

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA



Estudio Histológico Radicular en Plántulas de Maíz en Etapa de Desarrollo

Por:

ZULEYMA MARISOL SÁNCHEZ VÁZQUEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

Saltillo, Coahuila, México

Octubre de 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA

Estudio Histológico Radicular en Plántulas de Maíz en Etapa de Desarrollo

Por:

ZULEYMA MARISOL SÁNCHEZ VÁZQUEZ


TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

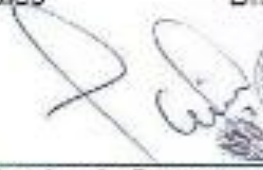
INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

Aprobada

Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Asesor Principal


Dra. Susana González Morales
Coasesor


Dra. Susana Solís Gaona
Coasesor


Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía


División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Octubre de 2014

DEDICATORIAS

A MIS PADRES:

El **Sr. Benjamín Sánchez Pérez**, por ser un padre maravilloso y bueno que me dio la oportunidad de estudiar mi carrera en la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por su esfuerzo, y darme la confianza de venir tan lejos, me siento feliz por tu amor que me das.

La **Sra. Elustina Vásquez Díaz**, eres la mejor madre del mundo, que me ilumino el camino durante todos estos años y a luchar por terminar mi carrera, gracias por tu paciencia de atender mis caprichos, enojos, tristezas y momentos felices. Agradezco tus consejos tan sabios, y por confiar en mí. **“TE AMO MAMITA”**.

A MIS HERMANOS:

Flor, Jorge, José Luis, Mirma, Lucy, Vela, Wilfrido, y mis Hermosos Gemelos caprichosos, le doy gracias adiós, por estar siempre juntos y compartir toda esta vida, sus alegrías, tristezas, gracias por la inmensa felicidad de estar todos juntos, los quiero mucho. En especial a ti hermano José, gracias por brindarme tú apoyo y tu ejemplo de salir adelante, todo esto lo debo a ti. **“LOS AMO”**.

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS:

Gore, Lulú, Mirza, Melqui, Glendy, Leo, Claudia, Quetzally, Alicia, Alejandra, Liz, Ana, Claudia, por los momentos tan agradables que compartimos durante nuestra estancia en la Universidad y por darme la oportunidad de conocerlos y brindarme sus amistad. De manera especial a Gonzalito por ser más que un amigo que me ayudo a salir adelante con sus consejos.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente le doy gracias a **DIOS** por regalarme la vida, salud, inteligencia y la capacidad por haber logrado mi formación como profesionista.

Arysta

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a la empresa de Arysta por la oportunidad de participar en unos de sus proyectos y poner su confianza en mí, y por el apoyo durante esta investigación.

Mi agradecimiento a la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por haberme dado cobijo durante estos años y concluir mis estudios que me hicieron formarme tanto como persona y profesionista que estaré agradecida toda la vida.

Agradezco de manera especial a la Dra. Susana Gonzales Morales por haberme dado la oportunidad de trabajar en esta investigación, por su asesoría en esta tesis, su amabilidad y por su disposición en todo momento.

Dra. Susana Solís Gaona por haberme dado la seguridad de concluir una de sus investigaciones y estar al pendiente de mi tesis durante todo este tiempo.

Dr. Adalberto Benavides Mendoza por haberme dado la oportunidad de colaborar en la realización de esta investigación y por su apoyo en la revisión de este trabajo.

A la M.C. Panchita por brindarme todo su apoyo durante todo el desarrollo de esta investigación, le agradezco de manera especial por haberme tenido paciencia y resolver mis dudas.

A la Dra. Francisca le agradezco por haberme ayudado a resolver mis dudas durante esta investigación y sus sugerencias para la culminación del mismo.

Lic. Fabiola Berlanga Guevara y Lic. Yosareth duque, por brindarme sus amistad y que me impulsaron siempre a seguir adelante.

Al M.C. Marcos Gutiérrez le doy gracias por haberme dado su confianza y haber compartido sus conocimientos en mí, pero sobre todo por su amistad.

A la Dra. Emma P. Gómez Ruiz y al proyecto de la Texas A & M University, College Station, TX, por colaborar en su proyecto de investigación durante mi estancia de servicio social.

A la empresa de **COMESA** por abrir sus puertas y la oportunidad de participar en las Prácticas Profesionales y haber cumplido una más de mis experiencias laborales.

***"No se trata de un triunfo definitivo,
Sino de una lucha sin fin".***

ÍNDICE DE CONTENIDO

PÁGINA

DEDICATORIAS.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
INDICE DE CONTENIDO.....	iv
INDICE DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN.....	viii
1. INTRODUCCION.....	1
1.1.- OBJETIVO GENERAL.....	3
1.2.- OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	3
1.3.- JUSTIFICACION.....	3
1.4.- HIPOTESIS.....	4
1. REVISION DE LITERATURA.....	5
2.1.-Generalidades del maíz (<i>Zea mays</i> L.).....	5
2.1.1.- Origen del maíz	5
2.2.- Importancia económica y distribución geográfica	6
2.3.- Clasificación taxonómica del maíz.....	7
2.4.- Características morfológicas	7
2.5.- Sistema radical	8
2.6.- Tallo.....	9
2.7.- Hoja	10
2.8.- Inflorescencia.....	10
2.9.- Flor	11
2.10.- Grano	11
2.11.- Etapas fenológicas del cultivo de maíz.....	12
2.12.- Genética del maíz.....	13
2.13.- Exigencias edafoclimaticas	14
2.14.- Suelos	14
2.15.- Labores del cultivo.....	15

2.15.1.- Fertilización	15
2.15.2.- Control de malas hiervas	15
2.15.3.- Tipos de malezas	15
2.15.5.- Control de malezas.....	16
2.15.6.- Principales plagas del maíz.....	16
2.16.- Hormonas y reguladores de crecimiento	17
2.17.- Clasificación de las fitohormonas u hormonas vegetales	18
2.17.1.- Giberelinas	18
2.17.2.- Citocininas.....	19
2.17.3.- Etileno	20
2.17.4.- Ácido abscísico.....	21
2.17.5.- Auxinas.....	21
2.17.12.- Ácido indolacético (AIA)	25
2.17.13.- Ácido indolbutírico (ácido 1h-indol-3butírico).....	25
2.17.14.- Ácido diclorofenoxiacético	26
2.18.-Formación de raíces adventicias	26
2.19.-Efectos fisiológicos de las auxinas en las raíces adventicias	27
2.20.- Cambios anatómicos durante la formación de raíces adventicias	28
2.21.- Importancia de los pelos radiculares	29
2.22.-Antecedentes generales de las auxinas en cultivos	29
2.23.- Aplicación de auxinas en cultivos agrícolas	31
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
3.1.- Ubicación del sitio del experimento	32
3.2.- Tratamientos.....	32
3.3.- Análisis histológico	32
4. RESULTADOS.....	38
5.- CONCLUSIÓN.....	45
6.- LITERATURA CITADA.....	47
7.-ANEXOS.....	53

INDICE DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 1 Sistema radical del maíz.....	9
Figura 2 Estructura del grano del maíz (<i>Zea mays</i> L.).....	12
Figura 3 Estructura química de las Giberelinas (GA_3).....	19
Figura 4 Estructura química de Citocininas (C).....	20
Figura 5 Estructura química del Etileno.	21
Figura 6 Estructura química del Ácido abscísico.....	22
Figura 7 Estructura química de las Auxinas (A).....	22
Figura 8 Estructura química del ácido Indol-3-acético.....	26
Figura 9 Estructura química del ácido indolbutírico (ácido 1h-indol-3butanoico).....	26
Figura 10 Estructura química del ácido naftalenacético (ANA).....	27
Figura 11 Sección de raíces principales de plántulas de maíz (15 mm).....	33
Figura 12 Cortes de raíz principal de maíz sumergidas en fijador AFA.....	34
Figura 13 Inclusión en parafina cortes longitudinales obtenidos de tejidos de raíz de maíz.....	35
Figura 15 Tinción en safranina-fast Green a tejidos obtenidos de cortes longitudinales de raíz de maíz.....	36
Figura 16 Análisis histológico en raíces principales de maíz (<i>Zea mays</i> L.) para observar el efecto de diferentes dosis de un enraizador de origen natural a los cortes longitudinales de raíces por medio de microscopia óptica (con objetivos de 10x). Tratamiento: Testigo. Plantas tratadas con un enraizador natural a una dosis de 0 L/ha.....	38
Figura 17 Análisis histológico en raíces principales de maíz (<i>Zea mays</i> L.) para observar el efecto de diferentes dosis de un enraizador de origen natural a los cortes longitudinales de raíces por medio de microscopia óptica (con objetivos de 10x). Tratamiento 1: Plantas tratadas con un enraizador natural a una dosis de 1 L/ha.....	40
Figura 18 Análisis histológico en raíces principales de maíz (<i>Zea mays</i> L.) para observar el efecto de diferentes dosis de un enraizador de origen natural a los cortes	

longitudinales de raíces por medio de microscopia óptica (con objetivos de 10x).	
Tratamiento 2: Plantas tratadas con un enraizador natural a una dosis de 2 L/ha.....	42
Figura 19 Análisis histológico en raíces principales de maíz (<i>Zea mays</i> L.) para observar el efecto de diferentes dosis de un enraizador de origen natural a los cortes longitudinales de raíces por medio de microscopia óptica (con objetivos de 10x).	
Tratamiento 3: Plantas tratadas con un enraizador natural a una dosis de 3 L/ha.....	45
Figura 20 Efecto en el número de brotes de pelos radicales en plántulas de maíz sometidas a diferentes dosis de un enraizador de origen natural. En la figura, medias con letras iguales no difieren estadísticamente (ANOVA, Tuckey, $p>0.05$, MINITAB 16.....	49
Figura 21 Efecto de la aplicación a diferentes dosis de un enraizador de origen natural en el área de córtex y de medula de los diferentes brotes de raíces laterales en plántulas de maíz. En la figura, medias con letras iguales no difieren estadísticamente (ANOVA, Tuckey, $p>0.05$, MINITAB 16.....	51

RESUMEN

El cultivo del maíz (*Zea mays* L.) es considerado uno de los principales rubros en el ámbito nacional y mundial, por la importancia que representa este cereal en la dieta alimenticia de la mayoría de las personas en México. La demanda del consumo del maíz en el mundo es creciente y la producción enfrenta varias limitaciones por diversos factores, tales como enfermedades por hongos, bacterias, virus, ataques de insectos y por condiciones climáticas adversas como heladas, granizadas y déficit hídrico en los periodos críticos del cultivo, además de deficiencias nutricionales. Para tratar de solucionar estos problemas, es indispensable buscar alternativas que permitan mejorar el crecimiento, el desarrollo del cultivo y las variedades existentes por medio de técnicas sustentables. En este estudio se aplicó un enraizador de origen natural a plántulas de maíz de 8 días de edad, se emplearon tres dosis diferentes del enraizador (T1= 1 L/ha, T2= 2 L/ha y T3= 3 L/ha) contra un testigo absoluto. A los 12 días después de la siembra, se tomaron muestras de raíz para realizar análisis morfológicos e histológicos del desarrollo radicular. Además se evaluaron los cambios anatómicos en córtex y médula de los brotes de la raíz principal de las plántulas de maíz tratadas con el enraizador. Por otra parte, se observaron las diferencias entre los cortes longitudinales radiculares revisando la presencia de brotes de raíces laterales y el área total de córtex y medula. En cuanto al número de brotes se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, siendo el tratamiento de 2 L/ha el que mostró mayor número de brotes. En cuanto al aumento del córtex, el tratamiento de 1 L/ha obtuvo la mayor área con $1228.86 \mu\text{m}^2$ en comparación con el testigo que mostró $1042.98 \mu\text{m}^2$. Por otra parte no hubo diferencia significativa entre los tratamientos para esta variable del área de córtex. Asimismo se evaluó el área de la medula, siendo el tratamiento de 2 L/ha el que mayor área mostró $274.85 \mu\text{m}^2$ en comparación al testigo con una área de $252.94 \mu\text{m}^2$ mientras el tratamiento de 1 L/ha disminuyó su área de medula, sin embargo no hubo diferencias ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos para esta variable del área de la medula. Se determinó que la concentración óptima para formar brotes corresponde a la de 2 L/ha.

Palabras clave: hormonas vegetales, auxinas, raíz lateral, pelos radiculares.

1. INTRODUCCION

El cultivo del maíz (*Zea mays* L.) es considerado uno de los principales rubros en el ámbito nacional y mundial, por la importancia que representa este cereal en la dieta alimenticia de la mayoría de las personas en México. Las grandes extensiones de tierras cultivadas, así como los empleos que se generan en toda su cadena de producción, el proceso industrial y su comercialización desde la siembra hasta que es consumido. Ocupando el primer lugar a nivel mundial en términos de producción y, el tercero, después del trigo, en relación a área cubierta. La producción mundial de maíz promedia 450 millones de toneladas (ton) métricas, una cuarta parte de la producción global de granos. Ciertamente, el maíz mexicano desempeña un importante papel en el desarrollo de las modernas variedades mejoradas de polinización abierta e híbridos de alto rendimiento que son muy útiles en la conservación de la oferta mundial de alimentos.

La demanda del consumo del maíz en el mundo es creciente y la producción enfrenta varias limitaciones por diversos factores, tales como enfermedades por hongos, bacterias, virus, ataques de insectos y por condiciones climáticas adversas como heladas y granizadas y déficit hídrico en los periodos críticos del cultivo, además de deficiencias nutricionales. Para tratar de solucionar estos problemas, es indispensable buscar alternativas que permitan mejorar el crecimiento, el desarrollo del cultivo y las variedades existentes por medio de técnicas sustentables.

El descubrimiento de los primeros reguladores de crecimiento y aplicación en la agricultura permitió conocer que las auxinas son hormonas que activan la formación de la división celular, proliferación de los tejidos del cambium, formación del tejido conductor y efecto sobre la dominancia apical, además promueven la formación de las raíces laterales y adventicias de la planta.

Asimismo, se ha venido investigando sobre la evidencia histológica para comprender los eventos morfológicos y los cambios anatómicos de las raíces de plantas tratadas con auxinas. Por lo tanto es de suma importancia realizar estudios

histológicos que permitan conocer las características de los tejidos de la raíz (xilemas y floemas), incluyendo los pelos radiculares, ya que éstos absorben nutrientes para que la planta mantenga su balance hormonal y su crecimiento durante la etapa desarrollo. Además, este estudio permitirá conocer el efecto histológico a nivel de raíz de un enraizador de origen natural.

1.1.- OBJETIVO GENERAL

Evaluar los cambios histológicos a nivel de raíz en plántulas del maíz tratadas con un enraizador de origen natural.

1.2.- OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1) Evaluar los cambios anatómicos en córtex y médula de brotes en la raíz principal de plántulas del maíz tratadas con un enraizador de origen natural.
- 2) Realizar un análisis cuantitativo de número de brotes de pelos radiculares en plántulas del maíz tratadas con un enraizador de origen natural.

1.3.- JUSTIFICACION

Informes mundiales en materia alimenticia, consideran que la producción de alimentos a escala mundial aumentó en los últimos años de manera exorbitante. La escasez de alimentos y la subnutrición han sido grandes problemas que condujeron al desarrollo de nuevas y apropiadas tecnologías para garantizar suministros estables de alimentos nutricionalmente adecuados, sin olvidar la conservación y rehabilitación permanente de los recursos naturales con el fin de mantener una relación sustentable.

Debido al aumento en el consumo de los cereales como fuente de alimentación es necesario que la producción sea eficiente para satisfacer las demandas alimenticias. La nutrición es una práctica agronómica importante en el cultivo de maíz, ya que los suelos donde se cultiva no tienen la capacidad de proporcionar los nutrientes necesarios, por lo cual se busca mejorar la capacidad de absorción de nutrientes, manteniendo el balance hormonal, el crecimiento de los

ápices radiculares, e incrementando la biomasa radicular, ya que las raíces se encargan de almacenar los alimentos producidos durante el periodo de crecimiento y absorben los nutrientes que le permiten desarrollarse. Estas también tienen pelos radiculares, que entre mayor sea el número, aumentan la superficie de absorción de la raíz.

1.4.- HIPOTESIS

La aplicación de un enraizador de origen natural sobre plántulas de maíz a diferentes dosis, provocará cambios histológicos en la raíz y en el número de brotes de pelos radiculares.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1.-Generalidades del maíz (*Zea mays* L.)

2.1.1.- Origen del maíz

El maíz (*Zea mays* L.) pertenece a la familia de las Poaceas (gramíneas), tribu Maydeas, y es la única especie cultivada de este género. Se cree que se originó en los Trópicos de América Latina (INIA, 2008). Los géneros de origen Americano son: *Zea*, comúnmente llamadas teosinte y *Tripsacum* conocidas como arrocillo o maicillo son formas salvajes parientes de *Zea mays*. El teosinte y el *Tripsacum* son ambos importantes como posibles fuentes de características deseables para el mejoramiento del maíz. El *Tripsacum* no tiene un valor económico directo mientras que el teosinte tiene algún valor como fuente de forraje (Paliwal, 2001).

El maíz (*Zea mays* L.) es el tercer cereal más cultivado en el mundo, seguido por trigo, y arroz. Se desarrolla en diferentes climas que van desde el trópico hasta los climas templados; desde el nivel del mar hasta altitudes de 3000 msnm, y en latitudes entre los 23°norte y 23°sur desde Ecuador (Herrera, 2006). El maíz surgió aproximadamente entre los años 8 000 y 600 AC en Mesoamérica (México y Guatemala). En la actualidad, aun el origen del maíz no se encuentra dilucidado y existen amplias investigaciones, de acuerdo a otros planteamientos, México es el centro primario de diversidad genética y la zona andina es el secundario, donde el cultivo de maíz atenido una rápida evolución (Acosta, 2009).

Actualmente se estiman que existen de 250 a 300 razas distintas de maíz (Pavón, 2007). Los indígenas mexicanos fueron los que evolucionaron al maíz, sembraron las variedades nativas, “variedades criollas”. Con la formación de las razas obtenidas y con los cruzamientos interraciales se dio origen a las razas modernas “los híbridos” (Márquez- Sánchez, 2008).

2.2.- Importancia económica y distribución geográfica

El maíz es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen y por su multitud de usos se ha convertido en el cultivo más importante entre los cereales a nivel mundial por su producción (765.935.000 de toneladas, en la temporada 2009-2010, superando al trigo y al arroz, de las cuales el 90% corresponde a maíz amarillo y el 10% restante a maíz blanco. Ocupa el segundo área de siembra, con alrededor de 140.000.000 has, se siembran en 35 países y se comercializan en el mercado internacional más de 90 millones de toneladas (FENALCE, 2010).

De acuerdo a Parsons, (1978), la producción del maíz a nivel mundial, se cultivaban un total de 106.000.000 de hectáreas. Con un rendimiento de 215.000.000 toneladas, lo que representa un promedio de 2 toneladas por ha.

Actualmente en el mundo se cultivan casi 51 millones de hectáreas, en 16 países en forma comercial (Guzmán, 2014). México produce el 2.7% del maíz mundial (23 millones de ton), siendo el 4° cuarto productor a nivel global, detrás de Estados Unidos, China y Brasil. El rendimiento promedio por hectárea es de 3.2 toneladas (78 de 164 países que producen este grano en el mundo): el promedio mundial es de 5.5 ton/ha. México es el mercado más grande de maíz en el mundo, representando el 11% del consumo mundial (Agroder, 2012). Los principales productores: Sinaloa ocupa el primer lugar, el segundo Jalisco, en la zona del bajío, al estado de México tercer lugar, Chiapas el cuarto, y en quinto lugar Michoacán (Aldapa, 2008).

De acuerdo con datos del Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON) la producción del maíz a nivel nacional, en 1998 fue de 18, 454,710 toneladas y para el 2008 fue 24,410, 279 toneladas, lo que significa una tasa TMAC de 2.6%. Sin embargo con a la superficie sembrada la tendencia fue baja ya que en 1998 se sembraban 8, 520,639 hectáreas y en el 2008 eran 7, 942,258 hectáreas (SAGARPA, 2014).

Fue el primer cereal a ser sometido a rápidas e importantes transformaciones tecnológicas en su forma de cultivo, tal como se pone en evidencia en la bien documentada historia del maíz híbrido en los Estados Unidos de América y posteriormente en Europa (COVECA, 2011). Y se caracteriza por su producción y amplia gama de variedades, por lo que se es posible generar una gran cantidad de productos finales (COVECA, 2011). Constituye la base de la alimentación y principal fuente de energía y proteínas (Álvarez-Roces, 2009); (Espinoza, 2012). En los países industrializados el maíz se utiliza principalmente como forraje, materia prima, para la producción de alimentos procesados y, recientemente, para la producción de etanol (Hernández, 2012).

2.3.- Clasificación taxonómica del maíz

De acuerdo a (IICA, 1989)

Clase: *Liliopsida*

Orden: *Ciperales*

Familia: *Poaceae*

Tribu: *Maydae*

Género: *Zea*

Especie: *Zea mays* L.

Nombre común: Maíz

2.4.- Características morfológicas

El maíz es una planta anual que crece con un gran desarrollo vegetativo, que normalmente alcanza de 2 a 2.5 m de altura, pudiendo llegar hasta los 5 metros (CEDAF, 1998).

2.5.- Sistema radical

Las raíces representan un importante componente funcional y estructural de la planta del maíz (Cabrera, 2002; Flores, 1999). En la planta madura, las raíces pueden profundizar hasta 1.8 m y explorar una superficie de un círculo de 2 m de diámetro (Salazar, 1990).

Un sistema radicular se compone de una raíz principal, raíces laterales (primarias, secundarias etc.) y raíces adventicias:

- La raíz principal es la primera que se desarrolla en la planta, configurada durante el desarrollo del embrión y es el punto de partida para el desarrollo de las raíces laterales y adventicias. Su función consiste en colonizar el suelo en profundidad y captar el agua y los nutrientes de los estratos más profundos como el nitrato que tiende a lixiviarse; es también el órgano más importante para la supervivencia de la planta durante las primeras etapas del desarrollo de la misma, permitiendo la captación inmediata de agua y nutrientes y la correcta disposición de la plántula por su rápida respuesta gravitatoria y fototrópica.
- Las raíces laterales se originan más tarde y emergen a partir de la principal con un ángulo determinado genéticamente y su misión consiste en colonizar los primeros estratos del suelo en forma de onda expansiva para captar los nutrientes en especial fosfato. A partir de estas raíces laterales se pueden formar otras secundarias, terciarias etc., que amplían la superficie de absorción del sistema.
- Las raíces adventicias se desarrollan en una zona delimitada entre el inicio de la raíz principal y el tallo (la corona) y son las encargadas de aprovechar el

agua y nutrientes en las capas más superficiales del sustrato siendo esenciales en la capacidad de anclaje de muchas especies (Lanza, 2008).

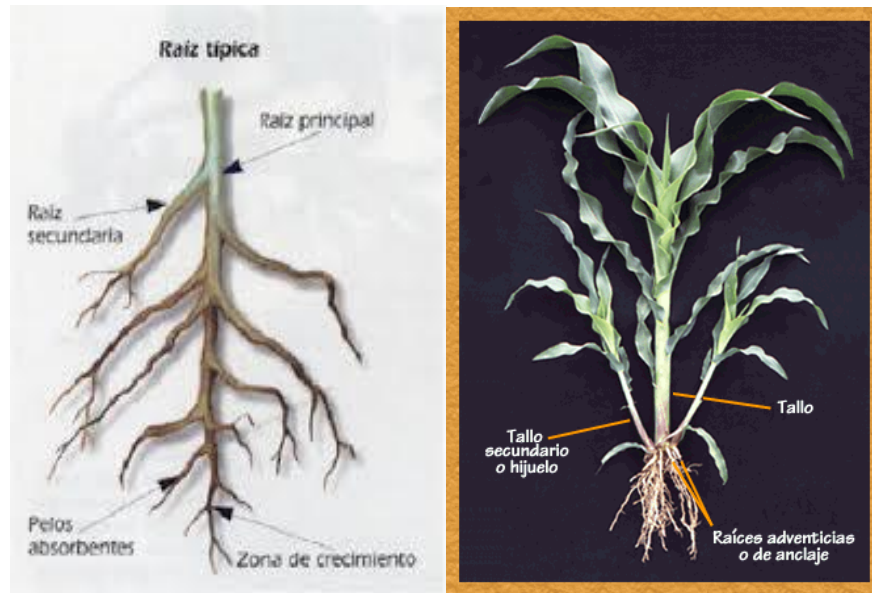


Figura1. Sistema Radical del maíz.

La principal función de estas raíces es mantener la planta erecta y evitar su vuelco en condiciones normales. Las raíces colaboran en la absorción de agua y nutrimentos (Paliwal, 2001).

2.6.- Tallo

El tallo de la planta del maíz es leñoso y cilíndrico, con una cantidad de nudos que varían entre 8 y 25, con un promedio de 16 (Lesur, 2005). El primer tallo que emerge de la semilla se llama mesocotilo, que se alarga más o menos según la

profundidad de siembra, la final de este tallo se forma la corona y luego el tallo final y las raíces (CEDAF, 2001).

2.7.- Hoja

Las hojas son alternas, abrazadoras, anchas, paralelinervias, lanceoladas y ásperas, su longitudes de 40-45 cm y 6-8 cm de anchura. El número es constante para cada variedad. La planta tiene de 4 a 5 hojas embrionarias que van protegidas hasta que salen a la superficie por el coleoptilo, que se rompe saliendo la primera hoja (Pavón, 2007).

2.8.- Inflorescencia

Es una planta con inflorescencia monoica o sea que cada una lleva flores masculinas y femeninas separadas dentro de la misma planta. En cuanto a la inflorescencia masculina presenta una panícula (vulgarmente denominadas espigón o penacho) de coloración amarilla que posee una cantidad muy elevada de polen en el orden de 20 a 25 millones de granos de polen. En cada florecilla que compone la panícula se presentan tres estambres donde se desarrolla el polen. En cambio, la inflorescencia femenina (mazorca) marca un menor contenido en granos de polen, alrededor de los 800 o 1000 granos y se forman en unas estructuras vegetativas denominadas espádices que se disponen de forma lateral por lo que se pueden crear varias recombinaciones (cruces) y crear nuevos híbridos en el mercado (Salvador, 2001; Vargas, 2006).

La posición de las inflorescencias ha facilitado mucho los trabajos de mejoramiento por hibridación, pues es fácil de remover las panojas y cubrir las mazorcas en la polinización artificial (León, 2000).

2.9.- Flor

Es una planta monoica, en la cual se distinguen dos tipos de flores: las flores femeninas, que se encuentran en la axila de algunas hojas, están formando una inflorescencia en espiga rodeada por largas brácteas que la cubren por completo. A la espiga se la llama mazorca y está formada por una serie de espiguillas, cada una de las cuales están formadas por dos flores de las cuales inferior aborta. Por tanto, cada espiguilla, en caso de fecundación dará un grano. En el extremo de la mazorca se desarrollan unos estilos largos llamados sedas en los cuales cae el polen y se desarrolla el tubo polínico.

La parte central se llama zuro y representa el 15-30% del peso total de la espiga. La flor masculina está en la extremidad del tallo agrupada en panículas que se llaman vulgarmente penachos. Está formado por 3 a 10 filas de espiguillas emparejadas, cada una de ellas compuestas por dos glumas y contiene dos flores con tres estambres cada una siendo las dos flores fértiles.

La fecundación es cruzada, cuando se realiza la fecundación con polen de otras variedades pueden aparecer granos de coloración diferente.

2.10.- Grano

El grano se disponen en hileras longitudinales y hay varios cientos en una mazorca. Es generalmente aplastado en un plano perpendicular al eje de la mazorca, como es el caso de la mayoría de los híbridos actuales.

El grano está formado por las siguientes partes:

- a) Pericarpio: cubierta del fruto, de origen materno, se conoce como testa, ollejo o cáscara.
- b) Aleurona: capa de células del endospermo, de naturaleza proteica.

- c) Endospermo: tejido de reserva que alimenta el embrión durante la germinación. Es la parte de mayor volumen. Dos regiones bien diferenciadas hay en el endospermo suave o harinoso y el duro o endospermo vítreo. La proporción depende de la variedad.
- d) Escutelo o cotiledón: parte del embrión.
- e) Embrión o germen: planta en miniatura con la estructura para originar una nueva planta, al germinar la semilla.
- f) Capa terminal: parte que se une del olote, con una estructura esponjosa, adaptada para la rápida absorción de humedad. Entre esta capa y la base del germen se encuentra un tejido negro conocido capa hilar, la cual funciona como un mecanismo sellante durante la maduración del grano. La formación de la capa negra indica el grano maduro (Castañeda, 1990).

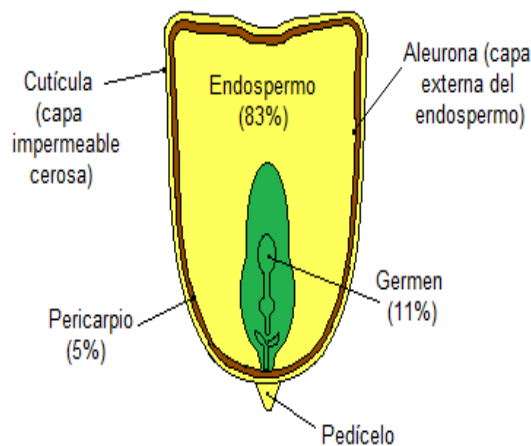


Figura2. Estructura del grano del maíz.

El maíz es uno de los mecanismos más maravillosos de la naturaleza para almacenar energía. De una semilla que pesa un tercio de gramo y produce cuando menos 600 a 1000 semillas similares a la original (Lesur, 2005).

2.11.- Etapas fenológicas del cultivo de maíz

a) Germinación o Nascencia, cuya duración aproximada es de seis a ocho días.

b) Crecimiento: en esta fase de crecimiento es cuando más se notan las diferencias varietales, prolongándose este período en los ciclos largos más que en otra etapa de la vida de la planta. El punto de crecimiento de la planta se encuentra al nivel del suelo, apenas unos 3 cm de las raíces secundarias, donde se podrá observar de 8 a 10 hojas en formación. Todas las hojas del maíz adulto se forman en la base del tallo durante las primeras 4 a 5 semanas de crecimiento. Después empieza el crecimiento del desarrollo de la espiga y mazorca. Entre los 18 y 20 días hasta los 40 como máximo, se forma una espiga minúscula (Lesur, 2005).

c) Floración: se considera como floración al momento en que la panoja se encuentra emitiendo polen y se produce el alargamiento de los estilos. La panoja aparece veinticinco días después de la siembra; a las seis semanas comienza a emitir polen y a alargar los estilos, y cuando se producen esto es cuando está en floración. Se calculan que producen entre 20 000 y 50 000 granos de polen por cada estilo. El polen toma aproximadamente 24 horas para llegar al ovulo a través del tubo polínico donde ocurre la fertilización (Aldrich and Leng, 1974).

d) Fructificación: con la fecundación de los óvulos por el polen se inicia la fructificación.

Maduración y secado: después de la octava semana de la polinización el grano tiene el mayor nivel de materia seca (tiene un 35% de humedad) y es cuando llega a la madurez fisiológica, según pierde humedad se va acercando a la madurez comercial y en esto influyen las condiciones ambientales.

Madurez fisiológica: una capa negra es visible en la base del grano. La humedad del grano es generalmente de alrededor del 35% (CIMMYT, 2014).

2.12.- Genética del maíz

El maíz se ha tomado como un cultivo muy estudiado para investigaciones científicas en los estudios de la genética. Continuamente se está estudiando su genotipo y por tratarse de una planta monoica aporta gran información ya que posee una parte materna (femenina) y otra paterna (masculina) por lo que se pueden crear varias recombinaciones (cruces) y crear nuevos híbridos para el mercado (COVECA, 2011).

2.13.- Exigencias edafoclimaticas

El maíz requiere una temperatura de 20 a 30°C. Requiere bastante luminosidad y en aquellos climas húmedos su rendimiento es más bajo. Para que se produzca la germinación en la semilla la temperatura del suelo debe situarse entre los 10 a 20°C (Parson, 1988). El maíz llega a soportar temperaturas mínimas de hasta 8°C. A partir de los 30°C pueden aparecer problemas serios debido a o a mala absorción de nutrientes minerales y agua. El maíz es una planta con mucha superficie foliar que se traduce en una gran capacidad para la fotosíntesis, pero también para la evapotranspiración, por eso es una planta muy sensible a las altas temperaturas y a la falta de humedad en el suelo. La temperatura ideal para la fructificación es de 20 a 32°C (Ortas, 2008).

Para el aprovechamiento de la humedad requiere 370 partes de agua para producir una parte de materia seca en grano y rastrojo, lo anterior indica que las necesidades de agua del cultivo en condiciones óptimas son de 800 1200 mm durante si ciclo vegetativo (Palencia, 1980).

2.14.- Suelos

El maíz es una planta exigente y muy sensible a las variaciones de fertilidad del suelo, por ende responde bien a las aplicaciones de fertilizantes y, en especial al nitrógeno. El maíz muestra notoria predilección por suelos ricos en materia orgánica

y dotados de adecuadas propiedades físicas (IICA, 1989). De acuerdo a Álvarez *et al.*, (1986) el tipo de Suelo que requiere es Franco, franco arcilloso, franco arenoso y arcillo arenoso, con un buen drenaje. Se adapta muy bien a todos los tipos de suelo pero suelos con PH de 6 a 7 son a los que mejor se adaptan (Palencia, 1980).

2.15.- Labores del cultivo

2.15.1.- Fertilización

El maíz es la planta que mejor reacciona ante fuertes dosis de fertilizantes. Los elementos o factores determinantes son, generalmente, el nitrógeno y el fosforo. Un aporte de 40 a 60 kilogramos por hectárea de P₂O₅ cuando éste es deficiente en el suelo (IICA, 1989). De 20 a 25 kg/ha de nitrógeno (N) por cada grano producida (Melgar y Martin, 2009).

Actualmente se está empleando el abono orgánico y parece que el maíz reacciona de modo favorable, especialmente en aquellos suelos agotados el posible ataque de larvas o gusanos del suelo tales como gallinas ciega que se intensificarán ante el uso de dicho abono (IICA, 1989).

2.15.2.- Control de malas hiervas

El control de malezas es importante para la buena conducción del cultivo. El maíz, en su ciclo vegetativo tiene un periodo, desde la emergencia hasta los 40-50 días, en que es más sensible al ataque de malezas.

2.15.3.- Tipos de malezas

Las malezas son de tres tipos o clases: Anuales: completan su ciclo en menos de un año, son las denominadas de hojas anchas, se producen por semillas y son las más abundantes en el cultivo del maíz. Son relativamente fáciles de controlar por

medios manuales o mecánicos cuando no están desarrolladas y no alcanzan 10-15 cm de altura.

Bianuales: su ciclo no es mayor de dos años. Son, generalmente, las gramíneas de hojas angostas.

Perennes: cumplen su ciclo en más de dos años y se reproducen en tanto por semillas como vegetativamente.

2.15.5.- Control de malezas

Las malezas se controlan mediante prácticas culturales manuales o mecánicas y también aplicando herbicidas (IICA, 2004). Es necesario mantener el cultivo limpio, principalmente durante los primeros 40 días posteriores a la siembra.

2.15.6.- Principales plagas del maíz

En los cultivos de maíz se han identificado 15 especies de insectos; sin embargo, muy pocas adquieren el nivel de plagas; algunas son principales, otras, secundarias y ocasionales o potenciales. Existen también insectos benéficos que cumplen un rol importante en el mantenimiento tan deseable del equilibrio biológico (INCAGRO, 2004).

Trips: Estos empiezan a causar daños en cuanto a la plántula se establece, pueden llegar a ser tan severos que la planta puede presentar el síntoma de falta de humedad. Momento oportuno de control: al revisar 100 plantas y encontrar 10 dañadas con presencia de la plaga (CESAVEG, 2008).

Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*): Es la plaga más voraz que afecta al cultivo ya que se encuentran en los cogollos de las plantas (CESAVEG, 2008).

Gusano cañero (*Diatraea saccharalis*): Es otra de las plagas principales del maíz; se le conoce también como "la plaga del barreno" y esta difundida en todo el país; infesta a varias gramíneas, plantas forrajeras (INCAGRO, 2004).

Gallinas ciegas: Son dos las especies de gallina ciega que se alimentan de las raíces del maíz y materia orgánica descompuesta. La verdadera gallina ciega la cual su ciclo de vida es de 3 años y la gallina ciega anual que cumple su ciclo de vida son de un año.

2.16.- Hormonas y reguladores de crecimiento

Con la llegada de la segunda revolución verde han establecido nuevas tecnologías, las cuales buscan la optimización de los sistemas agrícolas. De esta forma se ha abierto campo a la investigación y, a la producción de bioformulados comerciales, promotores de crecimiento vegetal capaces de incrementar la velocidad de germinación en las semillas, fortalecimiento de los mecanismos naturales de defensa de la planta y estimulación del sistema radicular, entre otros que la proveen ventajas beneficios a las plantas. El resultado de este desarrollo es que en la actualidad el tratamiento con fitorreguladores es parte integrante del empleo más amplio del instrumento químico en agricultura (Coletto, 1995).

El desarrollo de cualquier tejido vegetal es un proceso sumamente complejo en el cual intervienen un gran número de factores externos e internos cuyos mecanismos precisos de acción en muchos casos aún no se han esclarecido (García, 2003).

Las fases del desarrollo vegetal están reguladoras por diferentes sustancias químicas reguladoras de crecimiento, fitohormonas y hormonas vegetales. Los reguladores de crecimiento vegetal (RCV) son sustancias orgánicas que se encuentran a muy bajas concentración, se sintetiza en determinado lugar de la planta y se traslocan a otro. Estos reguladores son compuestos que en cantidades bajas estimulan, inhiben o modifican los procesos fisiológicos, son específicos en cuanto a su acción y regulan el crecimiento de las células, la división y la diferenciación celular así como la organogénesis, la senescencia y el estado de latencia (Duval, 2006). Los efectos de una hormona dependen de la especie de la planta, el sitio de acción de la

hormona, la etapa del desarrollo de la planta, y la concentración de la hormona químicos (Campbell *et al.*, 2001). De acuerdo Castillo, *et al.*, (2007), las fitohormonas son sustancias endógenas bioactivas sintetizadas por las plantas en concentraciones fisiológicas, con el fin de controlar diversos procesos metabólicos.

Por esta razón las hormonas vegetales se consideran reguladores químicos y la respuesta a un mensaje regulador determinada depende de varios factores como la estructura química de la hormona, la identidad del tejido específico sobre el que actúa, cuándo y cómo es recibido y el efecto conjunto con otras hormonas (Curtis *et al.*, 2006). A cada grupo se le ha asignado un efecto dominante, pero es común encontrar efectos contradictorios en la respuesta fisiológica asociada a cada etapa de desarrollo (vegetativa y reproductiva). En el momento de optar por la propagación vegetativa la regulación de hormonal dependerá de la especie (genotipo). Del ambiente (estímulos físicos) y la respuesta se verá afectada por la concentración y proporción de cada una de estas hormonas (González *et al.*, 2004).

2.17.- Clasificación de las fitohormonas u hormonas vegetales

Se conocen cinco grupos principales de hormonas vegetales o fitohormonas: Auxinas, Giberelinas, Citocininas, Etileno y Acido Abscísico (Miller, 1981; Rojas y Vázquez, 1995; Coletto, 1995; Flores y Cruz, 2004; Lluna, 2006; Taiz y Zeiger, 2007; Azcón-Bieto y talón 2008; Romero, 2011). Otras sustancias que eventualmente pueden clasificarse como fitohormonas son las oliaminas, los jasmonatos, el ácido salicílico, los brasinosteroides y la sistemina (García *et al.*, 2006).

2.17.1.- Giberelinas

En la década de 1950 se caracterizó el segundo grupo de hormonas, las giberelinas (Gas) y se conocen más de 125 giberelinas. Las giberelinas son

compuestos naturales que actúan como reguladores endógenos del crecimiento y desarrollo en los vegetales superiores (Azcón-Bieto y talón 2008). Estos reguladores determinan la elongación del tallo, además controlan varios aspectos de la germinación de las semillas, como la dormición y la movilización de las reservas del endospermo (Taiz y Zeiger, 2006). Influyen en diversos procesos como: floración y espigamiento, cuajado de los frutos y comportamiento poscosecha de los mismos, siendo la más importante GA3 o ácido giberélico (Castillo *et al.*, 2007).

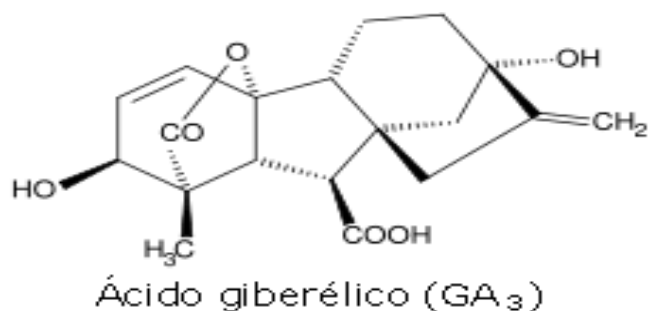


Figura 3. Estructura Química de las Giberelinas (GA₃).

De acuerdo a Duval (2006), las giberelinas son sintetizadas en los primordios apicales de las hojas, en puntas de raíces y semillas en desarrollo. Estas hormonas muestra un movimiento por el floema juntos con los productos de la fotosíntesis y también por el xilema, más generalmente bidireccional y que podríamos calificar como pasivo.

2.17.2.- Citocininas

En 1913, el fisiólogo austriaco Gottlieb Haberlandt (1854-1945) encontró en el tejido vascular de tabaco una sustancia hidrosoluble que inducía la división celular de tubérculos de papa. En 1941, Johannes Van Overbeek descubrió que el endospermo lechoso de coco podía inducir la división. En 1950 se asignó un nombre a estos

compuestos: citocininas (de citocinesis o división del citoplasma) (Curtis *et al.*, 2008). Son reguladores de crecimiento que estimulan la citocinesis y la división celular. Se producen de modo natural en las plantas, es la zeatina, denominada así porque se descubrió en el maíz (*Zea mays* L.). Las citocininas se producen en tejidos de crecimiento activo, en particular, en las raíces, embriones y frutos. Las citocininas producidas en la raíz alcanzan sus tejidos ascendiendo por la savia del xilema de la planta (Campbell and Reece 2007).

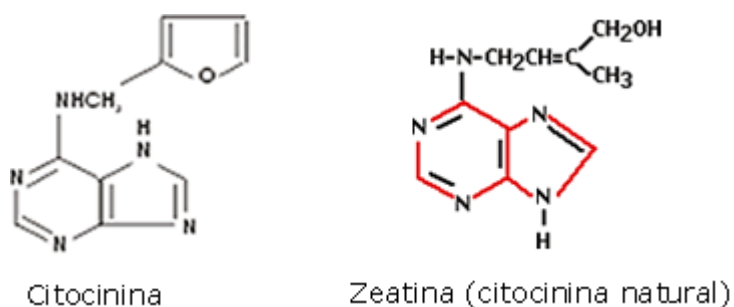


Figura 4. Estructura Química de Citocininas.

2.17.3.- Etileno

El etileno es una de las fitohormonas más ampliamente utilizadas en la agricultura, debido a su alta velocidad de difusión. Es difícil de aplicar en el campo como gas, pero esta limitación es utilizando en algún compuesto que libere etileno (García *et al.*, 2006). A pesar de ser alqueno muy sencillo, tiene un papel fisiológico clave durante el crecimiento y desarrollo de las plantas (Cadenas y Agustín, 2006). Esta hormona estimula la maduración del fruto, la senescencia de las hojas, flores y la abscisión, puede ser efecto de dominancia apical (Curtis *et al.*, 2006). El etileno, al ser un compuesto gaseoso, se mueve, en general, por difusión desde el inicio de síntesis; pero su precursor, el ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC), poder ser transportado hasta el sitio de acción, en donde mediante la ACC, oxidasa, se transforma en etileno, produciendo el efecto fisiológico.

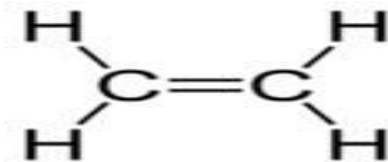


Figura 5. Estructura química del Etileno.

2.17.4.- Ácido abscísico

En 1949 se descubrió que las yemas en estado de latencia del fresno y de la patata contenían grandes cantidades de sustancias inhibidoras. Dichos inhibidores recibieron el nombre de dorminas. Actualmente este compuesto recibe el nombre de ácido abscísico (Raven *et al.*, 1992; García *et al.*, 2006). El ácido abscísico reduce la división y el alargamiento celular, inhibe el crecimiento, promueve el letargo y el cierre de los estomas (Campos-Bedolla *et al.*, 2002).

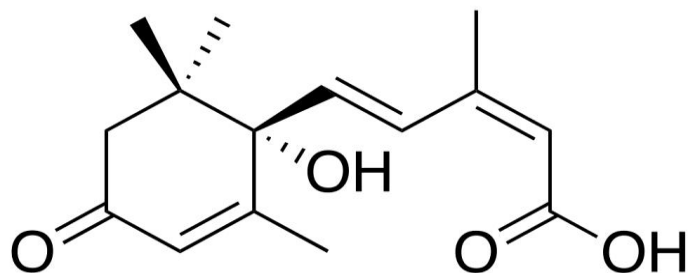


Figura 6. Estructura química del Ácido abscísico.

2.17.5.- Auxinas

Las auxinas fueron una de las primeras hormonas vegetales descubiertas, por experimentos relativos al fototropismo de coleoptilos, efectuados por Darwin, que evidenciaron la existencia de una señal transportadora en las plantas. Esto llevo al descubrimiento de las auxinas por Went en 1928 (Herrera *et al.*, 2006; Azcón-Bieto y Talón 2008). La palabra auxina proviene a partir de la palabra griega auxein que significa incrementar o hacer crecer y cuya estructura química resulto ser la del ácido indolil-3-acético, comúnmente llamado ácido indolacético o AIA. (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

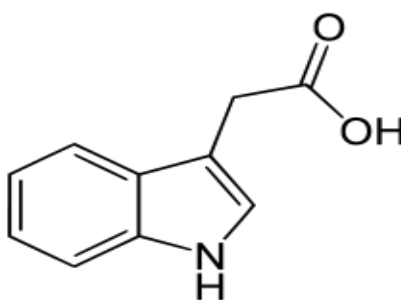


Figura 7. Estructura química de las Auxinas.

El ácido indolacético (AIA) fue la primero auxina natural identificada, y hoy es considerada la principal auxina en plantas, otras auxinas naturales han sido identificadas.

2.17.6.- Efectos fisiológicos de las auxinas

De acuerdo a Potrie en (2009), las Auxinas son compuestos que tienen la capacidad de influir en el desarrollo de los frutos y en la formación de las raíces. Una concentración baja de auxinas estimula el desarrollo y una concentración elevada puede provocar inhibiciones. Las auxinas (AIA), por su parte, se caracterizan por inducir alargamiento celular, división celular, e iniciación de la raíz (Campbell *et al.*, 2001). Estimulan el alargamiento celular, intervienen en el fototropismo, el

geotropismo, la dominancia apical y la diferenciación vascular, inhibe la abscisión antes de formarse la capa de abscisión, estimula la síntesis de etileno, estimula el desarrollo de frutos, induce la formación de raíces adventicias en los esquejes (Curtis *et al.*, 2006 ; Campos-Bedolla *et al.*,2002).

2.17.7.- Función o modo de acción de las auxinas

Se sitúan principalmente a nivel de membranas celulares, donde se modifican la permeabilidad de ésta, llevando consigo también una modificación del funcionamiento celular y activando su metabolismo (Rojas *et al.*, 2004).

El sitio principal donde se sintetiza la auxina en una planta es el meristemo apical, en la punta del tallo y para alargar las células vegetales inician el alargamiento debilitando las paredes celulares (Campbell *et al.*, 2001).

2.17.8.- Metabolismo de las auxinas

Anabolismo (producción). Incluye dos vías metabólicas: 1) biosíntesis de auxinas con triptófano y ácido Indol 3-Acético (AIA) en el citoplasma para producir auxina. 2) biosíntesis de conjugados auxínico, como los ésteres auxínicos con AIA y amida auxínica (indolacetamida auxínica e indolacepéptido) (Gómez y García, 2006).

Catabolismo (degradación). Incluye por dos vías metabólicas. 1) Oxidación descarboxilativa, 2) oxidación no descarboxilativa, en donde la auxina se oxida transformándose en 3-metil oxindol y ácido indon 3-carxílico, respectivamente (Grajales, 2005).

2.17.9.- Biosíntesis de las auxinas

Se ha considerado que el precursor en la síntesis del ácido indolacético (AIA) es el aminoácido triptófano. La conversión del triptófano en AIA puede producirse por diferentes rutas como la ruta del ácido indolpirúvico, la ruta de triptamina y la ruta de la indolacetaldoxima, en las distintas reacciones catalizan enzimas y son poco específicas. Algunos estudios indican que, incluso en la misma planta y dependiendo de la edad, la síntesis de AIA puede ser dependiente o independiente del triptófano (Azcón-Bieto y Talón, 2008 y Herrera *et al.*, 2006).

2.17.10.- Transporte de las auxinas

Una de las características de las hormonas es la capacidad de desplazarse desde su lugar de biosíntesis hasta otras partes de la planta, donde ejercen su acción (Azcón-Bieto y Talón, 2008). El transporte a nivel celular es de naturaleza basipétalo (del ápice celular a la base celular). Se ha detectado un grado de transporte de auxina en el floema, el cual se ha postulado que no es importante directamente en el control correlativo del crecimiento de la planta, pero que se puede actuar como fuente de auxina para el transporte polar (de célula a célula) (Herrera *et al.*, 2006 y Grajales, 2005). Otros autores mencionaron que la auxina viaja unidireccionalmente hacia la base de la planta, donde controla el alargamiento del brote y del coleoptilo, principalmente estimulando la elongación celular (Raven, *et al.*, 1992).

2.17.11.- Clasificación de las auxinas

Existen varios tipos de auxinas algunas son naturales y otras sintéticas, se conocen el ácido indolacético (AIA), ácido indolbutírico (AIB), Ácido diclorofenoxiacético (2, 4,-D), 2, 4 diclorofenoxiacético, y ácido naftalenacético (ANA) (Rojas *et al.*, 2004).

2.17.12.- Ácido indolacético (AIA)

EL ácido Indol-3-acético o AIA es la más conocida, es una hormona natural que se produce en los ápices de los tallos, meristemos y hojas jóvenes de yemas terminales, de allí migra al resto de la planta en forma basipétala (de arriba para abajo) mediante un mecanismo activo, exhibiendo fuerte polaridad durante el transporte a través de las células del floema y del parénquima presente en el xilema; durante su circulación la auxina reprime el desarrollo de brotes axilares laterales a lo largo del tallo, manteniendo de esta forma la dominancia apical (Rojas *et al.*, 2004, Azcón-Bieto y Talón, 2008), es amplia distribución en vegetales superiores y son muy inestables en condiciones de luz (SECH, 1999).

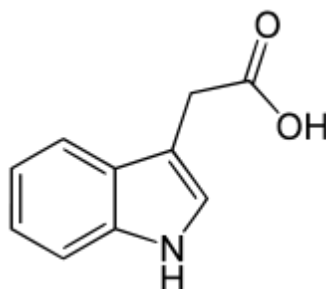


Figura 8. Estructura química del ácido Indol-3-acético.

2.17.13.- Ácido indolbutírico (ácido 1h-indol-3butírico)

Es un regulador de crecimiento, considerado inicialmente como sintética, se ha encontrado en maíz y en algunas dicotiledóneas (SECH, 1999). Es muy utilizado para inducir la formación de raíces, el cual tiene una actividad auxínica débil y los sistemas de enzimas destructores de auxinas la destruyen en forma relativamente lenta (Hernández *et al.*, 2005).

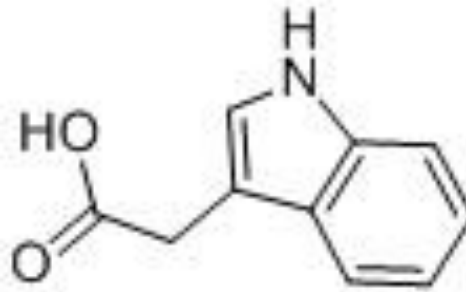


Figura 9. Estructura química del ácido indolbutírico (ácido 1h-indol-3butanoico).

2.17.14.- Ácido diclorofenoxiacético

Ácido diclorofenoxiacético (2, 4,-D) y 2, 4 diclorofenoxiacético, son auxinas sintéticas, utilizados como herbicidas y en medios de cultivo vegetales para inducir crecimiento activo de callo, puede causar aberraciones genéticas (SECH, 1999).

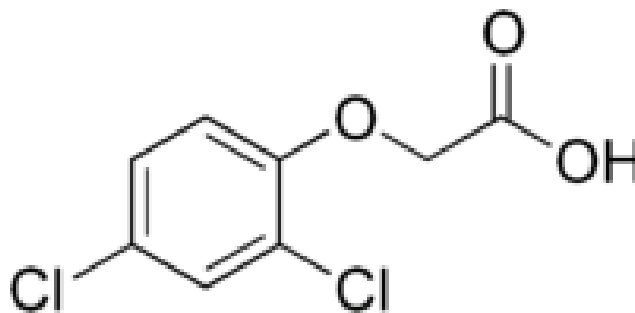


Figura 10. Estructura química del ácido naftalenacético (ANA).

2.18.-Formación de raíces adventicias

La formación de las raíces adventicias es un fenómeno que ocurre naturalmente en varias plantas especies de las plantas. La formación de raíces adventicias empieza a ocurrir en ciertas células próximas al cambium y al floema.

Se inicia por divisiones anticlinales y periclinales en un grupo de células que forman el primordio de la raíz lateral crece y penetra en el córtex. En su desarrollo la raíz lateral puede dirigir parcialmente al tejido cortical, o realiza una penetración mecánica.

Una vez que la raíz emerge, el número de células en el ápice de la raíz lateral aumenta y posteriormente se va elongando con un ángulo predeterminado (Casimiro y col., 2003).

De acuerdo a Martin (2008), menciona que el sistema radicular del maíz crece en longitud hasta los 80 días del cultivo; luego permanece estable durante 2 semanas y durante el periodo reproductivo, decrece gradualmente. La máxima densidad de raíces se encuentra entre los primeros 30 cm de profundidad.

La cantidad y ubicación de estas raíces determinan la arquitectura del sistema radicular (Flores, 1999).

2.19.-Efectos fisiológicos de las auxinas en las raíces adventicias

Las auxinas participan en la respuesta fototropica de las plantas, la formación de raíces adventicias, la elongación de tallos y raíces (Curtis and Barnes, 2007). Y aumentan la expansión radical de las células, aumentando el grosor de la pared celular, evitando la expansión paralela de las microfibrillas de celulosa, estas inhiben su desarrollo radicular utilizando altas concentraciones de auxinas (Stasburger, 1994). El crecimiento y desarrollo de la raíz se realiza a través de los procesos de división y elongación celular, así como de gravimorfismo (efectos sobre el desarrollo inducidos por la gravedad)(Herrera *et al.*, 2006).

Las auxinas se mueven a través de células parenquimáticas, desde su lugar de formación hacia los haces vasculares del tallo, que se transportan a través de los tubos cribosos del floema; este se transporta, célula a célula, se caracteriza por ser

más lento; además, es un transporte polar, es decir, siempre basipétalo; pero en sentido acropétalo, hacia los ápices (Strasburger, 1994).

Estas sustancias actúan estimulando o inhibiendo ciertas reacciones químicas de algunas rutas metabólicas que promueven una respuesta fisiológica por parte de la planta. La concentración de auxinas en un tejido depende entre su síntesis, su exportación o importación hacia otros tejidos y desde ellos y de su tasa de degradación (Curtis and Barnes, 2007).

Desde 1982 se sabe que las hormonas auxinas son claves como reguladoras del desarrollo de las raíces laterales (Blakely, 1982; Laskowski y col., 1995).

2.20.- Cambios anatómicos durante la formación de raíces adventicias

A nivel de tallo empiezan a ocurrir una serie de cambios morfológicos durante la formación de raíces adventicias. El conjunto de estos cambios pueden ser divididos en las siguientes cuatro etapas:

- Desdiferenciación de cierto grupo de células maduras

Formación de iniciales de raíz a partir de las células cercanas a los haces vasculares las cuales debido al fenómeno de desdiferenciación han adquirido propiedades meristemáticas.

- Desarrollo de estos iniciales de raíces conformados primordios de raíces organizados.
- Emergencia de estos primordios radiculares ya desarrollados a través del tejido del tallo y la formación de conexiones vasculares entre estos primordios y el sistema vascular.
- Cofactores de enraizamiento y su comportamiento sinérgico con la auxina.

2.21.- Importancia de los pelos radiculares

Las raíces de la mayoría de las plantas poseen pelos radiculares que absorben agua y nutrientes. Los pelos radiculares están constituidos por unas células, con forma tubular, que crece en una única dirección, estos los responsables para mantener el buen funcionamiento de la planta. La formación de los pelos radiculares juega un papel importante en la adquisición de nutrientes. La baja concentración de nutrientes minerales limita el crecimiento y desarrollo de la planta (Pérez-Decelis *et al.*, 2011).

Uno de los problemas que enfrentan las raíces es por virus que afectan a las raíces laterales y adventicias de maíz afectadas, producen alteraciones en el cilindro central y la endodermis, la que comienzan en elementos del floema, en relación con los cuales se forman protuberancias que sobresalen hacia la corteza. Algunas raíces laterales muestran alteraciones en su anatomía. Por lo tanto, la disminución del crecimiento radical y el enanismo del tallo producidos por la virosis, sean una consecuencia directa de las marcas alteraciones morfológicas y hormonales en los tejidos vasculares.

2.22.-Antecedentes generales de las auxinas en cultivos

La primera aplicación práctica que tuvieron las auxinas se relaciona con su efecto promotor de la formación de raíces adventicias. Sin embargo, la aplicación de grandes cantidades de auxinas alrededor de las raíces en fase de crecimiento, normalmente inhiben su crecimiento. La auxina, en cantidades pequeñísimas, puede estimular el crecimiento de las raíces. No obstante en cantidades mayores, inhibe el crecimiento de las raíces primarias, aunque puede promover la formación de nuevas raíces secundarias (Raven, *et al.*, 1992).

En investigaciones por Raven *et al.*, 1999; Zolman *et al.*, 2000, encontraron una de las aplicaciones prácticas de las auxinas es la estimulación de la formación

de raíces adventicias en segmentos disectados de plantas, lo que las ha hecho comercialmente importantes. Actualmente se ha estudiado el papel de las auxinas en las respuestas de las defensa de las plantas, se evidencia su acción en plantas enfermas por patogénicos, enfermedades, y por factores del ambiente (estrés hídrico, por altas y bajas temperaturas, etc.).

En estudios anteriores por Jiménez (2008), realizó análisis morfológicos e histológicos en 4 variedades de frijol para generar la mayor cantidad de brotes, utilizando cinco concentraciones de BAP (0, 5, 7.5, 10 Y 12.5mg/l). Se determinó que la concentración óptima para formar brotes corresponde a 5mg/l. Sin embargo no se encontraron diferencias significativas.

Aracheta-Donjuan *et al.*, (2003), en investigaciones anteriores trabajaron con diferentes concentraciones de auxinas (ANA) para inducir brotes adventicios de 8 genotipos de maíz (*Zea mays* L.) y demostraron que la auxina ANA (5 mg L⁻¹) fue la mejor reguladora para inducir una alta producción de raíces, en todos los genotipos.

En trabajos anteriores aplicaron ácido indolbutírico para promover el enraizamiento de durazno (*Pronus pérsica* L.), aumentando la concentración de auxinas se incrementó el número de raíces, pero disminuyo su longitud (Parada y Villegas, 2009).

En yuca (*Manihot esculenta* C.) el tratamiento con 0.5 mg/L de 6-Bencil Aminopurina (BAP) fue el que generó una producción de brotes de raíces laterales precoz (Buechse, 2012).

Entre los últimos reportes se encuentran por Vidales, (2002), quien aplico 3.0 ml/1 de AIB y 0.1 ml/1 de K, en raíces de aguacate (*P. americana cv. americana*, raza mexicana) y después de concluir el experimento lograron obtener que la dosis de 3.0 ml/1 de AIB fue el mejor tratamiento y obtuvieron obtener un mayor número de brotes laterales.

2.23.- Aplicación de auxinas en cultivos agrícolas

- Mejorar el sistema radicular
- Enraizar estacas (esquejes)
- Suplir deficiencia por estrés
- Mejorar la elongación de las células (tallos largos o hojas más grandes)
- Se aplica comercialmente para iniciar enraizamiento (ANA) o mejorar el sistema radicular. El 2,4 diclorofenoxiacético es empleado como herbicida (Manzares, 2011).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.- Ubicación del sitio del experimento

La presente investigación se desarrolló en dos áreas, el trabajo de siembra, producción de las plántulas de maíz y aplicación de tratamientos se llevó a cabo en el invernadero de la empresa Arysta Life science, Saltillo, Coahuila, México.

El análisis histológico se realizó en el Laboratorio de Citogenética del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

3.2.- Tratamientos

El material biológico consistió en semillas de *Zea mays* (Variedad comercial). El experimento consistió en aplicar a las plántulas de maíz de 8 días de edad tres dosis diferentes de un enraizador de origen natural (L/ha, T1= 1 L/ha, T2= 2 L/ha y T3= 3 L/ha) en comparación al testigo absoluto.

3.3.- Análisis histológico

Las muestras para el análisis histológico se tomaron 4 días después de la aplicación de los tratamientos. Se colectaron segmentos de 15 mm de longitud de la raíz principal comenzando en 3.0 cm y terminado en 4.5 cm de la base de la raíz principal, inmediatamente las muestras se sumergieron en solución fijadora AFA para su posterior análisis.

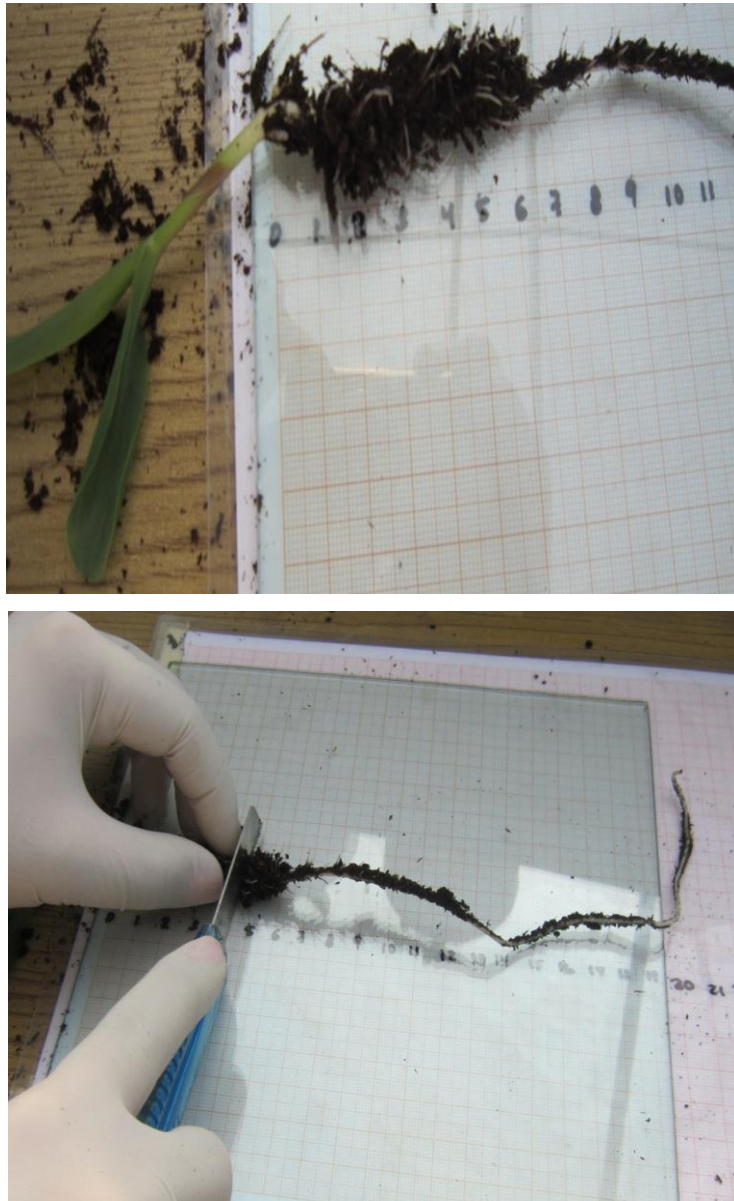


Figura 11. Sección de raíces de maíz (15 mm).

Las muestras permanecieron en la solución fijadora AFA (ácido acético, formaldehído y alcohol etílico) alrededor de un mes a temperatura ambiente.

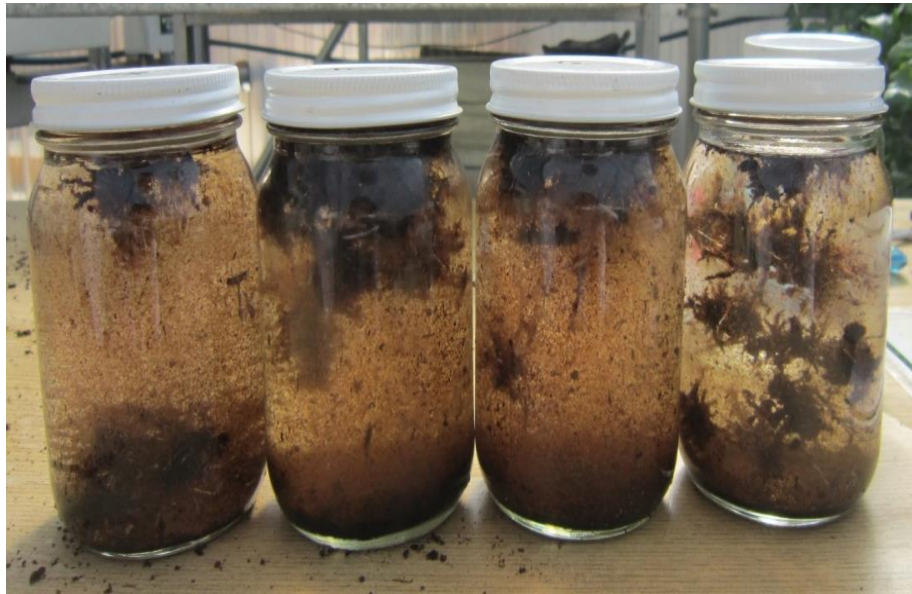


Figura 12. Cortes de raíz principal de maíz sumergidas en fijador AFA.

Posteriormente los tejidos de raíces ya fijados se sometieron a proceso de deshidratación con una solución de alcohol etílico al 95% y posteriormente con un solvente cuyo componente principal es el xilol. Alcohol al 50%, 60%, 70%, 85%, 95% + eosina, alcohol absoluto 1 y 2, xilol-alcohol absoluto 3-1, 1-1, 1-3, xilol puro 1, xilol puro 2. Los tejidos cortados se sumergieron por espacio de 2 horas en cada solución anterior (Hernández, 1984).

En este proceso se colocaron los frascos cerrados con el material vegetal en la estufa a 35°C con xilol + parafina por 24 horas. Se cambió la temperatura a 45°C y se agregó más parafina a los frascos con el material vegetal, los frascos se cerraron y se incubaron por 24 horas, posteriormente se cambió la temperatura a 50°C y se hizo un cambio de parafina pura vaciando la parafina con xilol en otro frasco. Se cambió la temperatura a 60°C y se hizo otro cambio de parafina pura incubando por 24 horas.

A continuación se prepararon 10 moldes de aluminio de 9x12 cm, en donde los tejidos y la parafina se solidificaron una vez que los tejidos tratados estuvieron dentro de la parafina con su etiqueta correspondiente.



Figura 13. Inclusión en parafina los tejidos de raíz de maíz.

El siguiente paso fue realizar los cortes longitudinales de radícula con el micrótomó rotatorio American Optical 820.

Se removió cuidadosamente del bloque de parafina un pedazo que contuviera el tejido que se deseaba seccionar, con una navaja de un solo filo, se removió la parafina en forma de “v” en los cuatro lados del bloque donde quedó a la vista la muestra con el tejido.

Se colocó la platina con el tejido en el micrótomó. Se regularon las micras en el micrótomó las cuales fueron de 15 micras. La cinta de parafina obtenida con el tejido se montó en un portaobjetos utilizando el adhesivo de haupt y fijándolo con calor (Rivero *et al.*, 2007).



Figura 14. Cortes Longitudinales de tejidos de maíz con el Micrótopo

Para determinar la estructura histológica de la raíz, se utilizó la doble coloración de safranina-fast green. Posteriormente se secaron las muestras y se montaron con Bálsamo de Canadá.



Figura 15. Tinción de tejidos de raíz de maíz

De los cortes longitudinales se obtuvieron 40 muestras en total, con 10 repeticiones para cada tratamiento. Para el análisis de brotes, se realizó el conteo de raíces secundarias, para ello se utilizó un microscopio óptico, ya identificados y observados cada brotes se le tomaron fotos con el microscopio óptico (Carl Zeiss) con cámara integrada y con el programa Pixera Wiewfinder Pro, las muestras se observaron con el objetivos de 10x.

Las mediciones de área total de córtex y médula se realizaron con el programa AxioVision LE Rel. 4.5. Para obtener el área total, se midió a cada uno de los brotes obtenidos de los cortes longitudinales, se fueron midiendo sobre las fotos que se habían tomado por cada tratamiento y se les configuro a escalas de 10x.

3. RESULTADOS

A continuación se describen las características histológicas y morfológicas obtenidas de cortes longitudinales y el análisis del número de brotes de raíces laterales de plántulas de maíz sometidas a diferentes concentraciones de un enraizador de origen natural, además de la medida de área total de córtex y medula de raíces laterales.

En las siguientes figuras (Figuras 16-21) se observan los cortes longitudinales de raíces principales de los cuatro tratamientos evaluados, en las imágenes se observan los brotes de raíces laterales, donde se muestran el córtex y médula de los brotes y la capa de endodermis de la raíz.

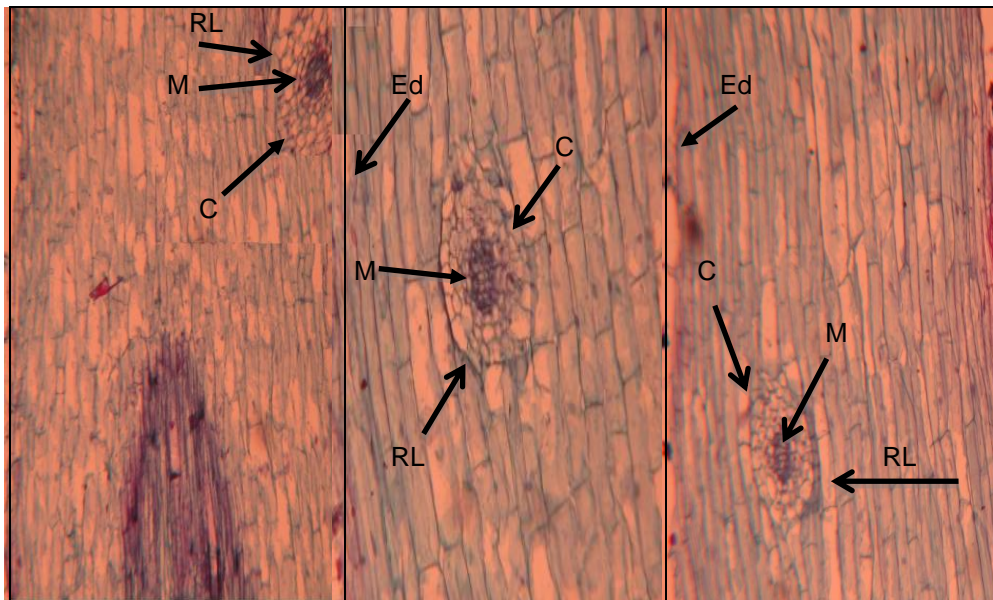


Figura 16. Análisis histológico en raíces principales de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) del tratamiento testigo para observar el efecto de diferentes dosis de un enraizador de origen natural a los cortes longitudinales de raíces por medio de microscopía óptica (con objetivos de 10x). Tratamiento: Testigo. Plantas tratadas con

L/ha agua. RL: brote lateral, C: córtex, M: médula y Ed: capa endodermis. Escala de 0-15µm.

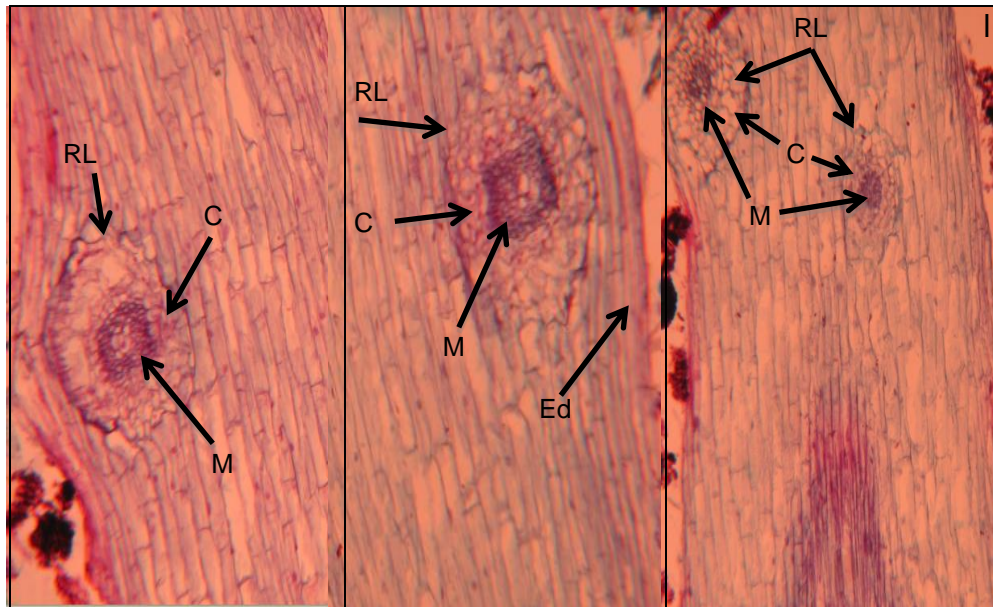


Figura 17. Análisis histológico en raíces principales de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) para observar el efecto de diferentes dosis de un enraizador de origen natural a los cortes longitudinales de raíces por medio de microscopía óptica (con objetivos de 10x). Tratamiento 1: plantas con la aplicación del enraizador natural a una dosis de 1 L/ha. RL: brote lateral, C: córtex, M: médula y Ed: capa endodermis. Escala de 0-15µm.

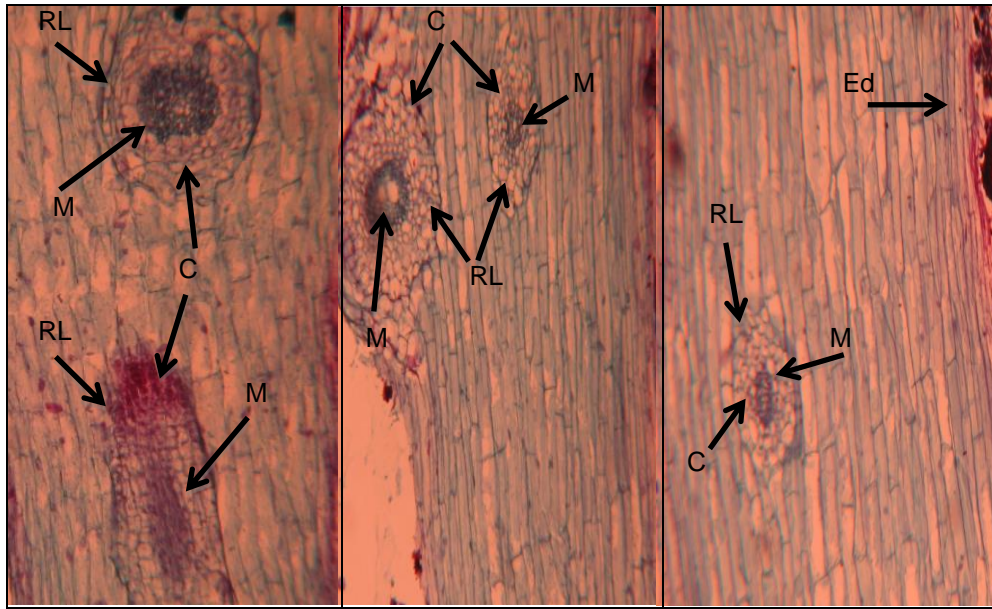


Figura 18. Análisis histológico en raíces principales de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) para observar el efecto de diferentes dosis de un enraizador de origen natural a los cortes longitudinales de raíces por medio de microscopía óptica (con objetivos de 10x). Tratamiento 2: plantas con la aplicación del enraizador natural a una dosis de 2 L/ha. RL: brote lateral, C: córtex, M: médula y Ed: capa endodermis. Escala 0-15 μ m.

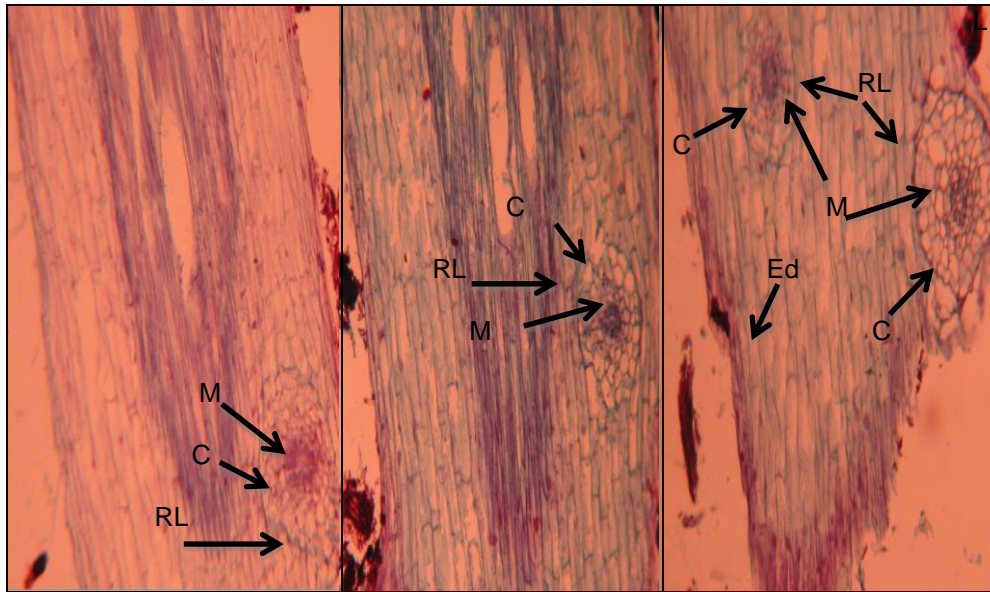


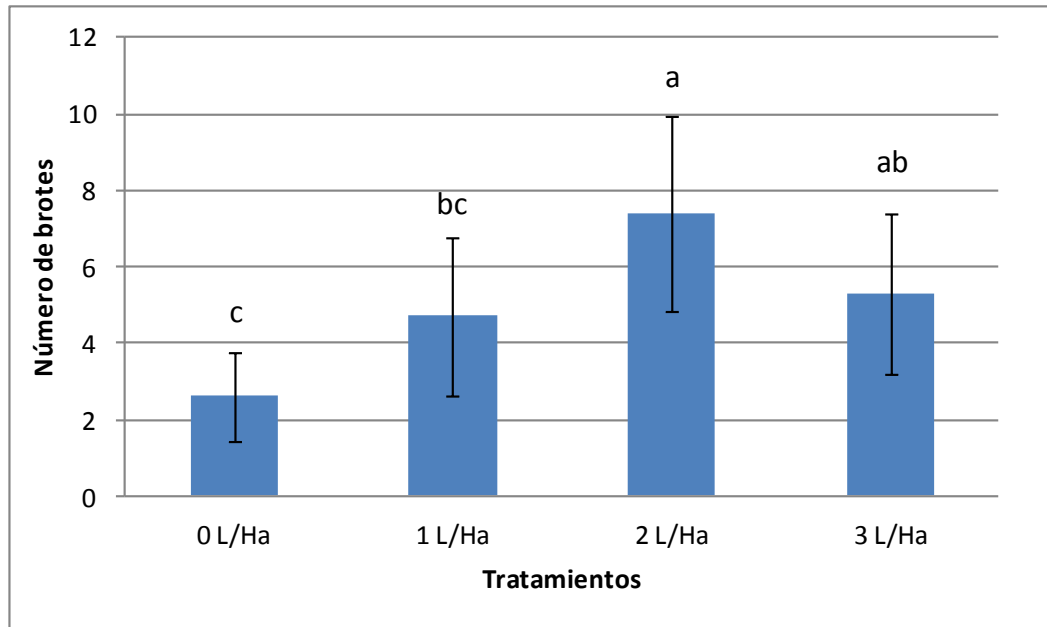
Figura 19. Análisis histológico en raíces principales de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) para observar el efecto de diferentes dosis de un enraizador de origen natural a los cortes longitudinales de raíces por medio de microscopia óptica (con objetivos de 10x). Tratamiento 3: plantas con la aplicación del enraizador natural a una dosis de 3 L/ha. RL: brote lateral, C: córtex, M: médula y Ed: capa endodermis. Escala de 0-15 μ m.

Las raíces originadas a partir de las raíces primarias son las raíces laterales. En condiciones normales, el crecimiento de las raíces depende de la disponibilidad del agua en el suelo, hormonas de crecimiento y nutrimentos. La formación de raíces laterales incrementa la capacidad exploratoria y la formación de pelos radicales incrementa la superficie total de raíces primarias y laterales.

Los pelos radiculares son prolongaciones tubulares de las paredes de las células epidérmicas de la raíz. Su longitud varía de menos de un milímetro a casi un centímetro, y posee de 10 μ de diámetro, por lo tanto, si la planta mantiene un sistema de raíces completo ayuda a fijar mayor absorción de agua y minerales, donde existen diminutos pelos radiculares que aumentan enormemente la superficie de absorción. Como en el caso del maíz absorben el 80% de agua y mantienen una compleja en la conexión con la raíz principal. Los pelos radicales se localizan a poco milímetros del ápice radical, detrás de la zona de elongación, sin embargo, los pelos radiculares absorben elementos minerales directamente del xilema o almacenadas en células diferenciadas que los liberan al transformarse en vasos xilemáticos. Con lo cual es de suma importancia mantener un sistema radicular bien complejo que ayude a la buena conducción del agua, y como resultado un mayor número de brotes laterales.

Los resultados obtenidos en el número de brotes, muestran una diferencia estadística significativa entre tratamientos, el mayor número de brotes obtenidos fue el tratamiento 2 (2 L/ha de extracto natural) con 7.4 brotes/15 mm de raíz principal, posteriormente el tratamiento 3 (3 L/ha de extracto natural) con 5.3 brotes/15 mm de raíz principal y por último el tratamiento 1 (1 L/ha de extracto natural), con 4.7 brotes/15 mm de raíz principal. En cuanto a porcentaje de diferencia con respecto al testigo absoluto (L/ha agua), el tratamiento 2 aumentó un 184.61%, el tratamiento 3 un 103.84% y el tratamiento 1 un 80.76% respecto al testigo absoluto.

Figura 20: Efecto en el número de brotes de pelos radiculares en plántulas de maíz sometidas a diferentes dosis de un enraizador de origen natural. En la figura, medias con letras iguales no difieren estadísticamente (Tuckey, $p \leq 0.05$); Barras en la figura= desviación estándar.



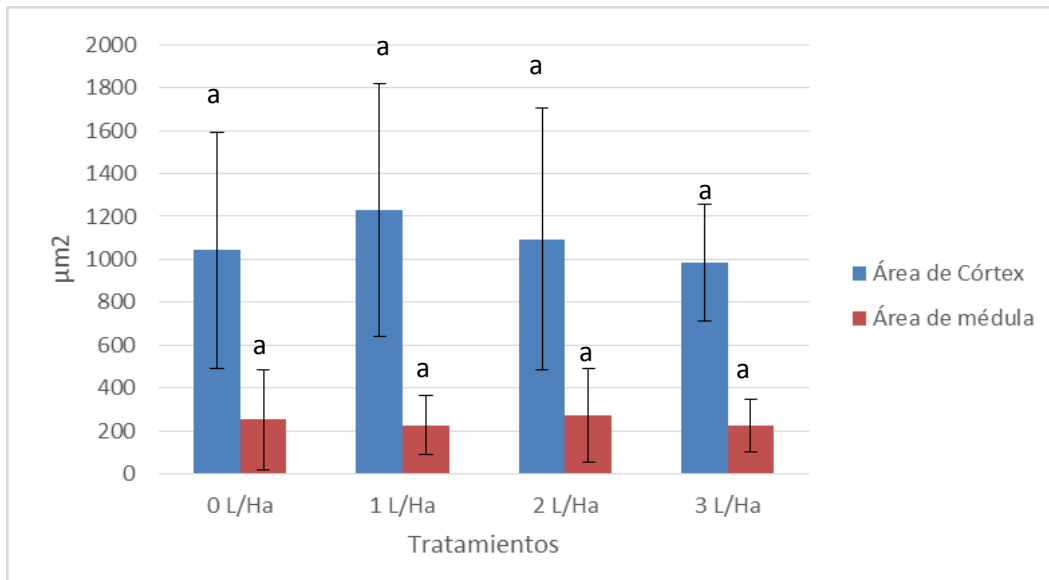
De acuerdo a los resultados obtenidos en el área total de córtex y médula de brotes (Figura 21) para cada uno de los tratamientos evaluados no existe diferencia estadística significativa entre tratamientos, sin embargo el tratamiento que mayor área de córtex presentó fue el tratamiento 1 (1 L/ha de extracto natural) con un valor de $1228.86 \mu\text{m}^2$, en comparación al testigo que mostró $1042.98 \mu\text{m}^2$, y en seguida fue el tratamiento 3 con $984.47 \mu\text{m}^2$. Y en cuanto al área de médula, el tratamiento 2 (2 L/ha de extracto natural) fue el que mayor área presentó respecto al testigo con un área de $274.84 \mu\text{m}^2$.

El córtex es de suma importancia ya que su función es almacenar almidón. Cuenta con espacios intercelulares tetragonales que permiten el aireamiento de las células. Por otro lado presentan mecanismos de defensas estructurales internas contra el ataque de patógenos y así no puedan perjudicar fácilmente a la médula. Las células del córtex forman uno de los tejidos que componen en mayor parte la radícula en maíz.

De la misma forma la médula son células parenquimáticas de tejido de resistencia y de sostén. En ella se encuentran los tejidos vasculares, el xilema es el que se encarga de transportar agua y minerales disueltos de raíces al tallo. El floema es un sistema conductor continuo que está constituido por células vivas (tubos cribosos, células acompañantes y parénquima), que se extiende por todo los órganos de la planta. El transporte a través del floema depende de la producción de metabolitos, del gradiente de concentración de solutos a través de la ruta de transporte. Sin embargo, las características anatómicas del tejido floemático y xilema influyen en conjunto la movilización de los nutrientes. Además ayudan a facilitar al córtex almacenar agua y nutrientes. De acuerdo a Mendoza-Castillo y col. (2000) evaluaron el área de floema en haces vasculares individuales en dos líneas de maíz, y sus resultados fueron que ambas líneas se redujo el porcentaje de su área, se puede inferir que existen diferencias en el balance hormonal durante el desarrollo de los tejidos vasculares.

Figura 21. Efecto de la aplicación a diferentes dosis de un enraizador de origen natural en el área de córtex y de médula de los diferentes brotes de raíces laterales

en plántulas de maíz. En la figura, medias con letras iguales no difieren estadísticamente (Tuckey, $p \leq 0.05$); Barras en la figura =desviación estándar.



5.- CONCLUSION

Los resultados de este trabajo permiten concluir que la mejor concentración del extracto natural en cuanto a producción del mayor número de brotes y al área de médula de brotes en plántulas de maíz es la de 2 L/ha.

En base a lo anterior la dosis de 2 L/ha es una alternativa para mejorar el desarrollo radical y la absorción de nutrientes de este cultivo ya que incrementa el número de brotes de raíces lo cual permite obtener una planta más vigorosa y por lo tanto mayor producción.

6.- LITERATURA CITADA

- Azcón-Bieto, J. y Talón, M. 2008.** Fundamentos de Fisiología Vegetal. 2a Edición. Editorial. McGraw-Hill-Interamericana de España, S. L. 656pp.
- Alvarado, G.L.C.2002.** Respuesta del Maíz (*Zea mays* L.) a la Fertilización con Nitrógeno, Fosforo, Potasio y Zinc en Suelos del Norte de Tamaulipas. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Agronomía. Monterrey, Nuevo León. 78pp.
- Aguilar, C. M., Melgarejo, L.M y Romero, M. 2005.** Fitohormonas. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Biología. 39-62.
- Acosta, R. 2009.** El Cultivo del Maíz, su Origen y Clasificación. Cultivos Tropicales. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Cuba. Redalyc. 30(2):113-120.
- Blakely, L. (1982).** Experimental studies on lateral root formation in radish seedling roots. I. General methods, developmental stages and spontaneous formation of laterals. Bot. Gaz. 143: 341-352.
- Bidwell, R. G. S. 2002.** Fisiología vegetal. Ed. AGT. S.A. México, D.F. 784 pp.
- Basantes, M. E. R. 2012.** Efecto de la Aplicación de dos Niveles de Nitrógeno y dos Niveles de Nitrógeno y dos Niveles de Fosforo en el Rendimiento del Cultivo de Maíz Var. Chillos, en un suelo Franco-arcillo limoso, sector de Sangolquí. Escuela Politécnica del Ejército de Ecuador.
- Buechse, R. C.D. 2012.** Establecimiento in vitro de yuca –variedad valencia- mediante domos meristemáticos y evaluación de tres medios de cultivo para la producción de brotes. Tesis de Licenciatura. Ciencia y Producción Agropecuaria, Zamorano, Honduras. 26pp.
- Mendoza-Castillo, M.C., G.H.V.A., E. E.M and O.C.J.2000.** Área de floema y profilización en maíz. Agrociencia. 34(2):141.151.

- Campbell, N.A., Mitchell, L.G. y Reece, J.B. 2001.** Biología: Conceptos y Relaciones. Tercera Edición. Editorial Pearson Educación. Naucalpan de Juárez, Edo de México. 896pp.
- Cabrera, S.2000.** Épocas de siembra y densidades optimas en maíz. El maíz en Venezuela. Fundación Venezolana.12 (2):123-130.
- Campos-Bedolla, P., Sanmartí, N., Torres, M.D., Mingo, B., Fernández, M.A., Boixaderas, N., De La Rubia, M.E., Rodríguez, R., Pintó, R. y Gullón, M.J. 2002.** Biología 2. Editorial Limusa. México, D.F. 230pp.
- Casimiro I, Marchant A, Bhalerao RP, Beeckman T, Dhooge S, Swarup R, Graham N, Inze D, Sandberg G, Casero P.J y Bennett M. (2001).** Auxin transport promotes Arabidopsis lateral root initiation. Plant Cell. 13: 843-852.
- Coletto, M. J.M. 1995.** Crecimiento y desarrollo de las especies frutales. 2a edición. Editorial. Agroguias Mundi-Prensa. México, D. F. 168pp.
- Curtis, E., Schnek. A. y Flores, G. 2006.** Invitación a la biología. 6a edición en español. Editorial. Medica Panamericana. Buenos Aires, Argentina. 768pp.
- Curtis, S., Barnes, M. 2007.** Biología. El crecimiento y desarrollo de las plantas: Hormonas Vegetales. 7a edición. Editorial Médica Panamericana. Madrid, España.
- Curtis, H., Barnes, S., Schnek, A. y Massarini, A.I. 2008.** Biología. Séptima Edición. Editorial Médica Panamericana. Madrid, España. 1009pp.
- CEFP, 2007.** México: El mercado del Maíz y la Agroindustria de la Tortilla. 25pp.
- Celis, B. L. X. 2008.** Estandarización de Métodos de Detección para Promotores de Crecimiento Vegetal (Ácido Indolacético y Gibelinas) en Cultivos Microbianos).
- Espinoza, V. J., Valdez, R. J., Alcalá, R. J.M. 2012.** Morfología y Anatomía de Radículas Múltiples en Plántulas de Maíz Derivadas de Cariopsis con Poliembrionaria. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. POLIBOTANICA. 33: 207-221.

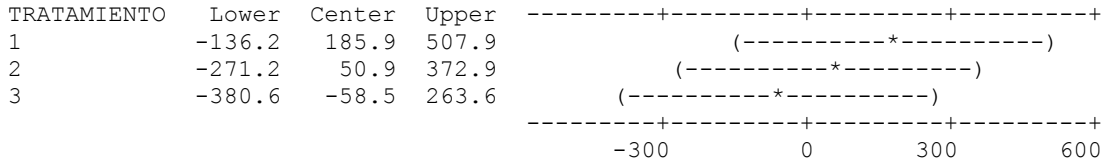
- Fernández, S. R. J. 1997.** Evaluación de 23 Híbridos de Maíz (*Zea mays* L.) para su Vigor de la Plántula y Resistencia a Diferentes Factores de Estrés. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Biológicas. 46pp.
- Flores, R. V. J. y Cruz, R. R. M. 2004.** Guías de laboratorio de fisiología vegetal. Editorial. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 61pp.
- Flores, V.E. 1999.** La planta: estructura y función. Libro Universitario Regional. Vol. II Costa Rica. 884pp.
- Giardinieri, N. C., Gutiérrez, C. N., Venialgo, C.A. 2004.** Influencia de la Compactación sobre el Crecimiento Radical de Maíz y Soja. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad Nacional del Noroeste. Argentina. 73-76.
- García, F.J., Roselló, J y Santamarina, M. P. 2006.** Introducción al funcionamiento de las plantas. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. 181pp.
- Gómez, A. y García, P. 2006.** Fitohormonas: metabolismo y modo de acción. Ed. IV. Serie. Editorial. Universitat Jaume I. Castelló de la Plana, España. 243pp.
- Grajales, O. 2005.** Apuntes de bioquímica vegetal: bases para su aplicación fisiológica. Editorial Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 169pp.
- Herrera, J., Alizaga, R., Guevara, E. y Jiménez, V. 2006.** Germinación y crecimiento de la planta. Editorial UCR. San José, Costa Rica. 47pp.
- Iracheta-Donjuan, L., Peralta, L.C., Hernández, G. V., Cabrera, S. I., Soriano, C.E. 2013.** Variación Genotípica en la Capacidad Organogénica *in vitro* de Maíz. *Agrociencia*. 37(5):451-465.

- Jiménez, C. M. 2008.** Descripción Morfológica e Histológica del Desarrollo Ontogénico del eje Embrionario Cigótico de Cuatro Variedades Costarricenses de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Bajo Condiciones de *Cultivo in vitro*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ciencias Biológicas. 128pp.
- Laskowski M. J, Williams M. E, Nusbaum H.C and Sussex I. M. (1995).** Formation of lateral root meristems is a two-stage process. *Development* 121: 3303-3310.
- Lluna, D.R. 2006.** Hormonas Vegetales: Crecimiento y Desarrollo de la Planta. *Abonos Artal. Nutrición Vegetal*. España. 22-27.
- Lanza, L. M. 2008.** Identificación de Genes que Participan en el Desarrollo de la Arquitectura Radicular en *Arabidopsis thaliana*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. Facultad de Biología. 127pp.
- Manzanares, M.J. 2011.** Reguladores de Crecimiento. *Revista Mexicana*. México. 4(2):23-38.
- Márquez-Sánchez. F. 2008.** De las Variedades Criollas de Maíz (*Zea mays* L.) A los Híbridos Transgénicos: Recolección de los Germoplasma y Variedades Mejoradas. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. Universidad Autónoma de Chapingo. 5(2):155-166.
- Martínez, C. E., Beltrán, P.E., López, B.J. 2011.** La arquitectura radicular del maíz (*Zea mays* L.). *Ciencia Nicolaita*. Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, UMSNH. (53): 48-60.
- Miller, V. E. 1981.** Fisiología vegetal. Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana, S. A. de C. V. México. D. F. 344pp.
- Muñeton, P. P. 2009.** La importancia de Proteger al Maíz como un Bien Común. *Revista Digital Universitaria*. Instituto de Ecología de la UNAM. 10(4):1067-1079.

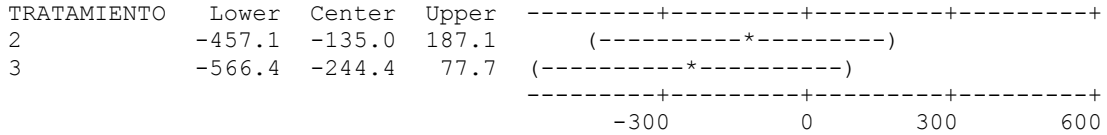
- Organero, R. A y Gimeno, M.M.** Conceptos Básicos de Botánica: Clasificación de Plantas y Partes de una Planta. Universidad de Valencia. 40pp.
- Ortega, A. 1987.** Principales Insectos que Atacan el Maíz: Guía para el Manejo Integrado de Maíz Mecanizado. CIMMYT. 28-34.
- Pavón, C. A.B. 2007.** Anexo V: Generalidades del Cultivo del Maíz. Proyectos. 68-86.
- Parada, P. D.M., Villegas, M. A. 2009.** Propagación *in vitro* Del Híbrido Almendro x Durazno H1. Rev. Fitotec. Fruticultura. México. 32(2):103-109.
- Pérez-Decelis, Gallardo. V. O., Buñuelo- Jiménez .J.S. 2011.** Variación en la Arquitectura Radical de Maíz: Indicadores de Eficiencia a Fosforo en Etapa de Emergencia. Instituto de Investigaciones de Agropecuarias y Forestal. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Uruapan, Michoacán, México. 22-31.
- Potrie, G. 2009.** Fitoreguladores del Crecimiento y Fito hormonas: Productos Químicos para la Agricultura del Futuro. Almanaque de Bancos de Seguros. 239-244.
- Raven, P.H., Evert, R.F. y Eichhorn, S.A. 1992.** Biología de las plantas. 5ª edición. Editorial Reverté, S.A. Barcelona, España. 755pp.
- Raven, P.H., Evert, R.F. y Eichhorn, S.A. 1999.** Biology of Plants. Sixth edition. W. H. Freeman and Company Worth Publishers. 686-693.
- Rojas, G. S., García, L. J y Alarcón, R.M. 2004.** Propagación Asexual de Plantas: Conceptos Básicos y Experiencias con Especies Amazónicas. Corpoica-Pronatta. Bogotá, Colombia. 55pp.
- Starr, C. y Taggar R. 2008.** Biología: la unidad y la diversidad de la vida, 2008 pp544. Undécima Edición. Cengage Learning Editores S.A de C.V. México, D.F. 1064pp.

- SAGARPA, 2012.** Análisis de la Cadena de Valor Maíz-Tortillas: Situación Actual y Factores de Competencia Local. Dirección General de Industrias Básicas. 35pp.
- Stoller, J.** Guía Stoller de Sanidad Vegetal. Maximizando la Expresión Genética de la Planta. Crop Health Leader. 19pp.
- Salvador, J.R. 2001.** Maíz. Itzroy Dearborn Publishers. Iowa State University. Universidad Autónoma de Chapingo. (15)
- Taiz, L. y Zeiger, E. 2007.** Fisiología vegetal. Volumen 2. 3ra Edición. Editorial Universitat Jaume. I. D.L. U.S.A. 1388pp.
- Vargas, G. 2011.** Botánica General. Desde los musgos hasta los árboles. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. 496pp.
- Vidales, F.I. 2002.** Efecto de reguladores de crecimiento en los procesos de organogénesis y embriogénesis de somática de aguacate (*Persea, americana* Mill.) Tesis de Doctorado en Ciencias. Universidad de Colima. Tecomán Colima, México. 112pp.
- Salazar, P. 1990.** El cultivo del maíz en el estado Trujillo. FONAIIP Divulga, N°33. Venezuela.

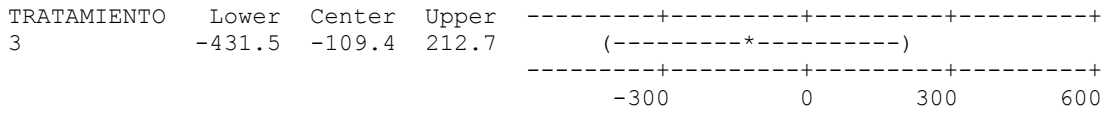
TRATAMIENTO = 0 subtracted from:



TRATAMIENTO = 1 subtracted from:



TRATAMIENTO = 2 subtracted from:



27/08 14:39:59

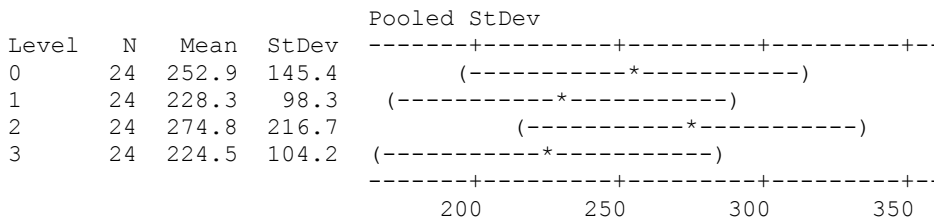
Welcome to Minitab, press F1 for help.

One-way ANOVA: MEDULA versus TRATAMIENTO

Source	DF	SS	MS	F	P
TRATAMIENTO	3	39720	13240	0.60	0.618
Error	92	2037987	22152		
Total	95	2077707			

S = 148.8 R-Sq = 1.91% R-Sq(adj) = 0.00%

Individual 95% CIs For Mean Based on



Pooled StDev = 148.8

Grouping Information Using Tukey Method

TRATAMIENTO	N	Mean	Grouping
2	24	274.8	A
0	24	252.9	A
1	24	228.3	A
3	24	224.5	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of TRATAMIENTO

Individual confidence level = 98.96%

TRATAMIENTO = 0 subtracted from:

TRATAMIENTO	Lower	Center	Upper	
1	-137.1	-24.7	87.7	(-----*-----)
2	-90.5	21.9	134.3	(-----*-----)
3	-140.9	-28.5	83.9	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+-----
-100 0 100 200

TRATAMIENTO = 1 subtracted from:

TRATAMIENTO	Lower	Center	Upper	
2	-65.8	46.6	159.0	(-----*-----)
3	-116.2	-3.8	108.6	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+-----
-100 0 100 200

TRATAMIENTO = 2 subtracted from:

TRATAMIENTO	Lower	Center	Upper	
3	-162.8	-50.4	62.0	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+-----
-100 0 100 200

