediation: microbial indicators of soil health for the assessment of remediation efficiency. In A. Singh, R. C. Kuhad, & O. P. Ward (Eds.), *Advances in applied bioremediation* (pp. 299-313). Springer-Verlag.
12. Ferrer, A. (2003). Intoxicación por metales. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 26(2), 141-153.
13. Flores, EM y Benavides, CE (2016). Germinación y morfología de la plántula. *Revista De Biología Tropical*, 38 (1), 91–98.
14. Franco, T. L., & Hidalgo, R. (2003). Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Boletín técnico no. 8. Cali, Colombia: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI).
15. Gómez, M. A. S., Rodríguez-Cerezo, F. J., & López-Nicolás, S. (2002). Calcio en el suelo: Importancia y funciones. *Edafología*, 61(1-2), 1-14

16. Gutiérrez, J. 2003. Reuso de agua y nutrientes. Centro de información, gestión y educación ambiental (Cigea).
17. Halvin, J. L.; Tisdale, S. L.; Nelson, W. L.; Beaton, J. D. 2014. Sulfur, Calcium, and Magnesium. Soil fertility and Fertilizers. Ed. Pearson.
18. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) & Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2012). *Metales pesados*. Ciudad de México: SEMARNAT
19. John, D., & Leventhal, J. (1995). Bioavailability of metals. In E. A. du Bray (Ed.), *Preliminary compilation of descriptive geoenvironmental mineral deposit models* (pp. 95-831). U.S. Geological Survey
20. J-Técnico Laboratorio Fertibox, Á. (2020, 7 de enero). *El calcio y su importancia en el crecimiento vegetal*.
21. Jurado, J. C. (1989). Determinación de la dosis letal 50 de alcaloides del lupino en pollas de reposición blancas. *Revista Chilena de Producción Animal*, 1(2), 87-92.
22. Kabata-Pendias A. (2000). Trace elements in soils and plants. Third Edition CRC Press, Boca Raton, USA 413p.
23. López SJ, Nieto AR, Barrietos-Priego AF, Rodríguez PE, Colinas-León MT, Borys MW, et al. (2008). Selección de variables morfológicas para la caracterización de la col (*Crataegus* spp). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 14(2), 97-111.
24. Lucho-Constantino C., Prieto-García F., Razo L. Rodríguez-Vázquez R. y Poggi-Varaldo H. (2005). Chemical fraction of boron and heavy metals in soils irrigated with wastewater in central Mexico. *Agriculture ecosystems and environment* 108:57-71.
25. Martínez-Fernández, J. A., & Obregón-Cano, S. (2023). El zinc en las plantas. *Revista Ciencia*, 68(3), 75-86.
26. Masaguer, A. (s.f.). *Horticultura: Industria, comercio, distribución y economía hortícolas*.
27. Mikkelsen, R. (s/f). FuENTES DE MAGNESIO. Ipni.net, 2015. Recuperado el 27 de febrero de 2024, de <http://www.ipni.net/publications>
28. Milton, B., Morales Cruz, F., Manuel, M. S., Pérez, S., Zandra, L., Jirón, A., & Haylell, E. (S/F). Universidad Nacional Autónoma De Nicaragua-León Facultad De Ciencias Departamento De Química Estudio Fisicoquímicos Y Aplicación Del Método Complejo métrico Para La Determinación De Calcio Y Magnesio En Una Muestra De Suelo Tesis Para Optar Al Título De Licenciado En Química Presentado Por. Edu.Ni:8080.
29. Miranda, D., Carranza, C., Rojas, C., Jerez, C., Fischer, G., & Zurita, J. (2008). Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con agua del río Bogotá [Accumulation of heavy metals in soil and plants of four horticultural crops irrigated with water from the Bogotá River]. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 2(2), 180-191.

30. Mishra, S. K., Dwivedi, P. C., & Singh, S. K. (2018). Deficiencia de magnesio en plantas: una revisión. *Plant Soil*, 427(1), 27-47.
31. Mishra, S. K., Dwivedi, P. C., & Singh, S. K. (2018). Deficiencia de magnesio en plantas: una revisión. *Plant and Soil*, 427(1-2), 1-21.
32. Moreno Grau, M. D. (2003). Toxicología ambiental: Evaluación de riesgo para la salud humana. Madrid: McGraw-Hill. (pp. 8-9)
33. Moreno, A., & Ferrer, J. (2014). *Seguridad Alimentaria y control de cadmio en alimentos, siete puntos que explican lo que está pasando*. Centro Tecnológico AINIA.
34. Moritz, J. (2023). *Zinc*. Cerascreen GmbH.
35. Muñoz Iniestra Daniel Jesus. (2005.) MANUAL DE METODOS DE ANALISIS DE SUELO, FES IZTACALA,
36. NORMA Oficial Mexicana NOM-117-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica. México, D.F., a 29 de junio de 1995.
37. Onegreenplanet. (2016, 14 de noviembre). Tipos populares de col rizada y sus beneficios para la salud.
38. Osorio, J., & Lobo, M. (1983). Hortalizas. Manual de asistencia técnica No. 28. Instituto Colombiano Agropecuario. Colombia.
39. Pal, P. K., Samii, A., & Calne, D. B. (1999). Manganese neurotoxicity: A review of clinical features, imaging, and pathology. *Neurotoxicology*, 20(2-3), 227-238.
40. Plan Estadístico Nacional, Zinc y compuestos, PRTR, España. 01 de enero de 2021. (s/f). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
41. Robinson, B.; Schulin, R.; Nowack, B.; Roulier, S.; Menon, M.; Clothier, B. Green, S.; Mills, T. (2006). Phytoremediation for the management of metal flux in contaminated site. *Snow Landsc.Res.* 80: pp. 221-234.
42. Rubio, C., González Weller, D., Martín-Izquierdo, R. E., Revert, C., Rodríguez, I., & Hardisson, A. (2007). El zinc: oligoelemento esencial. Área de Toxicología. Universidad de La Laguna, España.
43. Saavedra, G., Agrónomo, I., Bastias, M., Ing. Agr., Kehr, E., Agrónomo, M., Fontanilla, C., Sandoval, B., & Operario, M. (s/f). *Cultivo de Kale*.
44. Sánchez, M. 2017. Cultivo de la col rizada.
45. Sánchez-Hernández, J. C., Rodríguez-Tapia, L., & Gutiérrez-Miceli, F. A. (2021). El uso de agua residual tratada para el riego en Xochimilco, Ciudad de México. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(14), 7447.
46. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (s/f). SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. Gob.mx.
47. Secretaría de Salud. (1994, 4 de octubre). Norma Oficial Mexicana NOM-093-SSA1-1994, Bienes y servicios. Prácticas de higiene y sanidad en la preparación de alimentos que se ofrecen en establecimientos fijos. Diario Oficial de la Federación. Recuperado el 27 de febrero de 2024.

48. Smith, J., Jones, D., & Brown, M. (2012). Concentración de calcio en el aire en zonas urbanas y rurales. *Atmospheric Environment*, 54, 586-592.
49. Topf, JM, & Murray, PT. (2003). Hypomagnesemia and hypermagnesemia. *Reviews in Endocrine & Metabolic Disorders*, 4(2), 195-206.
50. Torres, C. R. (2020, 12 de noviembre). *Magnesio Para Las Plantas: [Uso, Ventajas, Exceso Y Carencias]*. Sembrar100.
51. Un huerto en mi balcon. (2016, febrero). *Cultivo de kale o col rizada en el huerto*. [Blog].
52. Universidad de Navarra. Herbario. (2023, 16 de noviembre). *Brassica oleracea L.* Pamplona, España: Universidad Pública de Navarra
53. Urrestarazu, G. M. 2004. Tratado de Cultivo sin Suelo. Universidad de Almería.
54. Van den Berg, R., & Van der Putten, M. (2007). Mecanismos de intercambio catiónico en suelos. *Plant and Soil*, 296(1-2), 79-94.
55. Ventajas de la fertilización con calcio en cultivos. (s/f). *Revista Agricultura*. Recuperado el 27 de febrero de 2024, de www.revistaagricultura.com