

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



“Efecto del Ácido Salicílico en el Crecimiento y Desarrollo en Dos Variedades de Maíz (*Zea mays L.*)”

Por:

JONATHAN NATANAEL SALAZAR ANDRADE

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Torreón, Coahuila, México.
Febrero 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

“Efecto del Ácido Salicílico en el Crecimiento y Desarrollo en Dos Variedades de Maíz (*Zea mays* L.)”

Por:

JONATHAN NATANAEL SALAZAR ANDRADE

TESIS

Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

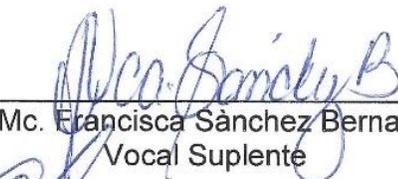
INGENIERO AGRÓNOMO

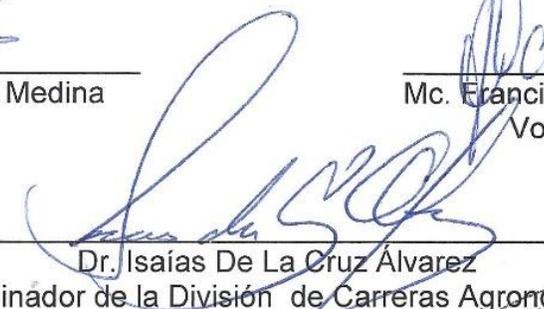
Aprobada por:


Dr. Rubén López Salazar
Presidente


Dr. Héctor Javier Martínez Agüero
Vocal


Mc. Anadelia Antonio Medina
Vocal


Mc. Francisca Sánchez Bernal
Vocal Suplente


Dr. Isaías De La Cruz Álvarez
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México.
Febrero 2020



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRÓNOMICAS

“Efecto del Ácido Salicílico en el Crecimiento y Desarrollo en Dos Variedades de Maíz (*Zea mays* L.)”

Por:

JONATHAN NATANAEL SALAZAR ANDRADE

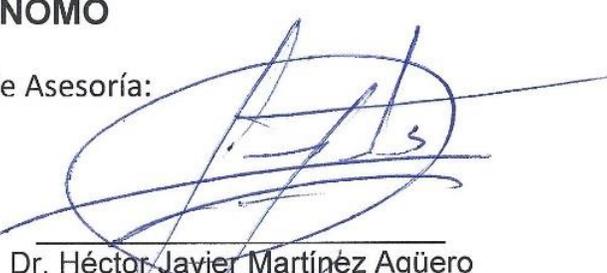
TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

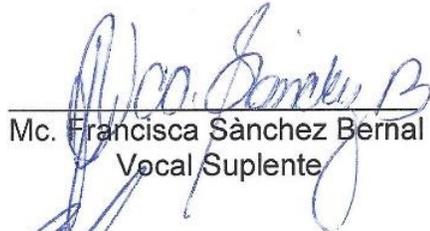
INGENIERO AGRÓNOMO

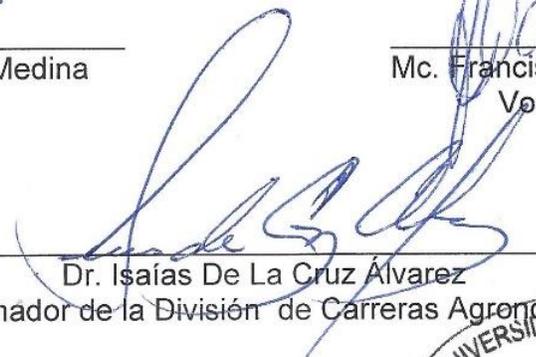
Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Rubén López Salazar
Presidente


Dr. Héctor Javier Martínez Agüero
Vocal


Mc. Anadelia Antonio Medina
Vocal


Mc. Francisca Sánchez Bernal
Vocal Suplente


Dr. Isaías De La Cruz Álvarez
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México.

Febrero 2020



Agradecimientos

A **DIOS** por darme la dicha y oportunidad de venir a esta vida al lado de una familia maravillosa, por nunca abandonarme en momentos complicados, por ponerme en buen camino siempre y por cruzarme con personas de buen corazón.

A mis **PADRES**: Cesar Alejandro Salazar Valdez y Carmen Andrade Gonzales, por todo el apoyo tanto económico, moral, espiritual. Por nunca renegar por mis tiempos difíciles durante mi educación, por sus desvelos, por sus sacrificios y esfuerzos de ser mejores cada día, para que no nos falte nada.

A mis **HERMANOS**: Cesar Alejandro Salazar Andrade y Brayan Salazar Andrade, por brindarme su apoyo en todos los aspectos de mi vida.

A mis **ABUELOS PTERNOS**: Faustino Salazar Facio (†) y Ceferina Valdez Torres (†), Gracias a mi abuela por sus consejos y palabras de aliento que me dio en vida, para demostrar y salir adelante como un profesionalita.

A mis **ABUELOS MATERNOS**: Mario Andrade Pérez (†) y Francisca Gonzales Pérez (†), que nos cuidan desde el cielo.

A mi **ASESORES**: Dr. Rubén López Salazar, Dr. Héctor Javier Martínez Agüero, M.C. Anadelia Antonio Medina y MC Francisca Sánchez Bernal. Por el apoyo y comprensión para poder llevar a cabo este proyecto y cumplirlo.

A la **UAAAN UL** por dejarme ser parte de esta gran institución, que la llevare con cariño y respeto a todos lados, a mis compañeros que me acompañaron en el transcurso de la carrera y por ser arte de buenos como malos momentos.

A mi **NOVIA**: Marisol González Romero por acompañarme y apoyarme en cada momento y aspectos de mi vida.

Dedicatoria

A mis **PADRES:** Cesar Alejandro Salazar Valdez y Carmen Andrade Gonzales. Por qué hacen todo lo posible, por acompañarme siempre en los buenos y malos momentos de mi vida. Por aceptarme tal y como soy, por apoyarme en la toma de decisiones ya sean buenas o malas. Por siempre estar guiándome por buen camino y se por qué lo seguirán haciendo, porque a pesar de los malos momentos que hemos tenido en la familia, los dos siempre han tendido esa fortaleza y energía de sacar nuestra familia a delante.

A mis **HERMANOS:** Cesar Alejandro Salazar Andrade y Brayan Salazar Andrade, por siempre escucharme, aconsejarme y orientarme, por haber estado conmigo en los malos momentos que se han presentado y por ser una gran motivación para mí.

A mis **ABUELOS:** Por darme lo mejor de la vida que son mis padres, por cuidarnos desde el cielo, porque yo sé que están conmigo y que están orgullosos.

En especial a mi abuela: Ceferina Valdés Torres (†), gracias por ser una motivación para poder realizar este paso en mi vida, por una promesa que hice hace tiempo. En la cual me llena de orgullo demostrarlo y haberlo cumplido.

A mis **MAESTROS:** Por toda su paciencia y por dar siempre lo mejor de ellos para empaparnos de conocimientos, por prepararnos para los nuevos retos que están por venir en la vida.

En especial al Dr. Rubén López Salazar, por permitirme formar parte de su equipo de trabajo, que a pesar de ser un maestro es un buen amigo.

A mi **NOVIA:** Marisol González Romero, la persona que me acompañó en la mayoría de mi tiempo dentro y fuera de esta institución, por apoyarme en cada momento difícil de mi carrera. Por darme ánimos y salir adelante.

Resumen

El objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar el efecto del ácido salicílico (AS), agua de la llave (AL) en la germinación de dos variedades de maíz (*Zea mays* L) en forraje verde hidropónico, y cinco minerales Sulfato de magnesio ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$), Cloruro de níquel ($NiCl_2$), Sulfato ferroso heptahidratado ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$), Sulfato de zinc heptahidratado ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) y Sulfato cúprico pentahidratado ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$), para determinar el impacto e importancia que causa el ácido salicílico. El experimento se realizó en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Se utilizó un diseño completamente al azar con 3 repeticiones. Cada caja petri representó una unidad experimental. Las variables estudiadas fueron G1= Porcentaje de germinación 24 h; G2= Porcentaje de germinación 48 h; G3= Porcentaje de germinación 72 h; NRS=Número de raíces secundaria; DR= Diámetro de raíz principal; largo de raíz principal; LPR= longitud de raíz principal, AF =Área foliar; DT=Diámetro de tallo; PVT= Peso verde total; PVTH= Peso verde de hojas y tallo; PRV= Peso verde de raíz; PSTH=Peso Seco de hojas y tallo; PSR= Peso seco de raíz. Los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza y se realizaron separación de medias mediante el DHS(Tukey) y DMS ($p \leq 0.05$). Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS. Para el ensayo de aplicación de quelatos el análisis de varianza (ANDEVA) encontró significancia en AF, PSTH, PSR, DT, PVT PVTH. El análisis no encontró significancia. Los coeficientes de variación más alto fueron de AF y PVTH. En conclusión, hubo efecto en la aplicación de ácido salicílico en las 24 y 72 horas al efecto de este también se presentó en V2+CA y V2+A para la variable de NRS V2+AC y V2+A, para DRP no hubo efecto entre ácido salicílico y variedad. Para los efectos de Quelatación se recomienda los siguientes tratamientos. Para AF; V2+SM, PRV; V1+SC, PSTH, V2+SM y V2+SZ, PSR; V1+SM y V2+SM.

Palabras clave: Maíz, Ácido salicílico (AS), Hormona, Fenólico.

Índice general

	Pagina
Agradecimientos	II
Dedicatoria	i
Resumen.....	iii
Índice general	iv
Índice de cuadros.....	vi
Índice de figuras	vii
I Introducción	1
II Objetivos.	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivo específico.	3
III Hipótesis	4
IV Revisión de literatura	4
4.1 Semillas	4
4.2 Inactividad de semillas.	5
4.3 Factores que causan la inactividad de las semillas.	5
4.4 Inactividad de semillas primarias frente a semillas secundarias.	5
4.5 Clasificación de la latencia de semillas.....	6
4.6 Germinación de semillas.	6
4.7 Requisitos para la germinación.....	6
4.8 Origen del ácido salicílico.	7
4.9 Clasificación del ácido salicílico.	8
4.10 Papel del ácido salicílico en las plantas.....	9
4.11 Funciones fisiológicas en las plantas.	11
4.12 Intervención del Ácido Salicílico en la germinación.....	12
4.13 Eficiencia en el uso de nutrientes.....	14
4.14 Asimilación del Azufre.....	16
4.15 La absorción del sulfato se asemeja a la del nitrato.	18
4.16 Nitrógeno y azufre en Planta C4.....	19
4.17 Cloro (Cl).....	21
4.18 Cl Suministro y Crecimiento de plantas.....	22
4.19 Magnesio (Mg).....	23
4.20 Níquel (Ni).....	24
4.21 Hierro (Fe).....	25
4.22 Zinc (Zn).....	26

4.23 Cobre (Cu).....	27
V Materiales y métodos.	29
5.1 Localización del experimento.....	29
5.2 Características climatológicas de la comarca lagunera.	29
5.3 Materiales utilizados.....	29
5.4 Establecimiento del experimento.....	30
5.6 Análisis estadístico	31
VI Resultados y discusión	32
6.1 Germinación aceleración	32
6.2 Quelatos	34
VII Discusión.....	36
VIII Conclusión	37
IX Literatura citada.....	38

Índice de cuadros

Cuadro 6.2 Elementos esenciales en la mayoría de las platas, formas de absorción y concentraciones que se consideran adecuadas.....	14
Cuadro 1. Significancia de los cuadrados medios para los factores de variación del diseño experimental. Media, rangos máximo y mínimo, y coeficiente de variación, para acelerar la germinación.....	32
Cuadro 2. Comparación de medias de los tratamientos del híbrido de maíz Antílope (grano blanco) (V1+AC, V1+A). Antílope Y (grano amarillo) (V2+AC, V2+A) en la aceleración de la germinación.....	33
Cuadro 3. Significancia de los cuadrados medios para los factores de variación del diseño experimental y media, rangos máximo y mínimo, y coeficiente de variación, para acelerar la germinación en el grano de maíz con aplicaciones de quelatos.....	34
Cuadro 4. Comparación de medias de los tratamientos del híbrido de maíz Antílope (grano blanco V1), con adiciones de (SM, CN, SF, SZ, SC). Antílope Y (grano amarillo V2), adicionando (SM, CN, SF, SZ, SC), en la Quelatación de plántula de maíz.....	35

Índice de figuras

Figura 1. Estructura química del ácido salicílico.....	9
Figura 2.16 Ciclo del carbono.....	20
Figura 15.2 Asimilación del sulfato en las plantas.....	21

I Introducción

Las semillas son la especie principal de interés agrícola, son un mecanismo de reproducción, constituidas por un embrión y por compuestos de reserva (glúcidos, proteínas, lípidos), rodeadas por las cubiertas seminales. Varían, entre especies, principalmente en relación al tipo y proporción de los compuestos de reserva y a las características de las cubiertas seminales (Pita y Perez, 1998). La germinación podría mejorar las propiedades nutricionales, la disponibilidad de los nutrientes, especialmente de los minerales, es importante ya que muchos componentes presentes en los alimentos y/o dietas, afectan su absorción y utilización, al igual que la forma química de los minerales (Torres, Cova y Valera, 2018). La germinación es la unidad de reproducción sexual de las plantas superiores. El proceso de germinación se considera cuando una semilla ha germinado en el momento que ha originado una plántula esta definición es desde el punto de vista agronómico. El proceso conlleva a la absorción de agua por los diferentes tejidos que la forman, especialmente por los que constituyen el embrión. Fisiológicamente empieza con la rehidratación de los tejidos que constituyen la semilla y termina con el inicio del crecimiento o elongación de la radícula. Y se considera que una semilla ha germinado cuando su radícula atraviesa la cubierta seminal (Pérez, 2003).

El ácido salicílico (AS) es un compuesto fenólico que se encuentra de forma natural en numerosas especies vegetales y en la actualidad es considerada como una hormona vegetal (Raskin, 1992). Aplicaciones en bajas concentraciones en etapa de plántula, regulan diversos procesos fisiológicos y bioquímicos que afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas, en plántulas de maíz incrementan el tamaño de sus raíces,

independientemente de las condiciones de cultivo (Tucuch-haas *et al.*, 2016). Incrementa la biomasa aérea (Villanueva-Couoh *et al.*, 2009) y de raíz (Martín-Mex *et al.*, 2015). En una revisión hecha por Reza y Rigi, (2014) con diferentes cultivos de interés agrícola entre ellos el maíz, encontraron que el AS estimula e incrementa la tasa fotosintética, flavonoides, área foliar y peso seco de la planta de igual manera regula el contenido de agua en las hojas y funciones de la membrana, aumento de la asimilación de CO₂ y al aumento de la absorción de minerales por la planta estresada. El AS tiene un efecto significativo en el crecimiento de las raíces, (Echevarría-Machado, Rosa y Larqué-Saavedra, 2007) induciendo cambios en la longitud, peso, perímetro, área (Villanueva-Couoh *et al.*, 2009). Aspersiones de concentraciones 1 µM de ácido salicílico al dosel de plántulas de trigo incrementan significativamente el peso fresco de la raíz, altura de la planta y la biomasa fresca total. También existe una tendencia a estimular la elongación de la raíz hasta 21% en promedio (Tucuch Haas, Alcántar González and Larqué Saavedra, 2015). Mientras que con 0.5 mM de AS se presenta una mayor acumulación de proteínas, azúcares y minerales en la planta bajo condiciones de estrés por sequía (Tayeb and Ahmed, 2010). Por otra parte Sprays *et al.*, (1998) encontraron que al aplicar AS (0.1 mM) de forma foliar al inicio de la fecundación, el rendimiento en la producción de semillas es elevado hasta 15%.

Los quelatos son productos de alta estabilidad capaces de mantener los iones metálicos rodeados de una molécula orgánica (agente quelante) de modo que queden salvaguardados del entorno que favorecería su precipitación en forma de hidróxido insoluble y no disponible para la planta (Chen and Barak, 1982). La eficacia de quelatos está suficientemente contrastada, aunque hay que tener en cuenta que deben emplearse

siempre los productos adecuados a cada condición agronómica y elemento, a la dosis correcta y con productos que presenten una calidad comercial contrastada (Lucena, 2009). Los micronutrientes metálicos manganeso (Mn), zinc (Zn) y cobre (Cu) se encuentran en los suelos es concentraciones mucho más bajas que el Fe (valores medios de 0,06%, 0,005% y 0,003%) respectivamente (Nowack, 2002). La eficacia de quelatos va a depender de su reactividad en el medio en que se apliquen y de la capacidad de la planta en tomar el elemento aportado. Las aplicaciones foliares de quelatos son en general poco efectivas y no se ha descrito una relación clara entre la composición química del quelato y su efectividad (Lucena, 2009).

II Objetivos.

2.1 Objetivo general.

Evaluar la solución de ácido salicílico y como control agua de llave y cinco distintos minerales aplicados al forraje verde hidropónico de dos variedades de maíz para determinar el impacto e importancia que causa el ácido salicílico en la planta.

2.2 Objetivo específico.

- Identificar cuál de los tratamientos influye de manera favorable en el fenotipo en la plántula.
- Comparar las características agronómicas obtenidas entre los cuatro tratamientos.
- Comparar las características agronómicas obtenidas entre los diez tratamientos
- Seleccionar el mejor tratamiento.

III Hipótesis

Al menos un tratamiento influye de manera diferente en la germinación y quelatación en el desarrollo de la semilla de maíz.

IV Revisión de literatura

4.1 Semillas

Las semillas son, en la mayor parte de las especies de interés agrícola, el principal mecanismo de reproducción. Las semillas están constituidas por un embrión y por compuestos de reserva (glúcidos, proteínas, lípidos), rodeados ambos por las cubiertas seminales. No obstante, esta estructura general varía, entre las diferentes especies, principalmente en relación al tipo y proporción de los compuestos de reserva y a las características de las cubiertas seminales (Pita y Pérez, 1998).

Las semillas, una vez finalizado su desarrollo sobre la planta madre, permanecen en un estado de "reposo" hasta que se dan las condiciones favorables para su germinación. Este estado puede venir determinado por la existencia de condiciones ambientales desfavorables o por la existencia de factores que actúan desde la propia semilla no permitiendo su germinación. En el primer caso se dice que la semilla se encuentra en un estado de quiescencia y en el segundo que la semilla presenta dormición. (Pita y Pérez, 1998).

4.2 Inactividad de semillas.

Una semilla latente no tiene la capacidad de germinar en un período de tiempo especificado bajo cualquier combinación de factores ambientales físicos normales que de otro modo son favorables para su germinación, es decir, después de que la semilla se vuelva no dormante. Una semilla completamente no dormante tiene la capacidad de germinar sobre la gama más amplia de factores ambientales físicos normales posibles para el genotipo. Muchas reseñas sobre latencia en semilla y germinación publicada, (Finch-Savage y Leubner-Metzger, 2006).

4.3 Factores que causan la inactividad de las semillas.

Una amplia gama de factores altera la latencia de las semillas, por ejemplo, temperatura, luz, sales de nitrato o señales químicas de origen natural (ABA y otros cuatro terpenos) y lixiviados de la basura que cubre las semillas en su hábitat.

4.4 Inactividad de semillas primarias frente a semillas secundarias.

Se dice que las semillas que se liberan de la planta en un estado latente exhiben inactividad primaria. Las semillas que se liberan de la planta en un estado no inactivo pero que se vuelven inactivas si las condiciones de germinación son desfavorables exhiben latencia secundaria.

4.5 Clasificación de la latencia de semillas.

Las semillas con latencia primaria pueden mostrar latencia exógena (física), endógena (fisiológica y morfofisiológica) o latencia combinada (física y fisiológica).

4.6 Germinación de semillas.

Para el analista de semillas, la germinación es «la aparición y el desarrollo a partir del embrión de semillas de aquellas estructuras esenciales que, para el tipo de semilla en cuestión, son indicativas de la capacidad de producir una planta normal en condiciones favorables». Basándose en el destino de los cotiledones, se producen dos tipos de germinación de semillas. Cuando los cotiledones permanecen por debajo de la superficie del suelo debido a la rápida elongación de epicotileo, entonces se llama como germinación hipogea, por ejemplo, la mayoría de los monocotiledías; algunos árboles como mango, coco y nuez de areca; y algunas legumbres de semillas grandes. Cuando los cotiledones empujados por encima de la superficie del suelo debido a la rápida elongación de los hipocotíleos, entonces se le llama como germinación epigea principalmente en especies de plantas hortícolas y leñosas, por ejemplo, algodón, pepino, guar, calabazas, tamarindo, ricino, girasol y cacahuete.

4.7 Requisitos para la germinación.

El agua es un requisito básico para la germinación. En su estado de reposo, las semillas son característicamente bajas en humedad y relativamente inactivas metabólicamente. Una vez que las semillas absorben el agua, la activación de la enzima se produce dando

lugar a la descomposición, translocación y utilización del material de reserva por los tejidos en crecimiento.

Gases del aire se compone de aproximadamente un 20 % de oxígeno, un 0,03 % de dióxido de carbono y aproximadamente un 80 % de gas nitrógeno. Si uno proporciona diferentes proporciones de cada uno de estos gases en condiciones experimentales, pronto se hace evidente que se requiere oxígeno para la germinación de la mayoría de las especies. Las concentraciones de dióxido de carbono superiores al 0,03 % retrasan la germinación, mientras que el gas nitrógeno no tiene influencia. La germinación de la semilla de temperatura es un proceso complejo que implica muchas reacciones y fases individuales, cada una de las cuales se ve afectada por la temperatura. El efecto sobre la germinación puede expresarse en términos de temperatura cardinal: es decir, temperaturas mínimas, óptimas y máximas a las que se producirá la germinación.

4.8 Origen del ácido salicílico.

El ácido salicílico es muy conocido gracias al extenso uso clínico de la aspirina o ácido acetilsalicílico (Patrono, 2013). El ácido salicílico es un beta-hidroxiácido con propiedades queratolíticas y antimicrobianas. La corteza del sauce blanco (*Salix alba*) contiene una sustancia llamada salicina, de la cual se obtiene el ácido salicílico (de ahí su nombre derivado del latín) (Cuellar *et al.*, 2008)

La primera evidencia conocida del uso del ácido salicílico se descubrió en la placa dental de los fósiles de Neanderthals de la cueva El Sidrón (Weyrich *et al.*, 2017). Estos fósiles contenían restos de corteza de álamo, lo que sugiere que los individuos masticaron la planta para aliviar el dolor de los abscesos dentales. El uso de plantas que contienen

salicilatos como analgésicos se puede encontrar en muchas culturas antiguas de Europa, Asia y América (Vlot, Dempsey y Klessig, 2009). La salicina (heterósido amargo, cuya fórmula es $C_{13}H_{18}O_7$), y principio activo de la corteza de los sauces, fue aislada y purificada en forma cristalina en 1828 por Henry Leroux y Rafael Piria. Ella es ácida en una solución saturada en agua por eso se le llama ácido salicílico ($C_6H_4(OH)COOH$). Félix Hoffmann, químico de la compañía farmacéutica alemana Bayer, redescubre la fórmula de Gerhardt, trabaja con ella en 1897, y la modifica como éster acetilado del ácido salicílico, un año después se registró y patentó el ácido acetil-salicílico con el nombre de Aspirina® (Waizel-Bucay, 2011). Klessig, Choi y Dempsey, (2018) menciona que a fines del siglo XX se caracterizó como metabolito secundario en la biología vegetal.

4.9 Clasificación del ácido salicílico.

El ácido salicílico (ácido ortohidroxibenzoico) se encuentra en la corteza del sauce *Salix alba*. El salicilato de metilo se encuentra en las hojas de la planta de gaulteria (Lin y Nakatsui, 1998). El ácido 2-hidroxibenzóico o ácido salicílico (AS) pertenece al grupo de los compuestos fenólicos, cuya estructura química está constituida por un anillo aromático con un grupo hidroxilo o un derivado funcional. Su fórmula molecular es C con una masa molecular de 138.1 g/mol (Cuellar *et al.*, 2008).

Los compuestos secundarios de plantas de interés comercial, han sido incluidos en tres principales categorías según sus rutas biosintéticas: terpenos, compuestos fenólicos y compuestos nitrogenados (Shilpa, Varun and Lakshmi, 2010). Entre los compuestos fenólicos se incluyen los ácidos fenólicos, cumarinas, flavonoides y taninos. El AS pertenece a un grupo muy diverso de sustancias conocidas como fenólicos. En las plantas

los compuestos fenólicos, relacionados con el llamado metabolismo secundario, están involucrados en gran cantidad de actividades de regulación de las plantas (Vélez-Terranova, Gaona y Sánchez-Guerrero, 2014). La aplicación exógena de SA mitigó los efectos adversos de la salinidad en las plantas de maíz mediante la osmorregulación, que posiblemente esté mediada por una mayor producción de azúcar y prolina (Fahad and Bano, 2012).

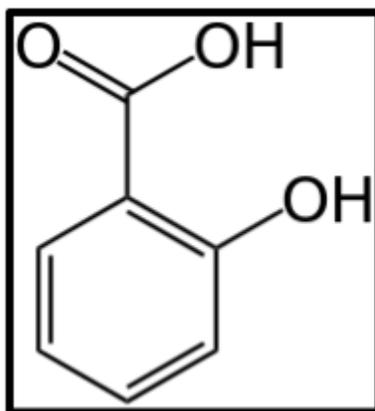


Fig. 1. Estructura química del ácido salicílico

4.10 Papel del ácido salicílico en las plantas.

El ácido salicílico (SA) es una hormona vegetal que se ha descrito que juega un papel esencial en la activación y regulación de múltiples respuestas al estrés biótico y abiótico. En particular, durante las interacciones planta-microbio, como parte de los mecanismos de defensa, la SA se acumula inicialmente en el tejido local infectado y luego se extiende por toda la planta para inducir resistencia sistémica adquirida en las partes distales no infectadas de la planta. El SA puede ser producido por las vías biosintéticas de fenilalanina o isocorismato. El primero, tiene lugar en el citosol, mientras que el segundo ocurre en los cloroplastos. Una vez sintetizados, los niveles de SA libre están regulados

por una serie de modificaciones químicas que producen formas inactivas, que incluyen glicosilación, metilación e hidroxilación a ácidos dihidroxibenzoicos. El SA glicosilado se almacena en la vacuola, hasta que sea necesario para activar las respuestas activadas por SA. Toda esta información sugiere que los niveles de SA están bajo un estricto control, incluido su movimiento intra y extracelular que debe coordinarse mediante la acción de los transportadores (Maruri-López *et al.*, 2019).

Los esfuerzos para identificar la función de SA han revelado que afecta a una amplia gama de procesos de la planta. Además de influir en la tolerancia a varios estreses abióticos (frío, calor, sequía, metales pesados, radiación UV, salinidad o estrés osmótico) e inducir resistencia al estrés biótico (asociado a patógenos), el SA suministrado de manera exógena afecta numerosos aspectos del crecimiento de las plantas y desarrollo, incluyendo germinación de semillas, crecimiento vegetativo, iniciación y crecimiento de raíces, floración, rendimiento de frutos, senescencia, cierre estomático, termogénesis (producción de calor), fotosíntesis, respiración, la vía respiratoria alternativa, glucólisis y el ciclo de Krebs (Hayat *et al.*, 2010; Khan *et al.*, 2015; Tada *et al.*, 2008; Rivas-San Vicente Plasencia, 2011).

El AS ha sido encontrado en algunas plantas, tales como: el arroz, la cebada y la soya, donde su concentración de AS es en promedio de 1 mg/g de masa fresca (Rivas-San Vicente y Plasencia, 2011). El ácido salicílico se encuentra en las plantas en forma libre o en forma conjugada. A excepción de unas cuantas plantas como el arroz y la papa generalmente no se encuentra gran cantidad de AS, una parte de ello proviene de las reservas de conjugados (Hennig, 1993).

Contreras Liza, Huamán Tasa y Noriega Cordova (2017) observaron que los tratamientos aplicados con SA y Biol, afectaron la variabilidad de caracteres agronómicos como

densidad de tallos por unidad experimental, vigor vegetativo y el porcentaje de floración y se presentaron algunas interacciones significativas entre las variedades de papa y los tratamientos aplicados con ácido acetil salicílico para densidad de tallos, número de tallos por planta y floración.

El AS libre es móvil y puede ser transportado dentro de la planta, principalmente vía floema. La capacidad del AS para difundir a través de la membrana depende de propiedades como el tamaño de la molécula, área superficial, número de donadores de hidrógeno, etc. (Grimes, 2006). Se detectaron niveles más altos de AS en hojas de tomate (0,27 lgg-1 fr. de masa), frijol (0,86 1 lgg-1 fr. de masa), cebada (2,13 lgg-1 fr. masa) y el más alto en arroz, que varió de 5 a 30 lgg-1 fr. de masa, dependiendo del cultivar (Raskin, 1992; Vázquez Cruz, Jiménez y González, 2012).

4.11 Funciones fisiológicas en las plantas.

Los brasinosteroides, auxinas, ácido salicílico y ácido giberélico promueven el crecimiento de las plantas (Guzmán-Antonio *et al*, 2012). El ácido salicílico (AS) además de favorecer el crecimiento vegetal, está involucrado en diversos procesos fisiológicos tales como termogénesis, resistencia a patógenos, inducción a la floración, el crecimiento de raíces y absorción de nutrimentos (Hayat *et al.*, 2010; Martín-Mex *et al.*, 2015). No obstante, también existen reportes sobre el efecto inhibitor del AS en el crecimiento de raíces (Guzmán-Antonio *et al*, 2012) como una respuesta alelopática (Singh, Batish and Kohli, 2003). Entre los efectos benéficos del AS se tiene los reportados por Villanueva-Couh *et al.*, (2009) en crisantemos (*Chrysanthemum morifolium*) en donde se favoreció

el crecimiento de la planta en diámetro y altura. Por otra parte, Gallego-Giraldo *et al.*, (2011) mencionan que los niveles de AS son inversamente proporcionales a los niveles de lignina y al crecimiento en algunas plantas, señalando que el AS es un componente central en el crecimiento al reducir la formación de carbohidratos en la membrana celular. Se ha mencionado la importancia de las aplicaciones del AS en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Las plantas fenólicas, están involucradas en la biosíntesis de lignina; otros sirven como compuestos alelopáticos, regulan las respuestas de las plantas a los estímulos abióticos, o desempeñan un papel crítico en la resistencia a las enfermedades de las plantas, ya sea funcionando como compuestos de defensa antimicrobiano preformados o inducibles llamados fitoalexinas o mediante la señalización activación de la defensa (Raskin, 1992). Ácido Salicílico (AS) influye en la germinación de semillas, el establecimiento de plántulas, el crecimiento celular, la respiración, el cierre estomatal, la expresión génica asociada a la senescencia, la termo tolerancia basal, la nodulación en las legumbres y el rendimiento de la fruta (Vlot, Dempsey y Klessig, 2009). La razón de algunos de estos procesos puede ser indirecta porque AS modula la síntesis y/o señalización de otras hormonas como el ácido jasmónico (en adelante JA), el etileno (en adelante ET) y la auxina. Se distribuye ubicuamente en todo el reino vegetal y se clasifica bajo un grupo de hormonas vegetales (Raskin, 1992).

4.12 Intervención del Ácido Salicílico en la germinación.

En estudios realizados por Rajjou *et al.*, (2006) demostró que esta molécula de AS mejora la reinducción del programa de maduración tardía durante las primeras etapas de la

germinación, lo que permite que las semillas en germinación refuercen su capacidad de generar respuestas adaptativas en el estrés hídrico ambiental. La inclusión de SA a 0.5 mm en el medio de germinación se asoció con un marcado aumento en el porcentaje máximo de germinación, que alcanzó el 87% (\pm 5.9%). Otros procesos afectados por SA se referían a la calidad de la traducción de proteínas (p. Ej., Una mayor acumulación de subunidades NAC), la preparación del metabolismo de las semillas (p. Ej., Metabolismos de glioxilato y Met), la síntesis de enzimas antioxidantes y la movilización de proteínas de almacenamiento de semillas

El papel de AS en la germinación de semillas ha sido discutible, ya que hay informes inconsistentes que sugieren que puede inhibir la germinación o aumentar el vigor de las semillas. Los efectos contradictorios notificados pueden estar relacionados con las concentraciones de AS empleadas. SA a 1 mM, mejora el crecimiento de embriones precozmente germinados en maíz, parece inhibir la germinación de la semilla al día siguiente de la inhibición (Guan y Scandalios, 1995). El ácido salicílico (SA) también inhibe la germinación de semilla *Arabidopsis* y bloquea la germinación de semillas de cebada de una manera dependiente de la dosis. En la germinación de semillas de cebada se trataron con diferentes hormonas y sus combinaciones, incluidas Acido Giberilico (GA), Acido absicico (ABA), Ácido Salicílico (SA), en diferentes concentraciones de SA. Los resultados indicaron que las semillas de cebada comenzaron a germinar después de 24 h de incubación, y el 78% de las semillas germinaron después de 72 h de incubación a 24 ° C. El ácido absicico (ABA), SA también inhibe la germinación de semillas. SA comenzó a mostrar un efecto inhibitorio sobre la inducción de GA de la germinación de semillas cuando se aplicó a 250 μ M. Con mayores cantidades de SA, este efecto inhibitorio

se incrementó gradualmente. Solo el 53% de las semillas germinaron a las 72 h cuando las semillas se trataron con 1 mM de SA más 1 μ MGA₃(Xie *et al.*, 2007).

4.13 Eficiencia en el uso de nutrientes.

Las plantas, su adaptación al clima por sí sola no es el único factor para determinar la forma de vida de las mismas, no solo implica la germinación, el crecimiento, la senescencia y la muerte del individuo, sino también la etapa particular en la que tiene lugar la reproducción, la cantidad de prole que se produce y las posibilidades de supervivencia que tienen para alcanzar la madurez reproductiva (Collinson, 1988). Los nutrientes de las plantas se clasifican en dos grandes grupos: orgánicos e inorgánico. Los primeros representan entre el 90 y el 95% del peso seco de las plantas y están constituidos por los elementos carbono, oxígeno e hidrógeno, obtenidos a partir de CO₂ de la atmósfera y del agua del suelo. El 5-10% restante constituye la denominada fracción mineral (Azcón-Bieto y Talón, 2003).

CUADRO 6-2. Elementos esenciales en la mayoría de las plantas, formas de absorción y concentraciones que se consideran adecuadas. Las formas preferentes de absorción se resaltan en negrita.

Elemento	Símbolo químico	Forma de absorción	Peso atómico	Concentración en peso seco			N.º relativo de átomos respecto al Mo
				μ mol · g ⁻¹	mg · kg ⁻¹ (ppm)	%	
Molibdeno	Mo	MoO ₄ ²⁻	95.95	0.001	0.1	–	1
Níquel	Ni	Ni ²⁺	58.70	~ 0.001	~ 0.1	–	1
Cobre	Cu	Cu ⁺ , Cu ²⁺	63.54	0.10	6	–	100
Cinc	Zn	Zn ²⁺	65.38	0.30	20	–	300
Manganeso	Mn	Mn ²⁺	54.94	1.0	50	–	1000
Hierro	Fe	Fe ³⁺ , Fe ²⁺	55.85	2.0	100	–	2000
Boro	B	H ₃ BO ₃	10.82	2.0	20	–	2000
Cloro	Cl	Cl ⁻	35.46	3.0	100	–	3000
Azufre	S	SO ₄ ²⁻	32.07	30	–	0.1	30 000
Fósforo	P	H₂PO₄⁻, HPO₄²⁻	30.98	60	–	0.2	60 000
Magnesio	Mg	Mg ²⁺	24.32	80	–	0.2	80 000
Calcio	Ca	Ca ²⁺	40.08	125	–	0.5	125 000
Potasio	K	K ⁺	39.10	250	–	1.0	250 000
Nitrógeno	N	NO₃⁻, NH₄⁺	14.01	1000	–	1.5	1 000 000
Oxígeno	O	O ₂ , H ₂ O	16.00	30 000	–	45	30 000 000
Carbono	C	CO ₂	12.01	40 000	–	45	40 000 000
Hidrógeno	H	H ₂ O	1.01	60 000	–	6	60 000 000

(Basado en Salisbury y Ross, 1992; Marschner, 1995, y Epstein, 2005).

La escasez de nutrientes minerales limita la producción vegetal en la mayoría de los ambientes. En condiciones naturales la cantidad de nutrientes disponible es siempre limitada y las adiciones externas son escasas, por lo que las plantas necesitan reciclar, reducir las pérdidas y maximizar la eficiencia en el uso de los nutrientes para conseguir una máxima producción de biomasa con una cantidad dada de nutrientes. En los últimos tiempos, las adiciones antropogénicas han aumentado la disponibilidad de algunos elementos químicos en las zonas industrializadas, y esto provoca perturbaciones, porque altera los equilibrios entre las concentraciones de los diferentes nutrientes vegetales. En ambientes menos afectados por las adiciones antropogénicas, otros factores, tales como la temperatura, la disponibilidad de agua en el suelo o la concentración atmosférica de dióxido de carbono, limitan también la producción vegetal y reducen las necesidades de nutrientes; por lo tanto, las limitaciones por estos otros factores contribuyen a reducir la importancia de los nutrientes como factores limitantes (Uriarte Bautista y Uriarte Bautista, 2003). Los nutrientes pueden movilizarse de las hojas senescentes y transportarse a otros tejidos vegetales reabsorción de nutrientes, Killingbeck, (1996), lo que permite a las plantas conservarlos y reutilizarlos. Como la mayor parte del capital nutricional de las plantas está contenido en las hojas (Chapin, 1980), la resorción de nutrientes representa un importante mecanismo de conservación de nutrientes (Distel, Moretto y Didoné, 2003).

La tasa de absorción de nutrientes por una raíz depende tanto del suministro de nutrientes a la superficie de la raíz como de la absorción activa por parte de las células corticales de la raíz. El suministro de nutrientes a la superficie de la raíz depende de la concentración de la solución del suelo, el poder amortiguador del suelo y la tasa de movimiento de

nutrientes para la superficie de la raíz por difusión o por flujo masivo de agua del suelo (Chapin, 1980).

Mientras que Chapin, (1980) definió simplemente como la inversa de la concentración de nutrientes, puede subdividirse aún más en productividad de nutrientes (NP) y tiempo medio de residencia, el período en el que un determinado nutriente puede ser utilizado para la producción. En estudios realizados por Gutiérrez *et al.*, (2017) mencionaron que el uso adecuado de los fertilizantes nitrogenados puede optimizar el costos de producción, se demostró que el mejor costo de producción de un kg de MS es de 0,06 y se logra utilizando la dosis de 140 kg N/ha/año, pero mayores niveles de fertilización no disminuyen el costo. La omisión de nutrientes en el raigrás perene permitió demostrar que el nutriente que más controla la acumulación de biomasa (kg/MS/ha) y el contenido de proteína bruta es el N. La omisión de P, K, Mg afectaron la acumulación de biomasa, pero no el contenido bromatológico del pasto.

En cuanto a minerales los iones de los metales pesados (como el Fe, Zn o Cu) no atraviesan libremente la membrana celular para nutrir a las plantas. Las formas de paso de estos metales son quelatos. Los quelatos sintetizados biológicamente y cuya función es acarrear iones de metales son llamados ionóforos, y los ionóforos específicos para el hierro son conocidos como sideróforos (Benavides-Mendoza, 2000).

4.14 Asimilación del Azufre.

El azufre es un macronutriente esencial para el crecimiento de las plantas. En los suelos, el azufre se encuentra en estado oxidado bajo la forma de sulfato (SO_4^{2-}) (S: +6). Como tal, es absorbido por la raíz y transportado por el xilema hasta las hojas, donde es reducido

hasta sulfuro (S^{2-}) ($S:-2$), el cual es rápidamente asimilado como grupo sulfhidrilo o grupo tiol (-SH) de los aminoácidos cisteína y metionina. Aunque la mayor parte del azufre orgánico de la materia vegetal se encuentra formando parte de dichos aminoácidos en las moléculas de proteína, también se encuentra presente en otras importantes biomoléculas, como el glutatión, los centros sulfoférricos, y diversas coenzimas y vitaminas. En las proteínas y en el glutatión, dos grupos tiólicos de cisteínas próximas pueden oxidarse para formar entre sí un enlace covalente estable denominado puente de sulfuro. No todo el sulfato absorbido por la planta es reducido, una parte de él se incorpora como tal sulfato a sulfolípidos y a diferentes metabolitos secundarios (Maldonado, Agüera y Pérez Vicente, 2008).

El azufre se absorbe en forma de anión sulfato (SO_4^{2-}) y en esta forma, se transporta por la xilema. También puede ser absorbido por las estomas de las hojas bajo la forma de dióxido de azufre (SO_2), contaminante atmosférico resultante de la combustión del carbón, la madera y el petróleo. El SO_2 reacciona con el agua en el interior de las células formando bisulfito (HSO_3^-), que desplaza el magnesio de la clorofila y disminuye, en consecuencia, la fotosíntesis. El S como sulfato forma parte de los sulfolípidos y los heteropolisacáridos y, en forma reducida, reducción que tiene lugar mayoritariamente en los cloroplastos, se encuentra en aminoácidos como la cisteína y la metionina. Igualmente, se integra en diversas coenzimas como la tiamina, la biotina y la coenzima A, compuesto clave en la activación de los ácidos orgánicos y, por tanto, en los procesos de síntesis y degradación de los ácidos grasos y en la respiración celular. Los grupos-SH son clave en multitud de reacciones enzimáticas, determinando, según su forma (oxidada o reducida), la actividad de éstas. Las fitoquelatinas, unas proteínas de bajo peso

molecular, pero con un elevado número de aminoácidos azufrados (cisteína principalmente), que forman complejos con metales pesados (Cd, Cu, Pb), constituyéndose así en uno de los principales mecanismos de defensa de las plantas frente a estos agentes, tóxicos en su mayoría. Las deficiencias en azufre son poco habituales, dado que la presencia de sulfatos en el suelo resulta suficiente. Cuando se dan, en la planta aparece una clorosis muy generalizada en las hojas, incluidos los haces vasculares. La redistribución desde los tejidos maduros es, en muchas especies, peor que la observada en el fósforo y el potasio, por lo que los síntomas de deficiencia suelen apreciarse en primer lugar en las hojas más jóvenes. Las plantas presentan un menor crecimiento, y se hacen rígidas y quebradizas. A nivel celular, los orgánulos más afectados son los cloroplastos. El margen de normalidad del contenido de azufre en muchos cultivos se encuentra en una quinceava parte del peso total del nitrógeno. Como en el caso del potasio, recientemente también se han identificado transportadores de alta y baja afinidad del bioelemento HAST y LAST, respectivamente (Azcón-Bieto and Talón, 2003).

4.15 La absorción del sulfato se asemeja a la del nitrato.

El sulfato de la disolución del suelo es transportado activamente al interior de las células de la raíz mediante un mecanismo de simporte con protones ($3\text{H}^+/\text{SO}_4^{2-}$). Al igual que sucede con el nitrato, el gradiente de potencial electroquímico de H^+ requerido para dicho simporte es mantenido por una H^+ -ATPasa de la plasmalema que transporta unidireccionalmente H^+ hacia el exterior. La velocidad de absorción de sulfato por las raíces muestra en general una cinética bifásica que refleja la actuación de dos sistemas de transporte, un transportador de alta afinidad ($K_m=10\text{-}20\ \mu\text{M}$), que trabaja a bajas concentraciones externas de sulfato, y un sistema de libre difusión que es operativo en

concentraciones elevadas. El transporte activo de sulfato al interior de las células epidérmicas de la raíz se estimula en condiciones de insuficiencia de azufre como resultado de la inducción del gen que codifica el transportador de alta afinidad. En cambio, la absorción desciende cuando aumenta la concentración interna de sulfato o de formas reducidas de azufre, como cisteína o glutatión. Éstos actúan como reguladores negativos de la expresión del gen del transportador de sulfato. Así pues, la velocidad de absorción de sulfato está regulada por la disponibilidad y el estado nutricional de azufre de la planta (Maldonado, Agüera y Pérez Vicente, 2008).

El azufre se absorbe como sulfato (SO_4^{2-}) del suelo y en forma de dióxido de azufre (SO_2) por las estomas. El SO_2 procede de la combustión de carbón, madera y petróleo y reacciona en el interior de las células formando bisulfito (HSO_3^-), que desplaza al magnesio de la clorofila disminuyendo así la fotosíntesis. El azufre como sulfato lo encontramos formando parte de lípidos y polisacáridos y reducido en aminoácidos, coenzimas (biotina, tiamina, etc). Su papel en muchas proteínas tiene especial relevancia, como por ejemplo en enzimas o proteínas como las fitoquelatinas que participan en la respuesta a metales pesados (Escaso Santos, Martínez Guitarte y Planello Carro, 2011).

4.16 Nitrógeno y azufre en Planta C4.

Tanto el nitrógeno como el azufre forman una parte importante de la materia viva, apareciendo en aminoácidos y otras biomoléculas. Gracias a la presencia de bacterias en los suelos es posible que tanto el nitrógeno como el azufre aparezcan en distintos estados de oxidación lo que permite, en definitiva, que existan formas asimilables por parte de las plantas. Los suelos aireados presentan de forma mayoritaria las formas más oxidadas del nitrógeno y del azufre, es decir, las formas NO_3^- y SO_4^{2-} , que pueden ser reducidas por

las plantas a sus formas amonio (NH_4^+) y sulfuro (H_2S) o tiol ($-\text{SH}$) para incorporarlos a moléculas orgánicas. Estas reacciones de reducción conforman los procesos de asimilación del nitrato y el sulfato (Escaso Santos, Martínez Guitarte y Planello Carro, 2011).

El ciclo del nitrógeno, existen cuatro etapas:

- Fijación del N atmosférico a ion amonio y amoníaco por las bacterias fijadoras de nitrógeno.
- Nitrificación del amonio y el amoníaco a nitratos por las bacterias nitrificantes.
- Reducción del nitrato a amonio en las plantas.
- Desnitrificación del nitrato a N por la acción de las bacterias desnitrificantes.

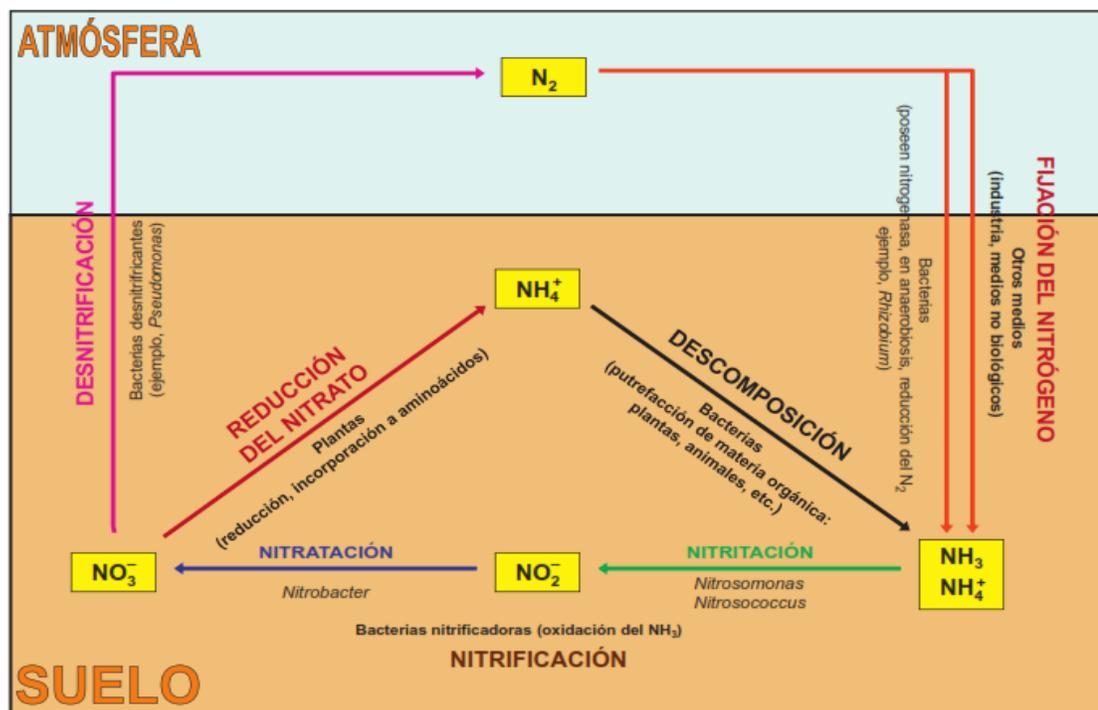
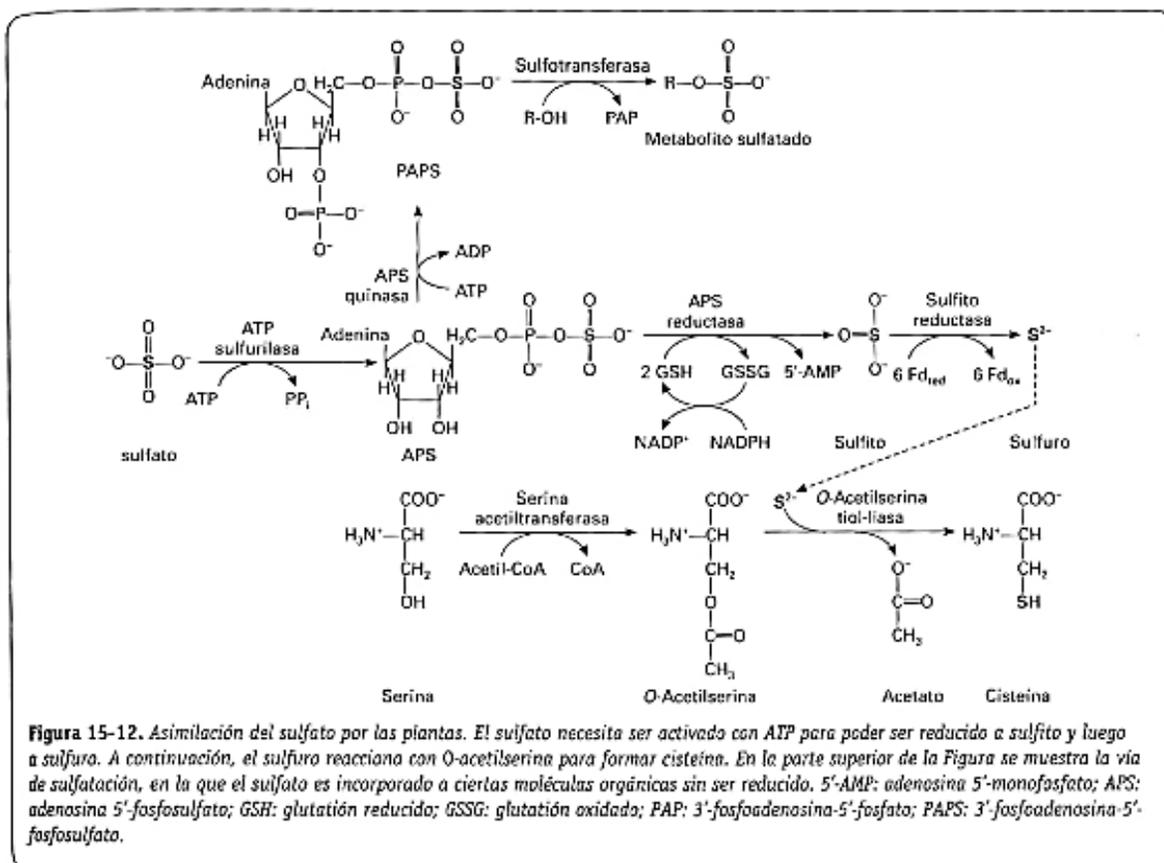


Figura 2.16. Ciclo del nitrógeno. Las plantas no son capaces de fijar nitrógeno atmosférico por lo que se aprovechan de la capacidad de las bacterias para hacerlo. En un primer paso las bacterias transforman el N en amonio y amoníaco, que a su vez se transforman en nitritos y nitratos. Las plantas sí pueden absorber estas últimas formas del nitrógeno y producir aminoácidos y otras moléculas nitrogenadas. La muerte de los individuos, así como su transferencia a otros organismos vivos continúan el ciclo, que se completa por la acción de bacterias capaces de transformar los nitratos en nitrógeno libre.

De manera similar al nitrato, el sulfato se absorbe por un transporte activo de tipos importe de protones y posteriormente se transporta hasta las hojas donde se produce la



reacción de reducción tras haber sido activado por ATP. Una vez reducido se incorpora a los aminoácidos. La asimilación del sulfato se regula por la disponibilidad del mismo y por la demanda de azufre que tiene la planta.

4.17 Cloro (Cl).

El cloro es absorbido por la planta y permanece en ella en forma de ion. Si bien la deficiencia nunca ocurre en la naturaleza, en 1953 los fisiólogos norteamericanos T.C. Broyer, P.R. Stout y colegas, encontraron que es esencial para el crecimiento del tomate. En ausencia de cloro las plantas se marchitan, las raíces se atrofian y se reduce la producción del fruto. D.I. Arnon ha demostrado recientemente el imprescindible

requerimiento de iones cloro en la fotosíntesis de cloroplastos aislados. Se supone que por lo menos parte de la necesidad de cloro de las plantas es consecuencia de tal requerimiento. Queda claro ahora que el requerimiento de este elemento es amplio y probablemente universal. Es interesante comentar, acerca de la dificultad para establecer la necesidad de un micronutriente, que Stout y Broyer dudaron de sus propios resultados (duda que fue ampliamente compartida), hasta ahora que se demostró el papel del cloro en la fotosíntesis (Bitlwell, 1979).

4.18 Cl Suministro y Crecimiento de plantas.

El ion cloruro es ubicuo en la naturaleza y altamente soluble. Aunque como micronutriente es esencial para las plantas, su presencia, relacionada con más de 130 compuestos orgánicos descritos en ellas, habitualmente alcanza concentraciones de macronutriente. Casi todas las plantas absorben entre 10 y 100 veces más Cl^- del que necesitan. Por otra parte, su solubilidad es alta, y en forma de anión se transporta tanto por el xilema como por el floema. Esta gran movilidad le confiere dos funciones principales:

1. Mantenimiento del gradiente de pH existente entre el citosol y la vacuola por activación de la Mg, Mn ATPasa del tonoplasto.
2. Como soluto osmóticamente activo de gran importancia. Así, está implicado en el mecanismo de apertura/cierre de las estomas junto con el potasio, y en diversos movimientos o nastias.

El papel principal del Cl^- es en la fotólisis del agua con emisión de oxígeno en el fotosistema II, demostrado muy tempranamente por Warburg, en 1944, aunque el

mecanismo exacto todavía se desconoce. Es imprescindible para la estabilidad del cloroplasto, probablemente como protector de la oxidación de los componentes lipoproteicos de las membranas tilacoides. Las deficiencias son raras en la naturaleza, dada su disponibilidad y su elevada solubilidad en los suelos; normalmente sólo pueden ser observadas en estudios realizados, muy cuidadosamente, con soluciones nutritivas. En una situación de deficiencia de Cl^- , el desarrollo de las raíces se ve muy reducido en su longitud, aunque se engrosan en las zonas apicales. Las hojas presentan un desarrollo reducido, con manchones cloróticos y necróticos, llegando a presentar, a menudo, un color bronceado generalizado (Azcón-Bieto y Talón, 2003).

4.19 Magnesio (Mg).

El magnesio no suele ser limitante para el crecimiento de las plantas excepto en suelos arenosos o muy ácidos. Se absorbe como ion divalente (Mg^{2-}) y es un componente muy importante de la clorofila con lo que tiene un papel relevante en la fotosíntesis además de en otros procesos como la unión y estabilización de las subunidades del ribosoma o como activador de enzimas de transcripción o replicación (Escaso-Santos Fernando, 2010)

Las hojas adultas son las primeras en expresar situaciones de deficiencia, al emigrar el Mg a las hojas más jóvenes. Aquí, la clorosis es muy característica, porque se dispone de forma intervenal; por alguna razón, las células del mesófilo próximas a los vasos retienen la clorofila durante más tiempo. Aproximadamente el 20% del Mg total de las hojas se encuentra en los cloroplastos, aunque sólo entre el 10 y el 20% se presenta en las moléculas de clorofila. El resto se encuentra localizado en forma iónica soluble en el espacio intratilacoidal y, al iluminarse el cloroplasto, pasa al estroma, donde activa enzimas tan importantes como la rubisco, la fosfoenol-piruvato carboxilasa y la glutamato

sintasa. La asignación fotosintética del carbono y el nitrógeno depende, en gran medida, de la concentración de Mg^{2+} en el cloroplasto. También interviene en el metabolismo energético de la planta, al formar complejos con el ATP, ya que las ATPasa utilizan como sustrato los complejos Mg-ATP. Incluso la propia fosforilación del ATP a partir del ADP necesita Mg^{2+} (Azcón-Bieto y Talón, 2003).

4.20 Níquel (Ni).

El níquel se ha sido añadido recientemente a la lista de elementos esenciales para las plantas. Elemento metálico (Ni) abundante en la naturaleza y siempre presente en los tejidos vegetales, aunque con valores muy bajos, de 0.05 a 5.0 mg kg⁻¹ de peso seco. Una de las principales dificultades para establecer su papel esencial son sus bajos requerimientos, que se han estimado en, aproximadamente, 200 µg para el ciclo vital completo de una planta, cantidad que puede encontrarse contenida, en muchos casos, en la semilla. Ante necesidades tan bajas, no resulta extraño que, aunque no haya sido añadido de manera expresa a los medios de cultivo, las propias impurezas de las otras sales hayan cubierto las necesidades de las plantas estudiadas. En leguminosas como la judía y la soja, la forma de transporte del NH_4^+ fijado en los nódulos de la raíz son los ureidos (ácido alantoico y citrulina, principalmente), los cuales se transportan por el xilema hasta las hojas y, también pasan, vía floema, de las hojas más viejas a las más jóvenes y a las semillas en desarrollo. El metabolismo de dichos ureidos implica la formación de urea, que sólo puede hidrolizarse en presencia de ureasa, enzima que contiene Ni. Si el metal no se encuentra presente, la concentración de urea aumenta y se comporta como un compuesto tóxico que produce necrosis en las puntas de las hojas. Como la degradación de las bases púricas (adenina, guanina) se produce en las plantas a

través de los ureidos, parece probable que todas las plantas, y no sólo las leguminosas, presenten Ni, y en consecuencia lo necesiten para su funcionamiento. En este sentido, los experimentos realizados en la cebada, pese a que obligan a llegar a la tercera generación para obtener semillas incapaces de germinar y con importantes anomalías estructurales, demuestran que el Ni cumple el primer criterio de esencialidad de un nutriente (Azcón-Bieto y Talón, 2003)

4.21 Hierro (Fe).

En plantas y otros organismos una gran parte del Fe presente se encuentra asociado con porfirinas. Las porfirinas con Fe de animales y hongos son principalmente moléculas hem, mientras que en las plantas son los citocromos los más comunes. Los citocromos se encuentran como partes funcionales de los sistemas respiratorio y fotosintético y su propiedad más importante, la función redox, se deriva de la capacidad del Fe de ser oxidado de manera reversible de Fe (II) a Fe (III). Esta capacidad se utiliza en donde se requiere realizar reacciones redox rápidas por transferencia de electrones, es decir, reacciones que no requieren transferencia de H⁺ formación/rompimiento de enlaces covalentes. La mayor parte del Fe activo en la planta se ve implicado en las reacciones redox de cloroplastos, mitocondrias y peroxisomas. El hierro se encuentra también implicado en muchos sistemas enzimáticos en donde no se asocia a un grupo prostético o, incluso, no se asocia estructuralmente a la enzima, si bien cumple un papel que se supone importante aunque poco definido (Benavides-Mendoza, 2000)

Aunque el Fe es el cuarto elemento más abundante de la corteza terrestre, la deficiencia de hierro es un problema común a prácticamente todas las especies de seres vivos. El Fe se presenta en dos estados de oxidación: el Fe⁺³ (Ar3d⁵) o férrico y el Fe⁺² (Ar3d⁶) o

ferroso. En presencia de O_2 el Fe^{+2} es oxidado rápidamente a Fe^{+3} , el cual es poco soluble en agua y en donde precipita como óxidos de Fe. Por lo tanto, en nuestra atmósfera rica en O_2 , la forma termodinámicamente más estable del hierro es también la de más difícil acceso para los organismos. El contenido normal de Fe en el tejido vegetativo de hortalizas es de 50-300 mg kg^{-1} (ppm) en términos de materia seca. Olsen et al. (1981) mencionan que, en general, la cantidad de hierro requerida por un cultivo típico por temporada de crecimiento es de 5-10 kg ha^{-1} . El contenido de Fe(III) de muchos suelos es mucho mayor que esta cantidad, aunque, como fue mencionado, el problema con esta forma iónica radica en su escasa solubilidad (Chen and Barak, 1982). En la solución de agua del suelo la concentración mínima reportada para obtener un crecimiento razonable en diferentes cultivos es de 10^{-9} molar. Incluso bajo condiciones estándar con $pH=7$ la concentración de Fe derivado del $Fe(OH)_3$ es de 2×10^{-18} molar (ver recuadro 1). Así pues, las plantas deben tener forzosamente medios de solubilizar el Fe (III) de los óxidos e hidróxidos de hierro. (Benavides-Mendoza, 2000).

4.22 Zinc (Zn).

El zinc es absorbido como catión divalente (Zn^{2+}), la mayoría de las veces probablemente en forma de quelato. Su disponibilidad es mayor a un pH bajo (ácido). La deficiencia de Zn produce clorosis intervenales fáciles de observar en el maíz, la judía, el sorgo y los árboles frutales, lo que se ha relacionado con un papel estabilizador del Zn sobre la molécula de clorofila. Las alteraciones más típicas son la disminución en el crecimiento de las hojas y el acortamiento en la longitud de los entrenudos, especialmente en las especies leñosas. Esta reducción del tallo se ha relacionado con la producción de ácido indolacético (AIA), una de las auxinas más habituales. Hay una clara relación entre los

niveles de Zn y la concentración de auxinas, que incluso llega a disminuir antes de que se manifieste la deficiencia de cinc en la planta. Existen pruebas de su papel en la síntesis del triptófano, aminoácido precursor de la hormona. Por otra parte, el Zn es necesario para la actividad de, al menos, ochenta sistemas enzimáticos (normalmente formando parte de su estructura, aunque no sufre cambios en su estado de oxidación); por ejemplo, la NADH-deshidrogenasa, la alcohol-deshidrogenasa, que cataliza el paso del acetaldehído a etanol en la fermentación alcohólica, y las cinco anhidrasas carbónicas, descritas hasta el momento, que aceleran la hidratación reversible del dióxido de carbono a bicarbonato en la fotosíntesis. Junto con el Cu, constituye algunos tipos de superóxido dismutasas (SOD), presentes en distintos orgánulos y en el citoplasma de la célula vegetal e implicadas en la defensa contra los radicales superóxidos. Por último, cabe destacar la participación del Zn en la estabilidad del ribosoma y su presencia en la RNA polimerasa, lo que le convierte en un regulador de la expresión génica (Azcón-Bieto and Talón, 2003).

4.23 Cobre (Cu).

El cobre se encuentra en fracciones de sedimentos en arcillas del suelo y generalmente en fracciones de carbonato en suelos alcalinos y en fracciones de óxido de Fe en los suelos ácidos, las concentraciones de cobre en los suelos varían de aproximadamente 2 a 100 mg kg⁻¹ (media de 30 mg kg⁻¹). Los cultivos que crecen en suelos arenosos, areniscas, rocas ígneas ácidas y materiales calcáreos a menudo presentan una deficiencia de Cu, esto no sucede en plantas cultivadas en arcillas y en suelos formados a partir de rocas básicas. Los suelos que tienen cantidades de materia orgánica, turba y estiércol generalmente tienen bajas cantidades de Cu lábil (Fageria, Baligar y Clark, 2004). El cobre en los suelos existe de las siguientes formas: soluble en agua, intercambiable, unido orgánicamente,

asociado con carbonatos y óxidos hidratados de Fe, Mn y Al, y residual (Alva, Huang y Paramasivam, 2010). Los estudios de fraccionamiento de cobre han demostrado que el Cu existe en suelos predominantemente como formas unidas y residuales orgánicamente, como formas unidas y precipitadas orgánicamente, o como formas solubles en ácido.

Los niveles bajos de Cu en el suelo y la complejación de Cu en formas insolubles cuando los suelos tienen un alto materia orgánica conducen a una deficiencia de Cu en algunas plantas. En los suelos deficientes en Cu, los ácidos húmicos y fúlvicos probablemente forman complejos altamente estables con Cu para reducir su disponibilidad (Fageria, Baligar y Clark, 2004).

La deficiencia de cobre se observa a menudo en plantas cultivadas en suelos textura gruesa y calcáreo, suelos con alto contenido de materia orgánica (Fageria, Baligar y Clark, 2004).

V Materiales y métodos.

5.1 Localización del experimento.

La comarca lagunera, se encuentra comprendida entre los parámetros $24^{\circ} 10'$ y $26^{\circ} 45'$ de latitud norte y los meridianos $101^{\circ} 40'$ y $104^{\circ} 45'$ de longitud oeste de Greenwich, con una altura sobre el nivel del mar de 1150m. la región cuenta con una extensión montañosa y una superficie plana donde se localizan las áreas agrícolas. (Santibáñez, 192).

El experimento fue realizado en las instalaciones de la UAAAN U-L, la cual se encuentra ubicado en., Raúl López Sánchez, Valle Verde, 27054 Torreón, Coahuila. Localizada entre los paralelos $24^{\circ} 30'$ y $27'$ LN y los meridianos 102° y $104^{\circ} 40'$ LO y una altitud de 1150 msnm. Donde fue llevado a cabo en el laboratorio del departamento de horticultura.

5.2 Características climatológicas de la comarca lagunera.

El clima de la comarca lagunera, según la clasificación de kopen, es árido o muy seco, es cálido tanto en primavera como en verano, con invierno fresco. De tal forma que la temperatura media anual observada a través de 41 años (1991- 1982), varía entre 19.4°C y 20.6°C (Domínguez, 1988).

5.3 Materiales utilizados.

Los materiales utilizados en este experimento son de la línea ASGROW. Los cuales fueron adquiridos en la sociedad cooperativa agropecuaria de la comarca lagunera. El maíz (ANTILOPE y ANTILOPE Y). Que son de un ciclo intermedio, el cual tiene buena estabilidad y adaptación bajo condiciones de frío, rendimiento en verde y MS sobresaliente, buena producción de litros de leche por hectárea. Son maíces que tiene

buena genética y de buena expresión fenotípica, tiene una altura de 2,75 a 2,10 cm. dependiendo del manejo y la nutrición, con una altura de mazorca de 1,45 a 1,60 cm.

5.4 Establecimiento del experimento

Se utilizó 60 semillas de maíz (*Zea mays*) Variedad Antílope blanco y amarillo por cajas Petri para la germinación, las cuales se limpiarán, eliminando semillas con daños, posteriormente se desinfectarán utilizando hipoclorito de sodio al 1% (10 ml/L), dejándolo reposar por 15 minutos, lavándolas con agua potable (Reyes 2013). Se colocarán 60 semillas por caja Petri aplicándoles a los tratamientos para acelerar la germinación, ácido salicílico ($C_7H_6O_3$), en concentraciones de 1000 ppm y como testigo agua corriente, aplicándolo por 3 días consecutivos hasta observar el porcentaje de germinación.

En un litro con agua se prepararán una concentración de 1000 ppm para llevar a cabo el proceso de aplicación de los minerales: Sulfato de magnesio ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$), Cloruro de níquel ($NiCl_2$), Sulfato ferroso heptahidratado ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$), Sulfato de zinc heptahidratado ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) y Sulfato cúprico pentahidratado ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$), se agregará 0.5 l/m durante el desarrollo del cultivo hasta la cosecha (día 14).

Se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Cada caja petri represento una unidad experimental.

5.5 Variables evaluadas

A la germinación se realizó una observación morfológica y midieron las siguientes variables: porcentaje de germinación (PG), diámetro de raíz (DR), largo de raíz (LR), área foliar (AF), diámetro de tallo (DT), raíces secundarias (RS), peso verde total (PVT), peso verde hoja-tallo (PVHT), peso verde raíz (PVR), peso seco hoja-tallo (PSHT) y peso seco raíz (PSR). Porcentaje de germinación (PG). Se consideró como semilla germinada aquella con una radícula de longitud mayor o igual a 2 mm. El porcentaje de germinación (PG) se calculó con la siguiente fórmula. $PG = [(N^{\circ} \text{ semillas germinadas}) / (N^{\circ} \text{ semillas sembradas})] \times 100$ fórmula citada por Caroca, Zapata y Vargas, (2016). Para diámetro de raíz (DR), largo de raíz (LR), diámetro de tallo (DT), se utilizó un vernier Truper CALDI-6MP. Las variables de peso verde total (PVT), peso verde hoja-tallo (PVHT), peso verde raíz (PVR), se utilizó una con una balanza analítica (Sartorius, BP221S). A si mismo se realizó para peso seco hoja-tallo (PSHT) y peso seco raíz (PSR) pasándola primero por una estufa de aire caliente forzado a 60° por 72 hrs y posteriormente se pesó. Las mediciones de AF se realizaron en función de lo señalado Tinoco Alfaro *et al.*, (2008).

5.6 Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones, fueron sometidos a un análisis de varianza y se realizaron separación de medias mediante el test de Tukey y DMS ($\alpha \leq 0.05$). Todos los análisis se realizaron en el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System, 2004).

VI Resultados y discusión

6.1 Germinación aceleración

Cuadro 1. Significancia de los cuadrados medios para los factores de variación del diseño experimental y media, rangos máximo y mínimo, y coeficiente de variación, para acelerar la germinación en el grano de maíz, en un experimento en condiciones de invernadero en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón; Coahuila 2019.

FV	GL	G1	G2	G3	NRS	DRP	LRP
Tratamiento	3	124.81	27.80	102.5	2.51	0.008	98.06
Error	8	0.86	10.08	14.39	0.052	0.003	1.16
F-Valor		144.80	2.76	7.12	47.52	2.19	84.52
Pr > F		<.0001	0.1117	0.012	<.0001	0.1670	<.0001
Máxima		12.3	46.1	92.2	2.4	1.5	27.1
Mínima		0.5	39.5	79.0	0.4	1.3	14.6
Media		5.05	41.63	85.33	1.60	1.44	23.1
Coeficiente de variación		18.36	7.62	4.44	14.33	4.20	4.65

G1= Porcentaje de germinación 24 h; G2= Porcentaje de germinación 42 h; G3= Porcentaje de germinación 72 h; NRS=Número de raíces secundaria; DRP= Diámetro de raíz principal; LRP= longitud de raíz principal.

El análisis de varianza (ANDEVA) individual para la condición de germinación detectó diferencias estadísticas significativas entre la variable G1 (Porcentaje de germinación 24 h) $F=144.80$, $p<0.0001$, G3 (G3= Porcentaje de germinación 56 h) $F=7.12$, $p=0.012$, NSR(Número de raíces secundaria) $F=47.52$, $p<0.0001$ y LPR (longitud de raíz principal mm) $F=84.52$, $p<0.0001$, variaron de 0.5 a 12.3 %, 79 a 92.2, 0.4 a 2.4, 14.6 a 27.1; para la variable de G2(Porcentaje de germinación 42 h) $F=2.76$, 0.1117y DPR (Diámetro de raíz principal mm) $F=2.19$, $p=0.1670$ no se encontró diferencia significativa entre los

tratamiento y variedades. El coeficiente de variación más alto corresponde a G1 que corresponde 18.36% y el menor es de 4.44% que corresponde a G3.

Cuadro 2. Comparación de medias de los tratamientos del híbrido de maíz Antílope (grano blanco) con ácido salicílico(V1+AC), Antílope (grano blanco) con agua corriente(V1+A), antílope (grano amarillo) con ácido salicílico(V2+AC), Antílope (grano amarillo) con agua corriente(V2+A) en la aceleración de la germinación en el grano de maíz, en un experimento en condiciones de invernadero en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón; Coahuila 2019.

Tratamiento	G1	G2	G3	NRS	DRP	LRP
V1+AC	0.7 c	39.5 a	79.0 b	0.4 c	1.3 a	14.6 b
V1+A	0.5 c	39.8 a	82.3 ab	1.2 b	1.4 a	25.9 a
V2+AC	4.5 b	41.0 a	87.7 ab	2.2 a	1.4 a	24.8 a
V2+A	14.3 a	46.1 a	92.2 a	2.4 a	1.5 a	27.1 a

Medias con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con la Prueba de Diferencia honestamente significativa HSD(Tukey), a una $p \leq 0.05$

La comparación de medias de los tratamientos de acuerdo con la Prueba de Diferencia honestamente significativa HSD(Tukey) para la variable de G1, G3, NRS y LPR los tratamientos más sobresalientes fueron: V2+A con un incremento de 96% en el porcentaje de la germinación a las 24 horas para el G3 fue el mismo tratamiento con una diferencia de del 15%, para el NRS los mejores tratamiento fueron estadísticamente iguales V2+AC y V2+A con 2.4 y 2.2 de número de raíces secundarias y el tratamiento más bajo corresponde a V1+AC con 0.4 en promedio. En LRP en análisis de separación de media encontró a V1+A, V2+AC y V2+A que son estadísticamente iguales en el menor fue el tratamiento de la variedad 2 con el ácido salicílico. Para G2 y DRP son estadísticamente iguales.

6.2 Quelatos

Cuadro 3. Significancia de los cuadrados medios para los factores de variación del diseño experimental y media, rangos máximo y mínimo, y coeficiente de variación, para acelerar la germinación en el grano de maíz, en un experimento en condiciones de invernadero en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón; Coahuila 2019.

FV	GL	AF	DT	PVT	PVTH	PRV	PSTH	PSR
Tratamiento	9	7501.1	0.088	33.14	22.04	96.30	0.521	2.77
Error	20	3127.9	0.059	22.36	22.58	10.26	0.179	1.22
F-Valor		2.40	0.68	1.48	0.98	9.38	2.90	2.26
Pr > F		0.049	0.71	0.22	0.487	<.0001	0.022	0.06
Máxima		159.00	2.96	37.83	12.33	31.567	2.0	11.56
Mínima		31.63	2.50	26.63	3.66	9.133	0.900	8.86
Media		87.66	2.62	34.05	8.96	22.92	1.520	10.12
Coeficiente de variación		63.79	11.29	13.88	53.01	13.98	27.88	10.95

AF=Área foliar; DT=Diámetro de tallo; PVT= Peso verde total; PVTH= Peso verde de hojas y tallo; PRV= Peso verde de raíz; PSTH=Peso Seco de hojas y tallo; PSR= Peso seco de raíz

Para el ensayo de aplicación de quelatos el análisis de varianza (ANDEVA) encontró significancia en AF (área foliar cm²) F=2.40, p=0.049, PRV (peso verde de raíz g) F=9.38, p=<0.0001, PSTH (peso Seco de hojas y tallo g) F=2.90, p=0.022, PSR (peso seco de raíz) F=2.26, p=0.06, con una variación 159.0 a 31.63 cm², 31.56 a 9.133, 2.0 a 0.900 g, 11.56 a 8.86 g. para DT(Diámetro de tallo) F=0.68, p=0.71, PVT(Peso verde total) F=1.48, p=0.22, PVTH (Peso verde de hojas y tallo) F=0.98, p=0.487; el análisis de varianza no encontró significancia. Los coeficientes de variación más alto fueron de AF y PVTH

Cuadro 4. Comparación de medias de los tratamientos del híbrido de maíz Antílope (grano blanco) Sulfato de Magnesio Heptahidratado (V1+SM), Antílope (grano blanco) Cloruro de Níquel (V1+CN), Antílope (grano blanco) Sulfato Ferroso heptahidratado (V1+SF), Antílope (grano blanco) Sulfato de Zinc heptahidratado (V1+SZ), Antílope (grano blanco) Sulfato Cúprico pentahidratado(V1+SC), Antílope Y (grano amarillo) Sulfato de Magnesio Heptahidratado (V2+SM), Antílope (grano amarillo) Cloruro de Níquel (V2+CN), Antílope (grano amarillo) Sulfato Ferroso heptahidratado (V2+SF), Antílope (grano amarillo) Sulfato de Zinc heptahidratado (V2+SZ), Antílope (grano amarillo) Sulfato Cúprico pentahidratado (V2+ SC) en la Quelatación de plántula de maíz, en un experimento en condiciones de invernadero en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón; Coahuila 2019.

Tratamientos	AF	DT	PSV	PVTH	PRV	PSTH	PSR
V1+SM	108.8 abc	2.7 a	34.9 a	7.8 a	25.2 b	1.10 bcd	11.5 a
V1+CN	31.6 c	2.6 a	33.3 a	5.8 a	25.8 b	1.0 cd	10.4 abc
V1+SF	31.6 c	2.6 a	36.1 a	10.0 a	24.6 b	1.50 abcd	10.7 ab
V1+SZ	70.2 abc	2.5 a	34.5 a	9.5 a	21.7 b	1.80 ab	8.9 bc
V1+SC	49.0 bc	2.6 a	35.7 a	12.1 a	31.5 a	1.10 bcd	11.5 a
V2+SM	159.0 a	2.5 a	37.6 a	10.9 a	21.8 b	2.0 a	10.2 abc
V2+CN	32.8 c	2.5 a	26.6 a	3.60 a	22.7 b	0.90 d	8.8 c
V2+SF	126.0 abc	2.6 a	31.9 a	8.3 a	24.8 b	1.70 abc	9.7 abc
V2+SZ	142.7 ab	2.9 a	37.8 a	12.3 a	21.7 b	1.90 a	9.7 abc
V2+SC	124.7 abc	2.5 a	31.9 a	9.1 a	9.1 c	1.80 ab	9.4 bc

Medias con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con la Prueba de DMS=diferencia mínima significativa, a una $p \leq 0.05$

Las variables que más se manifestaron con los tratamientos aplicados; en el AF corresponde a V2+SM 159.0 cm² fue el más sobresaliente que los otros para el mismo efecto demás variables fueron; PRV con el tratamiento V1+SC 31.5 g, PSTH V2+SM 2.0 g y V2+SZ 1.90 g y para PSR los más altos tratamiento V1+SM 11.5 g y V1+SC 11.5 g. para la variable de DT, PSV, PVTH son estadísticamente iguales, por lo tanto, no hubo efecto en dos diferente híbrido de maíz juntos con los quelatos aplicados.

VII Discusión

Para Torres, Cova y Valera, 2018 La germinación podría mejorar la disponibilidad de nutriente y minerales. Según (Tucuch-haas *et al.*, 2016) el uso de ácido salicílico en concentraciones bajas en etapa de plántula, incrementa el desarrollo de la plántula y aumenta el tamaño de las raíces estos resultado concuerdan con la variables de número de raíces secundaria, longitud de raíz principal(Martín-Mex *et al.*, 2015, Echevarría-Machado, Rosa y Larqué-Saavedra, 2007).

Las variables que más se manifestaron con los tratamientos aplicados; en el AF corresponde a V2+SM fue el más sobresaliente que los otros para el mismo efecto las demás variables fueron; PRV con el tratamiento V1+SC, PSTH V2+SM g y V2+SZ y para PSR los más altos tratamiento V1+SM y V1+SC, con referencia al anterior concuerda con datos publicados por Chen and Barak, 1982 en donde menciona que los quelatos son productos de alta estabilidad capaces de mantener los iones metálicos rodeados de una molécula orgánica, cabe agregar y es evidente que las aplicaciones foliares de quelatos son en general poco efectiva. (Lucena, 2009).

VIII Conclusión

Si se encontró efecto en la aplicación de ácido salicílico en las 24 y 72 horas al efecto de este también se presentó en V2+CA y V2+A para la variable de NRS V2+AC y V2+A, para DRP no hubo efecto entre ácido salicílico y variedad.

Para los efectos de Quelatación se recomienda los siguientes tratamientos. Para AF; V2+SM, PRV; V1+SC, PSTH, V2+SM y V2+SZ, PSR; V1+SM y V2+SM. También se recomienda seguir estudiando más sobre el tema, pero a nivel mineral y bromatológico.

IX Literatura citada

Alva, A. K., Huang, B. and Paramasivam, S. (2010) 'Soil pH Affects Copper Fractionation and Phytotoxicity', *Soil Science Society of America Journal*, 64(3), p. 955. doi: 10.2136/sssaj2000.643955x.

Azcón-Bieto, J. and Talón, M. (2003) *Fundamentos de fisiología vegetal*, McGrawHill. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

Benavides-Mendoza, A. (2000) 'Absorción y asimilación de hierro en las plantas', *Ciencia UANL*, (54), pp. 1–13. Available at: http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/hierro_en_plantas.pdf.

Bitlwell, R. G. S. (1979) 'Fisiología vegetal'. doi: 10.4995/WRS.2010.7744.

Caroca, R., Zapata, N. and Vargas, M. (2016) 'Investigación: efecto de la temperatura sobre la germinación de cuatro genotipos de maní (*arachis hypogaea* L.)', *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences*, 32(2), pp. 94–101. doi: 10.4067/s0719-38902016000200002.

Chapin, F. S. (1980) 'The Mineral Nutrition of Wild Plants', *Annual Review of Ecology and Systematics*, 11(1), pp. 233–260. doi: 10.1146/annurev.es.11.110180.001313.

Chen, Y. and Barak, P. (1982) 'Iron nutrition of plants in calcareous soils', *Advances in Agronomy*, 35(C), pp. 217–240. doi: 10.1016/S0065-2113(08)60326-0.

Collinson, A. S. (1988) *World Vegetation.*, *The Journal of Ecology*. doi: 10.2307/2258086.

Contreras Liza, S., Huamán Tasa, D. and Noriega Cordova, H. (2017) 'Efecto del ácido acético salicílico sobre el comportamiento agronómico de la papa (*Solanum tuberosum* L.)', *Revista Latinoamericana de la Papa*, 21(2), p. 2.

Cuellar, L. et al. (2008) 'Acido salicílico', *Act Terap Dermatol*, pp. 108–112. Available at: http://www.atdermae.com/pdfs/atd_31_02_06.pdf.

Distel, R. A., Moretto, A. S. and Didoné, N. G. (2003) 'Nutrient resorption from senescing leaves in two *Stipa* species native to central Argentina', *Austral Ecology*, 28(2), pp. 210–215. doi: 10.1046/j.1442-9993.2003.01269.x.

Echevarría-Machado, I., Rosa, R. M. and Larqué-Saavedra, A. (2007) 'Responses of transformed *Catharanthus roseus* roots to femtomolar concentrations of salicylic acid', *Plant Physiology and Biochemistry*, 45(6–7), pp. 501–507. doi: 10.1016/j.plaphy.2007.04.003.

Escaso-Santos Fernando, et al (2010) *Fundamentos básicos de fisiología vegetal y animal*. Available at: <https://www.biblionline.pearson.com/Pages/BookDetail.aspx?b=661>.

Fageria, N. K., Baligar, V. C. and Clark, R. B. (2004) *Micronutrients in Crop Production*, *Advances in Agronomy*. Elsevier Inc. doi: 10.1016/s0065-2113(02)77015-6.

Fahad, S. and Bano, A. (2012) 'Effect of salicylic acid on physiological and biochemical characterization of maize grown in saline area', *Pakistan Journal of Botany*, 44(4), pp. 1433–1438.

Finch-Savage, W. E. and Leubner-Metzger, G. (2006) 'Seed dormancy and the control of

- germination', *Journal of Applied Physics*, 44(10), pp. 4478–4481. doi: 10.1063/1.1661985.
- Gallego-Giraldo, L. *et al.* (2011) 'Salicylic acid mediates the reduced growth of lignin down-regulated plants', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(51), pp. 20814–20819. doi: 10.1073/pnas.1117873108.
- Grimes, P. E. (2006) *Salicylic acid, Color Atlas of Chemical Peels*. doi: 10.1007/3-540-30223-9_6.
- Guan, L. and Scandalios, J. G. (1995) 'Developmentally related responses of maize catalase genes to salicylic acid', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 92(13), pp. 5930–5934. doi: 10.1073/pnas.92.13.5930.
- Gutiérrez, F. *et al.* (2017) 'Omisión de nutrientes y dosis de nitrógeno en la acumulación de biomasa, composición bromatológica y eficiencia de uso de nitrógeno de raigrás diploide perenne (*Lolium perenne*)', *Siembra*, 4(1), pp. 81–92. doi: 10.29166/siembra.v4i1.503.
- Guzmán-Antonio *et al.* (2012) 'Efecto Del Ácido Salicílico Y La Nutrición Mineral', 23(2), pp. 247–257.
- Hayat, Q. *et al.* (2010) 'Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review', *Environmental and Experimental Botany*, 68(1), pp. 14–25. doi: 10.1016/j.envexpbot.2009.08.005.
- Hennig, J. M. (1993) 'j.1365-313X.1993.04040593.x.pdf', *Plant Journal*, pp. 593–600. Available at: <http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/%28ISSN%291365-313X>.
- Khan, M. I. R. *et al.* (2015) 'Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants', *Frontiers in Plant Science*, 6(JUNE), pp. 1–17. doi: 10.3389/fpls.2015.00462.
- Killingbeck, K. T. (1996) 'NUTRIENTS IN SENESCED LEAVES: KEYS TO THE SEARCH FOR POTENTIAL RESORPTION AND RESORPTION PROFICIE', 77(6), pp. 1716–1727.
- Klessig, D. F., Choi, H. W. and Dempsey, D. A. (2018) 'Systemic acquired resistance and salicylic acid: Past, present, and future', *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 31(9), pp. 871–888. doi: 10.1094/MPMI-03-18-0067-CR.
- Lin, A. N. and Nakatsui, T. (1998) 'Salicylic acid revisited', *International Journal of Dermatology*, 37(5), pp. 335–342. doi: 10.1046/j.1365-4362.1998.00452.x.
- Lucena, J. J. (2009) 'El empleo de complejantes y quelatos en la fertilización de micronutrientes', *Revista Ceres*, 56(4), pp. 527–535.
- Maldonado, J. M., Agüera, E. and Pérez Vicente, R. (2008) 'Asimilación del nitrógeno y del azufre', *Fisiología y bioquímica vegetal*, pp. 215–236. Available at: <http://biblio3.url.edu.gt/Publi/Libros/2013/FisioVegetal/15.pdf>.
- Martín-Mex, R. *et al.* (2015) 'Salicylic acid stimulates flowering in micropopagated gloxinia plants', *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(2), pp. 115–118.
- Maruri-López, I. *et al.* (2019) 'Intra and extracellular journey of the phytohormone salicylic acid', *Frontiers in Plant Science*, 10(April), pp. 1–11. doi: 10.3389/fpls.2019.00423.

- Nowack, B. (2002) 'Environmental chemistry of aminopolycarboxylate chelating agents', *Environmental Science and Technology*, 36(19), pp. 4009–4016. doi: 10.1021/es025683s.
- Patrono, C. (2013) 'Aspirin continues to attract research and debate, 115 years after its synthesis', *Revista Espanola de Cardiologia*, 66(4), pp. 251–254. doi: 10.1016/j.recesp.2012.07.024.
- Pérez, F. (2003) 'Germinación y Dormición de Semillas', *Material Vegetal de Reproduccion; Manejo, Conservacion y Tratamiento*, pp. 177–200.
- Pita, J. and Perez, F. (1998) 'Germianción de semillas (hoja divulgadora)', p. 20.
- Rajjou, L. *et al.* (2006) 'Proteomic investigation of the effect of salicylic acid on arabidopsis seed germination and establishment of early defense mechanisms', *Plant Physiology*, 141(3), pp. 910–923. doi: 10.1104/pp.106.082057.
- Raskin, I. (1992) 'Role of salicylic acid in plants', *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 43(1), pp. 439–463. doi: 10.1146/annurev.pp.43.060192.002255.
- Reza, M. and Rigi, K. (2014) 'Review article Young Researchers and Elite Club , Zahedan Branch , Islamic Azad University , Zahedan , Iran Young Researchers and Elite Club , Zahedan Branch , Islamic Azad University , Zahedan , Iran Corresponding author email: krigi66@yahoo.com Chlorop', pp. 291–296.
- Rivas-San Vicente, M. and Plasencia, J. (2011) 'Salicylic acid beyond defence: Its role in plant growth and development', *Journal of Experimental Botany*, 62(10), pp. 3321–3338. doi: 10.1093/jxb/err031.
- Shilpa, K., Varun, K. and Lakshmi, B. S. (2010) 'An alternate method of natural drug production: Elciting secondary metabolite production using plant cell culture', *Journal of Plant Sciences*, pp. 222–247. doi: 10.3923/jps.2010.222.247.
- Singh, H. P., Batish, D. R. and Kohli, R. K. (2003) 'Allelopathic interactions and allelochemicals: New possibilities for sustainable weed management', *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22(3–4), pp. 239–311. doi: 10.1080/713610858.
- Sprays, S. A. *et al.* (1998) 'Ácido Salicílico Aplicación 1998.Pdf'.
- Tada, Y. *et al.* (2008) 'Plant immunity requires conformational charges of NPR1 via S-nitrosylation and thioredoxins', *Science*, 321(5891), pp. 952–956. doi: 10.1126/science.1156970.
- Tayeb, M. a El and Ahmed, N. L. (2010) 'Response of Wheat Cultivars to Drought and Salicylic Acid', *Am. Eurasian J. Agron.*, 3(1), pp. 1–7.
- Tinoco Alfaro, C. A. *et al.* (2008) 'Arreglo Espacial De Hibridos De Maiz, Indice De Area Foliar Y Rendimiento', *Agricultura técnica en México*, 34, pp. 271–278. Available at: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0568-25172008000300001&script=sci_arttext.
- Torres, A., Cova, A. and Valera, D. (2018) 'Efecto del proceso de germinación de granos de Cajanuscajan en la composición nutricional, ácidos grasos, antioxidantes y bioaccesibilidad mineral', *Revista chilena de nutrición*, 45(4), pp. 323–330. doi: 10.4067/s0717-75182018000500323.
- Tucuch-haas, C. J. *et al.* (2016) 'Efecto del ácido salicílico sobre el crecimiento de raíz de plántulas de maíz * Effect of salicylic acid on growth root maize seedlings Resumen', 7, pp. 709–

716.

Tucuch Haas, C., Alcántar González, G. and Larqué Saavedra, A. (2015) 'Effect of salicylic acid on root growth and total biomass of wheat seedlings', *Terra Latinoamericana*, 33(1), pp. 63–68.

Uriarte Bautista, A. and Uriarte Bautista, M. (2003) 'Dinámica interna de los nutrientes', *Ecosistemas: Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 12(1), p. 4. doi: 10.7818/re.2014.12-1.00.

Vázquez Cruz, M. A., Jiménez, S. N. and González, G. (2012) 'COMPORTAMIENTO DE PLANTAS DE TOMATE (*Solanum lycopersicum*) ASPERJADAS CON ÁCIDO SALICÍLICO CULTIVADAS BAJO DIFERENTES CONDICIONES CLIMÁTICAS EN INVERNADERO', *Universidad Autónoma de Querétaro*, p. 9. Available at: https://www.uaq.mx/investigacion/revista_ciencia@uaq/ArchivosPDF/v5-n1/articulo6.pdf.

Vélez-Terranova, M., Gaona, R. C. and Sánchez-Guerrero, H. (2014) 'Use of plant secondary metabolites to reduce ruminal methanogenesis', *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(3), pp. 489–499.

Villanueva-Couoh, E. *et al.* (2009) 'Efecto del ácido salicílico y dimetilsulfóxido en la floración de [*Chrysanthemum morifolium*(Ramat) Kitamura] en yucatán', *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 15(2 SPL), pp. 25–31.

Vlot, A. C., Dempsey, D. A. and Klessig, D. F. (2009) 'Salicylic Acid, a Multifaceted Hormone to Combat Disease', *Annual Review of Phytopathology*, 47(1), pp. 177–206. doi: 10.1146/annurev.phyto.050908.135202.

Waizel-Bucay, J. (2011) 'plantas y compuestos importantes para la medicina: Los sauces, los salicilatos y la aspirina', *Revista de Fitoterapia*, 11(1), pp. 61–75.

Weyrich, L. S. *et al.* (2017) 'Neanderthal behaviour, diet, and disease inferred from ancient DNA in dental calculus', *Nature*. Nature Publishing Group, 544(7650), pp. 357–361. doi: 10.1038/nature21674.

Xie, Z. *et al.* (2007) 'Salicylic acid inhibits gibberellin-induced alpha-amylase expression and seed germination via a pathway involving an abscisic-acid-inducible WRKY gene', *Plant Molecular Biology*, 64(3), pp. 293–303. doi: 10.1007/s11103-007-9152-0.