



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del Examen de Grado de carácter Complexivo,
presentado al H. Consejo Directivo, como requisito previo para
obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

TEMA:

“Estudio de sistemas inmunológicos del cultivo de maíz (*Zea mays* L.),
desde el punto de vista de resistencia cruzada”

AUTOR:

Jaime Andrés Rendón Anchundia

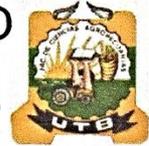
TUTOR:

Ing. Agr. Eduardo Colina Navarrete, MSc.

Babahoyo – Los Ríos – Ecuador



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del Examen de Grado de carácter Complexivo,
presentado al H. Consejo Directivo, como requisito previo para
obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

TEMA:

“Estudio de sistemas inmunológicos del cultivo de maíz (*Zea mays* L.),
desde el punto de vista de resistencia cruzada”

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Agr. Joffre León Paredes, MBA.

PRESIDENTE

Ing. Agr. Guillermo García Vásquez, MSc.

VOCAL

Ing. Agr. Edwin Hasang Morán, MSc.

VOCAL

DEDICATORIA

A Yahveh Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre Lcda. Margarita Anchundia Peralta.

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi padre Prof. Jaime Rendón Pérez.

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mis familiares.

A mis hermanos Abg. Jaime Adolfo Rendon Anchundia y Lcdo. Jaime David Rendon Anchundia por ser el ejemplo de hermanos mayores y de la cual aprendí aciertos y de momentos difíciles; a mi futura progenie si Dios me permite tener en algún momento de mi vida y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en este proceso estudiantil como lo fue la universidad.

A mis sobrinas/o.

Mis sobrinas, Génesis Rendón Valverde, Margarita Rendón Palacios, Valentina Rendón Aguiar y Jaime Rendón Valverde; para que probablemente vean en mí un ejemplo a seguir y a superar

A mis amigos.

Que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora, seguimos siendo amigos: Ruth Borbor, Luis Campuzano, Evelin Avendaño, Edison Navarrete, Byron Mora, Ismael Ponce, Pedro Rodríguez, Kevin Ron, Vanny Villacis, Alejandro Romero y Víctor Solís.

Finalmente a los maestros, aquellos que marcaron cada etapa de nuestro camino universitario, y que me ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de la tesina.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia, en especial a mi madre que siempre ha estado en los buenos, malos y pésimos momentos de mi vida.

Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal que hacen la Facultad de Ciencias Agropecuarias, por confiar en mí, abrirme las puertas y permitirme realizar todo el proceso investigativo dentro de su establecimiento educativo.

De igual manera mis agradecimientos a mis profesores en especial al Ing. Eduardo Colina Navarrete, quien con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hizo que pueda crecer día a día como profesional, gracias por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

La responsabilidad por la investigación, marco metodológico y resultados presentadas y sustentadas en este componente práctico son de exclusividad del autor.



Jaime Andrés Rendón Anchundia

RESUMEN

El presente documento establece las características de sistemas inmunológicos del cultivo de maíz, desde el punto de vista de resistencia cruzada, para obtener vegetales con grado de resistencia al ataque de plagas en general.

La finalidad de este trabajo fue diagnosticar el estado del arte actual con referencia a resistencia cruzada y establecer un banco de información con referencia a sistemas inmunológicos y resistencia en el cultivo de maíz, donde se recopiló información bibliográfica de libros, revistas, artículos científicos y páginas web, las que fueron sometidas a técnicas de parafraseo y síntesis de los sistemas inmunológicos del cultivo de maíz, desde el punto de vista de resistencia cruzada.

Es necesario que el cultivo de maíz sea resistente a diversos patógenos, no repercutiendo en los daños al cultivo y aumentando considerablemente la producción, por ello los investigadores están tratando de ingresar al mercado productos transgénicos donde el costo de producción sea bajo, es decir poca inversión pero con excelente beneficio neto.

Las conclusiones determinaron que las pérdidas en los cultivos por plagas, enfermedades, malezas y/o nematodos han sido de mayor relevancia, afectando la producción agrícola mundial; existe modificación genética de las plantas, existiendo en la actualidad en el mercado productos transgénicos de los cultivos como maíz, soya, fréjol y algodón; la introducción de productos químicos aplicados a los cultivos con el paso del tiempo redujo su dosificación y épocas de aplicación. Sin embargo, estos afectan la etapa de crecimiento de los cultivos y en algunos casos provoca disminución en los rendimientos debido a la disminución de la capacidad inmunológica y con la introducción de la ingeniería genética es más eficaz el uso de plaguicidas, con la finalidad de controlar las enfermedades de las plantas sin algún costo adicional para los productores y no contaminando el medio ambiente.

Palabras claves: inmunológicos, maíz, resistencia, transgénicos.

SUMMARY

The present document establishes the characteristics of the immunological systems of the corn crop, from the point of view of cross resistance, to obtain plants with a degree of resistance to the attack of pests in general.

The purpose of this work was to diagnose the current state of the art with reference to cross resistance and establish a bank of information with reference to immunological systems and resistance in the cultivation of corn, where bibliographic information of books, magazines, scientific articles and pages was compiled web, which were subjected to paraphrasing techniques and synthesis of the immunological systems of corn cultivation, from the point of view of cross-resistance.

It is necessary that the cultivation of maize is resistant to various pathogens, not affecting the damage to the crop and increasing production considerably, so the researchers are trying to enter the market for transgenic products where the cost of production is low, that is, little investment but with excellent net profit.

The conclusions determined that the losses in the crops by pests, diseases, weeds and / or nematodes have been of greater relevance, affecting the world agricultural production; there is genetic modification of the plants, existing in the market currently transgenic products of crops such as corn, soybeans, beans and cotton; the introduction of chemical products applied to crops with the passage of time reduced their dosage and application times. However, these affect the stage of crop growth and in some cases cause decrease in yields due to the decrease in immunological capacity and with the introduction of genetic engineering the use of pesticides is more effective, in order to control plant diseases without any additional cost for producers and not polluting the environment.

Keywords: immunological, corn, resistance, transgenic.

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. MARCO METODOLÓGICO.....	3
1.1. Definición del tema caso de estudio.....	3
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3. Preguntas orientadas para el análisis del problema.....	3
1.4. Justificación.....	4
1.5. Objetivos.....	4
1.5.1. General.....	4
1.5.2. Específicos.....	5
1.6. Fundamentación Teórica.....	5
1.7. Hipótesis.....	19
1.8. Metodología de la investigación.....	19
CAPÍTULO II. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
2.1. Situaciones detectadas.....	20
2.2. Soluciones planteadas.....	21
2.3. Conclusiones.....	21
2.4. Recomendaciones.....	22
BIBLIOGRAFÍA.....	23

I. INTRODUCCIÓN

Los vegetales por ser considerados seres vivos se encuentran continuamente sometidos a factores bióticos y abióticos adversos; atacados por un sinnúmero de patógenos (hongos, bacterias y virus) o condiciones de estrés, que puede causar diversas infecciones si no disponen de un sistema inmunitario o mecanismos químicos para defenderse.

Se atribuye que el maíz es una planta con mayor diversidad de usos, especialmente como alimentos y forrajes, que lo ha convertido en una materia prima esencial en el campo industrial para la obtención de aceite comestible, almidones, jarabes, entre otros.

La obtención de nuevos híbridos de maíz son buena fuente de genes de resistencia de la planta a plagas y enfermedades, y por lo tanto son transmitidos a cultivares mejorados.

En nuestro país, en el año 2017 existió una superficie sembrada de 240 201 has, con superficie cosechada de 228 868 ha, alcanzando una producción de 487 825 t. En la provincia de Los Ríos, la superficie plantada es de 109 056 has, con una superficie cosechada de 103 021 ha y una producción de 592 877 t (MAG, 2018).

Los patógenos ingresan a la planta a través de los estomas o por pequeñas heridas del vegetal, lo que al entrar en contacto con las células vegetales, activan una serie de respuestas inmunitarias.

Existen defensas físicas que posee la planta por su propia naturaleza, como cutículas, tricomas, ceras, así como barreras químicas producidas por la propia planta. Sin embargo hay mecanismos que tienen que ver con la producción endógena o aplicación exógena de compuestos llamados elicitores cuya finalidad es de activar las reacciones de defensa, es decir inducir la producción de fitoalexinas o estimular cualquier mecanismo de defensa de la planta para

protegerse (Intagri, 2018).

Todos los mecanismos de resistencia que producen las plantas, sean propios o inducidos ayudan en los procesos de germinación de semilla, crecimiento celular, respiración, cierre de estomas, expresión de genes asociados a senescencia y especialmente resistencia a enfermedades.

La resistencia es definida como el desarrollo de la habilidad para tolerar dosis altas de tóxicos, los cuales resultarían letales a la mayoría de los individuos en una población normal de la misma especie (Badii y Garza, 2007), considerándose de aquello que la resistencia cruzada es la capacidad que tienen las plantas con un solo mecanismo de resistencia, resistir a uno o varios patógenos (De Prado y Cruz, s.f.).

Los cambios de niveles de varias fitohormonas resultan importantes al generar mecanismos de defensa para las plantas, destacándose también el ácido salicílico, que forma parte del grupo de compuestos sintetizados en plantas llamados fenólicos, que participan en muchas funciones metabólicas de las plantas como la síntesis de lignina, actividad alelopática y en algunos casos en la biosíntesis de compuestos relacionados a la defensa como las fitoalexinas (Rangel *et al.*, 2019).

El presente componente práctico tuvo como finalidad fortalecer los conocimientos sobre sistemas inmunológicos del cultivo de maíz, desde el punto de vista de resistencia cruzada.

CAPÍTULO I. MARCO METODOLÓGICO

1.1. Definición del tema caso de estudio

El presente documento establece las características de sistemas inmunológicos del cultivo de maíz, desde el punto de vista de resistencia cruzada, para obtener vegetales con grado de resistencia al ataque de plagas en general.

1.2. Planteamiento del problema

El cultivo de maíz es uno de los principales productos agrícolas que se destacan en nuestra zona, que es la Provincia de Los Ríos, especialmente porque las condiciones climáticas favorecen al desarrollo de este cultivo, incidiéndose en el ataque de plagas y enfermedades.

Uno de los principales problemas que afectan a los cultivos es la incidencia de plagas, enfermedades, malezas y nematodos que atacan. Por ellos es necesario obtener variedades o híbridos, resistentes ante tal situación.

Al igual que los humanos, las plantas disponen de un sistema inmunitario para defenderse, teniendo las células vegetales este recurso propio.

Los organismos que atacan a las plantaciones pueden ingresar por los poros, estomas, o a su vez por alguna herida que presente el vegetal; al entrar en contacto el microorganismo con el vegetal se activa una serie de respuestas inmunitarias, reforzándose las paredes celulares para evitar que los microorganismos ingresen a las demás células.

Si el sistema inmunitario no responde o es deficiente se provocan enfermedades en la mayoría de los cultivos causando pérdidas económicas.

1.3. Preguntas orientadas para el análisis del problema

¿Es importante el estudio de sistemas inmunológicos del cultivo de maíz (*Zea mays* L.)?

¿Cómo influye la resistencia cruzada en los sistemas inmunológicos del cultivo de maíz?

¿Qué sistemas inmunológicos existen en el cultivo de maíz?

1.4. Justificación

El maíz es uno de los productos agrícolas más importantes de la economía nacional, tanto por su elevada incidencia social, ya que casi las tres cuartas partes de la producción total proviene de unidades familiares campesinas, la mayoría de ellas de economías de subsistencia, como también por constituir la principal materia prima para la elaboración de alimentos concentrados (balanceados) destinados a la industria animal, muy en particular, a la avicultura comercial, que es una de las actividades más dinámicas del sector agropecuario.

Es necesario obtener plantas con un sistema inmune regulable para hacerla resistente a múltiples enfermedades sin disminuir su rendimiento. Durante mucho tiempo la ciencia se ha estado preguntado cómo activar un sistema de defensa de una planta donde y cuando se necesita, un campo en el que se acaba de producir un importante avance (Antama, 2017).

Los vegetales por poseer un sistema inmunitario deficiente es necesario generar mecanismos que aumenten estos sistemas, existiendo resistencia cruzada, es decir que la planta sea resistente a uno o más productos que posean el mismo modo de acción, por lo tanto es necesario utilizar herramientas para producir plantas transgénicas que sean más resistentes al ataque de microorganismos mediante resistencia cruzada.

1.5. Objetivos

1.5.1. General

Estudiar la información existente sobre sistemas inmunológicos del cultivo de maíz, con énfasis en resistencia cruzada.

1.5.2. Específicos

- Diagnosticar el estado del arte actual con referencia a resistencia cruzada.
- Establecer un banco de información con referencia a sistemas inmunológicos y resistencia en el cultivo de maíz.

1.6. Fundamentación Teórica

Ortega (2017) define que el maíz es quizás la planta cultivable con mayor diversidad de usos, aplicaciones, formas y condiciones de producción. Además de sus innumerables usos directos como alimentos y forrajes, se ha convertido en un ingrediente fundamental en productos industriales, en la obtención de aceites comestibles, almidones, jarabes, dextrosas, maltodextrinas, entre otros.

Bravo y León (2013) indican que el maíz es una especie de polinización abierta, lo que se facilita el flujo de genes desde las variedades transgénicas a las no transgénicas. El flujo de genes incorpora genes extraños en el pool genético de una población, a partir de una o varias poblaciones, eventualmente cambiando la estructura genética de las poblaciones naturales. Esto se llama también “contaminación genética”.

García *et al.* (2017) informan que la resistencia de la planta huésped al ataque de insectos se define como el conjunto de caracteres heredables que confiere protección contra el ataque de éstos. La importancia de emplear variedades resistentes se debe a que éstas contienen mecanismos de defensa desarrollados a lo largo de la co-evolución entre plantas e insectos.

Bravo y León (2013) señalan que es conocido que el Ecuador tiene los más altos niveles de biodiversidad por unidad de área en el mundo. A esto hay que añadirle que el Ecuador es también un país con una muy importante agrobiodiversidad; la región andina es uno de los mayores centros de origen de plantas cultivadas a nivel mundial. Aunque, el Ecuador no es el centro de origen de maíz, sí es un centro de diversidad de este cultivo. Se ha encontrado fitolitos de maíz con una antigüedad de más de seis mil años en los sitios Las Vegas y Real Alto, en la Provincia de Santa Elena, acompañados con piedras de molienda de concha e instrumentos para sembrar y procesar el maíz.

Turrent *et al.* (2014) manifiestan que varios investigadores de la etnobotánica estudiaron el binomio maíz-agricultor; ellos dieron a conocer las prácticas que conforman lo que aquí se denomina mejoramiento genético autóctono de maíz. Entre estas prácticas están: a) Mantener diferenciados varios tipos de maíz en sus predios (color, textura de grano, ciclo de desarrollo, razas) para varios usos específicos; b) Intercambiar selectivamente sus semillas entre vecinos; c) Introducir semillas de maíces alopátricos, a veces desde grandes distancias, y mezclarlas con las propias para favorecer su cruzamiento (ruta “semillapolen”) y así introducir nuevos alelos que amplían la diversidad en la población; d) Observar el desempeño de las plantas en campo donde son expuestas a los agobios bióticos y abióticos de su parcela; y e) Someter las mazorcas y semillas a selección visual en el granero, según su uso específico.

García *et al.* (2017) dicen que el proceso de identificación de variedades y de sus mecanismos de resistencia requiere de la participación de científicos de distintas áreas y de un trabajo interdisciplinario. Un modelo para el desarrollo y liberación de variedades con ventajas de resistencia al ataque de plagas de almacén se presenta en la figura 1. Entre los elementos más importantes destacan el estudio de fuentes de germoplasma resistente, las bases y los mecanismos de defensa.

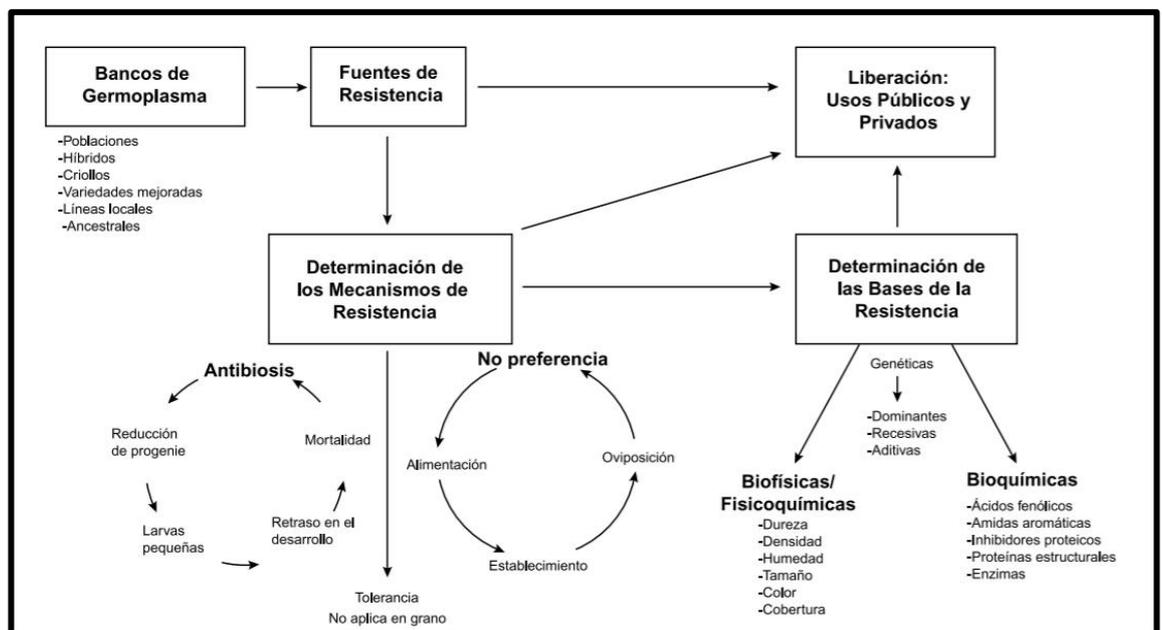


Fig. 1. Resistencia al ataque de plagas

Kato-Yamakake (2014) divulga que una de las preocupaciones de los investigadores desde la creación de los transgénicos mediante la tecnología del ADN recombinante en los años 80 y su liberación como cultivos comerciales, es el posible riesgo que representa para el ambiente ecológico de la diversidad genética de los cultivos y especies silvestres emparentadas. En maíz, esa preocupación se concentró en México, porque existe entre sus productores la mayor variación genética de este cultivo en el mundo y se encuentra la mayoría de las poblaciones de teocintle, planta ancestral del maíz.

Serratos *et al.* (2018) explican que teniendo en cuenta esta amplia gama de promotores y sobre la base del gene que se quiera insertar y el tejido o la etapa de desarrollo en los cuales se va a expresar el gene, es muy sencillo identificar el promotor apropiado. Algo que probablemente sea más importante considerar es el gene para el carácter de interés. Existen diversos tipos de genes asociados con distintos productos útiles para el maíz o las plantas en general.

De acuerdo a los tipos de genes que se podrían insertar, los principales caracteres de interés para los programas de mejoramiento de maíz en todo el mundo se vinculan con la resistencia a cuatro tipos de plagas del cultivo: los insectos, las bacterias, los virus y los hongos. No se ha comprobado si todos los genes enlistados producen un genotipo apropiado o mejoran el grado de resistencia, pero éstas son las opciones que tienen los ingenieros genéticos (Serratos *et al.*, 2018).

García *et al.* (2017) expresan que el germoplasma de maíz presenta niveles de resistencia muy diversos. La liberación y uso de variedades modernas se ha acompañado de reportes que indican un incremento en la susceptibilidad a plagas.

Kato-Yamakake (2014) menciona que desarrollar una variedad transgénica implica introducir al genoma de la especie ADN adicional de otros organismos en forma de plásmidos transformados por integración de genes a su estructura (promotores, genes marcadores para selección, y los genes que codifican las características que se quiere transferir); un transgen puede localizarse al azar en

diferentes cromosomas en las células transformadas y puede estar formando duplicaciones en serie.

García *et al.* (2017) aclaran que los criterios para detectar y evaluar resistencia en el grano de maíz contra el ataque de *S. zmais* se fundamentan en la cuantificación del daño causado por el insecto (porcentaje de daño, pérdidas de peso del grano y nivel de infestación), parámetros biológicos y reproductivos del insecto en contacto con el grano (sobrevivencia, oviposición, cantidad y aptitud de la progenie, tiempo de desarrollo e índice de susceptibilidad) y características fenotípicas del grano asociadas con la resistencia (aspectos biofísicos y bioquímicos).

Algunos métodos consideran relevante clasificar el tipo de bioensayo (libre elección o confinamiento en variedades de maíz), el lugar donde ocurre la infestación (campo o almacén) y la forma de almacenamiento (mazorca con o sin cubierta o en grano). Recientemente, la implementación de nuevas técnicas se basa en el conocimiento de las bases bioquímicas de la resistencia, las cuales han permitido disminuir tiempo, costos y variabilidad en la selección (García *et al.*, 2017).

Barros-Ríos *et al.* (2014) sostienen que el control de plagas se ha planteado mediante diversos métodos, entre ellos, la utilización de insecticidas, la lucha biológica (uso de parasitoides o confusión sexual), la modificación de las prácticas agronómicas y el control genético, ya sea con resistencias monogénicas (transgenes) o poligénicas (mejoramiento genético convencional). El mejoramiento genético convencional se perfila como una medida eficaz y con buena aceptación social a la hora de combatir el ataque de plagas.

García *et al.* (2017) comentan que se ha establecido que en las variedades resistentes a insectos funciona alguno de los siguientes mecanismos de defensa: no preferencia, antibiosis y tolerancia. La no preferencia se define como la capacidad que tiene una planta para mantener alejados a los insectos evitando que la utilicen como sitio de refugio, oviposición o alimento. La antibiosis consiste en la acción de sustancias que son producidas por las plantas y que afectan

negativamente el desarrollo, reproducción o supervivencia de los insectos. La tolerancia involucra la capacidad de una planta para crecer, reparar daños y reproducirse aún bajo presión de poblaciones de insectos que matarían a plantas susceptibles, pero es un mecanismo que no opera en granos y semillas debido a su estado de latencia.

Barros-Ríos *et al.* (2014) afirman que optimizar el desarrollo de nuevas variedades requiere entender y caracterizar los mecanismos de defensa natural del maíz frente a las plagas. Estos mecanismos han sido tradicionalmente divididos en estáticos o defensas constitutivas y activos o defensas inducidas. Los mecanismos de defensa constitutivos están integrados por aquellos compuestos que la planta sintetiza, acumula y almacena durante el proceso de desarrollo normal, de esta forma, cuando la planta es atacada dispone de los medios para disuadir o matar al herbívoro. A diferencia de los mecanismos constitutivos, los mecanismos inducidos son aquellos en los que la síntesis de los compuestos de defensa es en respuesta al ataque del insecto.

Dentro de los mecanismos de defensa inducidos en el maíz se ha estudiado la acumulación de metabolitos tóxicos o repelentes e inhibidores nutricionales como respuesta directa al ataque de las plagas en el maíz, así como la atracción de enemigos naturales o la comunicación planta-planta como respuestas indirectas. En relación a los mecanismos de defensa constitutivos se han estudiado metabolitos repelentes o atrayentes por contacto o volátiles y compuestos antibióticos (proteínas, benzoxacinonas, ácidos fenólicos solubles), así como diferentes caracteres morfológico-estructurales de la planta (altura, dureza del tallo y de las hojas o presencia de tricomas). Además, existe un interés científico creciente en el estudio de la estructura y composición de la pared celular como uno de los mecanismos de defensa constitutivos estructurales más prometedores frente al ataque de la segunda generación de las larvas de las plagas (Barros-Ríos *et al.*, 2014).

Paliwal (2017) reporta que por lo general, muchos de los programas de mejoramiento de maíz incluyen la resistencia a enfermedades como uno de los caracteres importantes para el mejoramiento y selección, junto con otros

caracteres agronómicos. La mayor diferencia entre el proceso para la selección de cualquier carácter y la selección de caracteres para la resistencia a enfermedades es que esta última es un sistema de dos variables -hospedante y patógeno- en el cual ambos juegan un papel de igual importancia cuando se consideran los cruzamientos para resistencia a enfermedades.

El elemento hospedante, o sea el germoplasma de maíz, debería tener genes de resistencia a la enfermedad objeto de estudio, o en caso contrario, los genes de resistencia deben ser transferidos de una fuente adecuada a la población para su mejoramiento (Paliwal, 2017).

En la Estación Experimental Litoral Sur del INIAP, se inocularon 32 híbridos comerciales y experimentales de maíz de grano amarillo utilizando la técnica del frotamiento en plántulas de maíz, con un aislamiento de SCMV colectado en la Estación Experimental Portoviejo del INIAP. Dos semanas después de la inoculación, se evaluó la incidencia de los síntomas de la enfermedad en las hojas nuevas. El experimento tuvo tres réplicas biológicas en un diseño de bloques completos al azar, con 20 plantas por tratamiento. No existieron híbridos resistentes, lo que indica la necesidad de incorporar genes de resistencia a SCMV en el mejoramiento genético de poblaciones de maíces tropicales de grano amarillo duro de las empresas públicas y privadas (Zambrano, 2017).

Camarena-Gutiérrez (2014) mencionan que las plantas han desarrollado numerosas estrategias desde que colonizaron los ecosistemas terrestres, para hacer frente a los diversos retos bióticos y abióticos. Una de las más eficaces es la capacidad de los sistemas de raíces, para establecer relaciones simbióticas mutualistas benéficas con los microorganismos.

Bayer Crop Science (2017) difunde que resistencia genética es una selección por altas dosis de herbicidas, mientras que la resistencia metabólica es una selección por dosis reducidas de los herbicidas, por tanto se define que:

- Resistencia cruzada: es una forma específica de resistencia genética. Las malezas son resistentes a diferentes ingredientes activos con el mismo modo

de acción.

- Resistencia múltiple: es una forma específica de resistencia metabólica. Las malezas son resistentes a herbicidas con diferentes modos de acción.

De Prado y Cruz (2014) informa que el término resistencia suele ir adjetivado con diversos modificadores que hacen alusión a la posible pluralidad existente tanto en los mecanismos de resistencia que posee un individuo. Surgen así los conceptos de resistencia cruzada y resistencia múltiple.

- Resistencia cruzada: Aquella por la que un individuo es resistente a dos o más plaguicidas, selectividad, debido a un solo mecanismo de resistencia.
- Resistencia múltiple: Aquella por la que un individuo posee más de un mecanismo de resistencia a uno o varios ataques de plaguicidas.

La resistencia se trata del método por el cual una planta resistente supera el efecto de ataque. El mecanismo presente influirá en el tipo de resistencia, en particular el perfil de la resistencia cruzada y la respuesta a las dosis (Bayer Crop Science, 2017).

Labrada (2013) señala que la resistencia de plantas es la capacidad hereditaria natural de algunos biotipos dentro de una población para sobrevivir al efecto de un herbicida en uso. Se trata de poblaciones de plantas otrora susceptibles al herbicida en uso y que con el transcurso del tiempo se convierten en resistentes. Tal resistencia es un producto claro de la presión de selección impuesta por el uso repetido y frecuente de un mismo herbicida sobre una población de malezas. La resistencia puede ser:

- Resistencia múltiple: ocurre cuando se desarrolla resistencia a varios herbicidas con dos o más mecanismos de acción diferentes en la misma planta. Por ejemplo, resistencia a inhibidores de la fotosíntesis y a los inhibidores ALS.
- Resistencia cruzada: es el resultado de resistencia a dos o más herbicidas debido a la presencia de un mecanismo de resistencia individual. Un herbicida seleccionó al biotipo resistente, pero este biotipo también es resistente a otros herbicidas con igual modo de acción.

Para Syngenta (2016), la resistencia es la capacidad natural y heredable de algunos biotipos de plantas, de una población determinada, para sobrevivir a un tratamiento, que debería controlar con eficacia esa población en las condiciones normales de uso. Los diferentes mecanismos de resistencia que presenta un biotipo generan, a su vez, distintas definiciones; así se denomina resistencia cruzada cuando existe resistencia a dos o más productos que actúan sobre un mismo mecanismo fisiológico.

Bayer Crop Science (2017) manifiesta que los mecanismos de resistencia más comunes son:

- a. La alteración del punto de acción dentro de una planta, puede significar que un plaguicida ya no se fija en su lugar normal de acción debido a un cambio en la estructura del objetivo, permitiendo a la planta sobrevivir así al tratamiento, que basa su actividad en este objetivo.
- b. El metabolismo incrementado significa que la planta resistente puede degradar un plaguicida a sustancias no fitotóxicas más rápidamente que una planta sensible normal y, por lo tanto, sobrevivir al tratamiento de forma parecida a muchos cultivos.
- c. La compartimentación o aislamiento significa que el plaguicida es apartado de las partes sensibles de la célula vegetal y llevado a un lugar tolerante, como una vacuola, donde es inocuo para el crecimiento.

Hernández y Gómez (2015) divulgan que la introducción de plantas resistentes constituye una de las medidas fundamentales para el combate de las enfermedades virales en campo. Un ejemplo fehaciente de las posibilidades de lograr un control adecuado –sin uso de insecticidas para el control de vectores– es hoy la resistencia mediante transgénicos y en especial el caso de la estrategia conseguida con empleo de un gen.

Paliwal (2017) explica que la resistencia es la capacidad de la planta para reducir el crecimiento y desarrollo del patógeno -o parásito- después que ha habido contacto entre el hospedante y el patógeno o después que este ha iniciado su desarrollo o se ha establecido.

De acuerdo a Hernández *et al.* (2015) indican que la resistencia del hospedante a través de la generación de genotipos resistentes parece ser la medida de control más segura, tanto económica como ambientalmente. El desarrollo de nuevas variedades ha sido la solución más práctica para el control de diversas enfermedades. La generación de plantas resistentes parece ser la alternativa de control más efectiva y viable.

Camarena y De la Torre (2017) expresan que se ha observado que el primer patógeno infectante, o algún daño, “inmuniza” a la planta contra infecciones posteriores por patógenos homólogos, aun cuando la planta no lleve genes determinantes de la resistencia específica del cultivar. Obviamente, el primer patógeno infectante, o un daño, “indujo” la expresión de reacciones de resistencia contra subsecuentes infecciones de patógenos, independientemente si son virus, hongos o bacterias. Esta capacidad de las células para repeler los ataques subsecuentes, se dispersa a través de toda la planta. A esta respuesta se le llama resistencia sistémica adquirida.

Paliwal (2017) menciona que la resistencia es una característica heredable y es controlada principalmente por el sistema genético nuclear y en algunos casos por el citoplasmático. La resistencia citoplasmática es controlada por unidades hereditarias dentro del citoplasma, las que se suponen ubicadas dentro de los cloroplastos y del mitocondrio. La resistencia citoplasmática es transmitida a través del progenitor femenino y puede ser incorporada por la retro-cruza con el progenitor recurrente deseado, como padre, con la fuente parental deseada, como madre.

Camarena y De la Torre (2017) aclaran que si sobreviven a un ataque inicial de patógenos ya sean virus, hongos o bacterias; las plantas pueden protegerse contra ataques posteriores de ellos. También se puede advertir la protección después de un ataque de artrópodos herbívoros, un daño mecánico o después del contacto con algunos químicos.

Ojito y Portal (2015) sostienen que muchas plantas son invadidas por microorganismos patógenos que deterioran su crecimiento y reproducción. Las

plantas poseen un sistema de defensa que va desde barreras físicas hasta señales moleculares y sistémicas, similares a la inmunidad innata en animales. Este sistema actúa de dos formas fundamentales: la primera responde a moléculas comunes de muchas clases de microorganismos patógenos y no patógenos y la segunda responde directamente a factores de virulencia de los patógenos o a sus efectores en el hospedante.

El conocimiento detallado del sistema inmune de las plantas y las relaciones moleculares evolutivas que se establecen entre los dos organismos permitirá una mejor comprensión de la interacción planta-patógeno. Ello redundaría en una mejor manipulación genética de las plantas con el objetivo de lograr resistencia a patógenos con una mejora de las cosechas para la producción de alimentos. En este trabajo se realiza un compendio sobre las características, interacciones moleculares y bioquímicas de los dos mecanismos de defensa en las plantas, así como las estrategias empleadas por los patógenos para suprimir ambas fases de la inmunidad (Ojito y Portal, 2015).

Según Escobar (2013), las plagas y otros patógenos como bacterias, hongos y virus, han desarrollado multitud de estrategias para esquivar los mecanismos de defensa de la planta. Sin embargo, las plantas disponen de un sistema inmune específico que consiste en el reconocimiento de la agresión y del propio agresor y el disparo de toda una cascada de respuestas de defensa cuyo cometido es alertar al resto de órganos vegetales de la existencia de peligro y, de este modo, preparar sus estructuras para ofrecer una resistencia generalizada en lo que se denomina “Respuesta Sistémica”.

El mismo autor indica que esto requiere de la existencia de moléculas señalizadoras que se movilizan a través de los tejidos vegetales e inducen la expresión de genes relacionados con la defensa, las hormonas vegetales. Son ellas las protagonistas a nivel molecular de esta historia consiguiendo, cual eficientes emisarias, transmitir el tipo de contraataque necesario para vencer en la resistencia al patógeno o plaga.

Zavala (2010) comenta que las defensas de las plantas pueden ser

constitutivas, cuando se encuentran activas todo el tiempo, o inducidas, cuando aumentan solo luego de un ataque. Las defensas constitutivas incluyen desde pelos glandulares (tricomas) y espinas hasta compuestos químicos repelentes, antinutritivos o toxinas. Sin embargo, cuando las plantas no son atacadas por herbívoros, invertir en defensas puede resultar costoso, ya que los recursos empleados en defensas de este tipo podrían ser utilizados para otras funciones vitales como el crecimiento y la reproducción.

El mismo autor menciona que muchas plantas invierten recursos en la producción de compuestos de defensa solo cuando perciben el ataque de los insectos herbívoros, por lo que permiten una mayor eficiencia en la utilización de recursos.

Rodríguez, *et al.* (2014) informan que los elicitores son moléculas de origen biótico, capaces de estimular mecanismos defensivos en las plantas, que pueden ser aplicados de forma preventiva o directa a las plantas. Estas sustancias desencadenan en las plantas una serie de mecanismos defensivos, que provocan una resistencia sistémica ante el ataque de los patógenos. Dentro de estos mecanismos se incluyen el incremento en la activación de enzimas tales como la fenilalanina amonio liasa (PAL), la cual es clave en la síntesis de metabolitos defensivos importantes, donde se destacan las fitoalexinas. También se inducen otras enzimas defensivas entre las que se encuentran: β -1,3 glucanasas, quitinasas, quitosanasas, entre otras.

Sepúlveda, *et al.* (2015) señalan que las plantas han desarrollado diversas estrategias de defensa contra condiciones de estrés biótico y abiótico. Para defenderse del daño ocasionado por la herida y el ataque por insectos o microorganismos patógenos, las plantas sintetizan enzimas que degradan la pared celular de microorganismos o que tienen la capacidad de inactivar tóxicos de origen microbiano. La composición y la estructura de la pared celular vegetal también cambian, formando una barrera más rígida y menos digerible para insectos.

Estas respuestas de defensa a su vez, se combinan con el desarrollo de estructuras contra sus depredadores, tales como las espinas, las espigas, los tricomas y los pelos glandulares. Así mismo y como parte de la protección química, otra estrategia utilizada por las plantas es la producción de metabolitos secundarios con actividad antimicrobiana, en contra de herbívoros, o con actividad antioxidante (Sepúlveda, *et al.* 2015).

La enorme diversidad fitoquímica y el largo tiempo de evolución de este metabolismo han resultado en interacciones de complejidad creciente. En el caso de las interacciones entre plantas e insectos, por ejemplo, ciertos compuestos con estructuras muy similares pueden ejercer actividades muy disímiles, desde insecticidas hasta repelentes o incluso atrayentes. Tamaña variedad de respuestas, resultado de una compleja coevolución, no sólo resulta fascinante desde el punto de vista biológico, sino que también acarrea consecuencias económicas importantes (Vivanco *et al.*, 2014).

Rodríguez, *et al.* (2014) indican que entre los elicitores se encuentran los oligómeros de glucano, ácido galacturónico y quitosana. En cuanto a la quitosana se le ha prestado especial interés en los últimos años por su doble efecto: inhibir el crecimiento micelial de algunos hongos fitopatógenos y activar mecanismos defensivos en las plantas, lo cual brinda la posibilidad de utilizar estos principios activos en el control de enfermedades en cultivos de interés económico. Este elicitador y sus derivados han demostrado que con la aplicación preventiva de estos a las plantas, se logra además de la estimulación en algunas de las enzimas defensivas, una disminución de los síntomas de la enfermedad.

García y Pérez (2014) argumentan que la base fisiológica y bioquímica de la resistencia de plantas al ataque de patógenos, hongos y bacterias; se encuentra relacionada con la biosíntesis de metabolitos secundarios implicados en los procesos infecciosos. Muchos cambios bioquímicos ocurren en las plantas después de una infección y algunos de estos cambios se han asociado con la expresión del mecanismo de defensa, produciendo sustancias llamadas fitoalexinas.

Vivanco *et al.*, (2014) sostienen que las plantas, organismos sésiles, están obligadas a discriminar entre los diferentes retos que les plantea su entorno y responder a ellos. Estas respuestas a su ambiente biótico y abiótico les permiten la mejor distribución de sus recursos para crecer, reproducirse y defenderse. No debe, pues, sorprendernos que gran parte de las reacciones de defensa se reflejen en una diversidad bioquímica que tiene muy pocos paralelos con otros grupos de organismos. De hecho, el repertorio bioquímico de las plantas es único.

López *et al.* (2015) expresan que el ácido salicílico, el cual fue utilizado en este trabajo, se obtiene por medio del tratamiento de la sal de un fenol con dióxido de carbono, que produce el reemplazamiento de un hidrógeno anular por el grupo carboxilo, conociéndose esta reacción con el nombre de Kolbe, mediante la cual se obtiene el ácido ortobenzoico o ácido salicílico.

Larqué–Saavedra, *et al* (2014) corroboran que los primeros estudios para ver el efecto de la aplicación del ácido salicílico (AS) en plantas, reportaron que esta molécula favorece el proceso de enraizamiento en frijol y el cierre estomático. Se han publicado desde entonces numerosos artículos que dan constancia de que el AS tiene efectos positivos en las plantas cultivadas.

León (2017) señala que las hormonas vegetales llamadas ácido salicílico (SA), ácido jasmónico (JA) y etileno (ET) desempeñan un papel crucial en las respuestas de defensa inducidas contra el estrés biótico y abiótico. Utilizando *Arabidopsis* como planta modelo, se investigó la respuesta SA / JA bajo una serie de dietas basadas en medio nutritivo Murashige y Skoog (MS).

Los bioensayos con el hemibiotrófico *Pseudomonas syringae* DC3000, un patógeno sensible al SA, donde se utilizó plantas cultivadas con altos niveles de nitrógeno y bajo contenido de azufre, mostraron una reducción del porcentaje de infección. Además por otro lado, las plantas con niveles elevados de calcio (Ca+) causaron la activación del gen PDF1.2 dando como resultado una expresión de GUS en comparación con su control (plantas con medio MS estándar). Además, las plantas tratadas con Ca+ presentaron una mayor resistencia a patógenos necrotróficos *Alternaria brassicicola* y *Botrytis cinerea*, demostrando el efecto

supresor de Ca de los patógenos sensibles a la inducción de JA / ET. En general, hemos demostrado que un cambio en la nutrición de las plantas (ejemplo con N, Ca y S) modula fuertemente la defensa y la inmunidad vegetal (León, 2017).

Acurio (2017) indica que la capacidad antagónica de *Bacillus subtilis* se evaluó mediante una escala de severidad diseñada en función de la cantidad de lesiones causadas por el hongo. Determinado así el potencial de esta cepa de *Bacillus subtilis* como controlador biológico contra *Alternaria* spp. tanto en cultivo como en postcosecha bajo condiciones controladas.

Zambrano (2017) acota que la resistencia genética es la manera más eficiente de controlar las enfermedades ya que no tiene un costo adicional para el agricultor y no contamina el ambiente. En caso de enfermedades virales, muchas de las técnicas de inoculación incluyen la utilización de los vectores naturales que transmiten el virus. Virus del rayado fino del maíz (MRFV) y virus del mosaico de la caña de azúcar (SCMV) están entre los principales virus que afectan al cultivo de maíz en los valles altos y trópicos de Latinoamérica.

Ruiz y Burgos (2016) sostienen que el fyto-6 es un producto natural que induce la resistencia de plagas y enfermedades, tiene como ingrediente activo complejos de oligosacáridos, no es tóxico, no deja residuos, es totalmente biodegradable, no afecta a la fauna auxiliar y no es considerado como plaguicida. De esta manera contribuye a una agricultura más sostenible y saludable. Mejora la respuesta de la planta al estrés gracias a su acción biológica original y sinérgica de sus constituyentes. La sustancia activa no es translocada en la planta, sino que los receptores de la membrana pueden reconocer el complejo oligosacárido incluso a nivel de los estomas, sin penetrar en la planta. De esta manera se transmite una señal bioquímica a través de la planta manteniendo el vigor de los cultivos gracias a la estimulación de enzimas implicadas en la fotosíntesis ayudando a producir una resistencia al ataque de plagas y enfermedades.

1.7. Hipótesis

Hi= los sistemas inmunológicos del cultivo de maíz, no mejorarían desde el punto de vista de resistencia cruzada.

Ho= los sistemas inmunológicos del cultivo de maíz, mejorarían desde el punto de vista de resistencia cruzada.

1.8. Metodología de la investigación.

Para el desarrollo del presente documento se recopiló información bibliográfica de libros, revistas, artículos científicos y páginas web, las que fueron sometidas a técnicas de parafraseo y síntesis de los sistemas inmunológicos del cultivo de maíz, desde el punto de vista de resistencia cruzada.

CAPÍTULO II. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Situaciones detectadas

El maíz es el principal cultivo campesino y es importante, no sólo por la superficie que con él se siembra, sino por lo que representa para el mundo. Se calcula que se siembra casi en todos los países de América Latina; se estima que ocho de cada diez productores agrícolas siembran esta gramínea.

Las cosechas de maíz se han incrementado lo que ha ayudado a combatir el hambre en poblaciones de constante crecimiento que mantienen escasas y sequías del producto.

En la actualidad, los precios del cultivo se regulan con el mercado internacionales debido al proceso de apertura comercial los cuales son muy fluctuantes y en ocasiones registran tendencias a la baja, esto repercute de manera directa sobre los productores agrícolas nacionales. Los bajos precios afectan la productividad del cultivo del maíz, porque los agricultores no cuentan con el recurso económico necesario para la adquisición del paquete tecnológico adecuado.

Por otra parte al analizar el maíz amarillo, se observa que este se encuentra dentro de los principales productos agrícolas en el país, tiene una gran importancia debido a que constituye la base de una de las principales cadenas productivas la cual contribuye significativamente a salvaguardar la seguridad alimentaria del Ecuador sirviendo de suministro de alimento a otros sectores de producción como consumo animal a través de balanceados (Baca, 2016).

Sin embargo, es necesario que el cultivo de maíz sea resistente a diversos patógenos, no repercutiendo en los daños al cultivo y aumentando considerablemente la producción, por ello los investigadores están tratando de ingresar al mercado productos transgénicos donde el costo de producción sea bajo, es decir poca inversión pero con excelente beneficio neto.

2.2. Soluciones planteadas

Las plantas transgénicas que se cultivan actualmente fueron creadas para mejorar características agronómicas, como la resistencia a insectos o la tolerancia a herbicidas. En este caso, los principales beneficios los percibe el agricultor a través de la simplificación en el manejo, el aumento en los rendimientos y la disminución de los costos de producción. Los estudios demuestran también que la adopción de estos cultivos está teniendo un gran impacto positivo en la economía de los países como un todo, por las consecuencias sociales y económicas de la actividad y los incrementos en las exportaciones.

También se beneficia el ambiente gracias a la disminución en el uso de insecticidas, el reemplazo de herbicidas por otros de menor toxicidad y por la sinergia con prácticas conservacionistas como la siembra directa, que preserva la estructura y la humedad del suelo. El aumento de la productividad de los cultivos permite, además, preservar los hábitats naturales sin utilizarlos para la producción agrícola y usar el agua y el suelo más eficientemente (Argenbio, 2017).

Al aumentar la capacidad inmune mediante resistencia cruzada se ha logrado considerablemente disminuir el uso de pesticidas agrícolas, por lo que aplicando esta tecnología ha desarrollado prácticas agrícolas sustentables y producción de materiales con recursos renovables. Además permite utilizar programas de conservación de suelos, lo que conlleva a obtener productos con vitaminas y minerales, repercutiendo en mejorar la calidad de vida de los productores y la obtención de productos útiles que mejoran la salud humana.

Lo planteado conlleva a generar cultivos resistentes a patógenos y que su producción sea elevada, mejorando los ingresos económicos de las familias que se encargan de producirlo.

2.3. Conclusiones

1. Las pérdidas en los cultivos por plagas, enfermedades, malezas y/o nematodos han sido de mayor relevancia, afectando la producción agrícola mundial.

2. Existe modificación genética de las plantas, existiendo en la actualidad en el mercado productos transgénicos de los cultivos como maíz, soya, fréjol y algodón.

3. La introducción de productos químicos aplicados a los cultivos con el paso del tiempo redujo su dosificación y épocas de aplicación. Sin embargo, estos afectan la etapa de crecimiento de los cultivos y en algunos casos provoca disminución en los rendimientos debido a la disminución de la capacidad inmunológica.

4. Con la introducción de la ingeniería genética es más eficaz el uso de plaguicidas, con la finalidad de controlar las enfermedades de las plantas sin algún costo adicional para los productores y no contaminando el medio ambiente.

2.4. Recomendaciones

Concientizas a los agricultores sobre la siembra del cultivo de maíz con semilla de buena calidad sometidas al proceso de ingeniería genética para incrementar la rentabilidad con menor costo de producción.

Promover la producción de cultivos resistentes a plagas y enfermedades, mediante la ingeniería genética.

Incentivar el uso de nuevas tecnologías para la producción de elicitors y sustancias de defensa, con el fin de disminuir el uso de agrotóxicos.

BIBLIOGRAFÍA

- Acurio, D. 2017. Memorias del 3er Simposio en Fitopatología, Control Biológico e Interacciones Planta-Patógeno. Disponible en Editorial USFQ Universidad San Francisco de Quito Octubre 2017, Quito, Ecuador ISBN: 978-9978-68-113-8
- Antama, F. 2017. Desarrollan arroz con un sistema inmunológico ajustable resistente a múltiples enfermedades. Disponible en <http://fundacion-antama.org/desarrollan-arroz-con-un-sistema-inmunologico-ajustable-resistente-a-multiples-enfermedades/>. Consultado el 14 de noviembre del 2018
- Argenbio. 2017. Qué beneficios ofrecen los cultivos transgénicos. Disponible en <http://www.argenbio.org/index.php?action=faq&opt=7?action=faq&faq=10>. Consultado el 4 de diciembre del 2008.
- Baca, L. 2016. La producción de maíz amarillo en el Ecuador y su relación con la soberanía alimentaria. Tesis de Grado. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Facultad de Economía. Pág. 8.
- Badii, M; Garza, V. 2007. Tipos de resistencia en insectos. CULCyT//Enero–Febrero, 2007. Año 4, No 18. Disponible en <http://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/460/439>. Consultado el 10 de diciembre del 2018.
- Barros-Ríos, J., Malvar, R., Santiago, R. 2014. Función de la pared celular del maíz (zea mays l.) Como mecanismo de defensa frente a la plaga del taladro. (Ostrinia Nubilalis Hüb. y Sesamia Nonagrioides Lef.). REB 30(4): 132

- Bayer Crop Science. 2017. Tipos de resistencia cruzada. Disponible en https://www.cropscience.bayer.cl/malezas/resistencia/tipos_mecanismos.php. Consultado el 12 de enero del 2019.
- Bravo, E., León, X. 2013. Monitoreo participativo del maíz ecuatoriano para detectar la presencia de proteínas transgénicas. La Granja. Vol. 17(1): 16-24. ISSN: 1390-3799
- Camarena, G., De la Torre, R. 2017. Resistencia sistémica adquirida en plantas: estado actual Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, vol. 13, núm. 2, pp. 157-162
- Camarena-Gutiérrez. 2014. Interacción planta-hongos micorrízicos arbusculares. Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente. *versión Online* ISSN 2007-4018 *versión impresa* ISSN 2007-3828. Rev. Chapingo ser. cienc. for. ambient vol.18 no.3 Chapingo. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.11.093>. Consultado el 17 de enero del 2018.
- De Prado, R., Cruz, H. 2014. Mecanismos de resistencia de las plantas a los herbicidas. Disponible en http://www.inia.org.uy/estaciones/la_estanzuela/webseminariomalezas/articulos/depradorrafael.pdf. Consultado el 15 de diciembre del 2018.
- Escobar, R. 2013. Estrategias de defensa vegetal frente a patógenos y plagas. Vol 3, Nº 130. Departamento de Mejora Vegetal en la Estación Experimental Algarrobo-Costa, Málaga. La Mayora- CSIC, 29750.
- García, R.; Pérez, R. 2014. Fitoalexinas: mecanismo de defensa de las plantas Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, vol. 9, núm. 1, pp. 5- 10 Universidad Autónoma Chapingo Chapingo, México
- García, S., Burt, A., Serratos, J., Díaz, D., Arnason, J., Bergvinson, D. 2017. Defensas naturales en maíz contra *Sitophilus zeamais*. Defensas naturales en el grano de maíz al ataque de *Sitophilus Zeamais*

(Motsch, Coleoptera: Curculionidae): mecanismos y bases de la resistencia. REB 22(3): 138-145

Hernández, L., Sandoval, J., Mahuku, G., Benítez, I., Cruz, S. 2015. Genética de la resistencia al complejo mancha de asfalto en 18 genotipos tropicales de maíz. Revista Fitotecnia Mexicana, vol. 38, núm. 1, 2015, pp. 39-47 Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. Chapingo, México

Hernández, R., Gómez, R. 2015. Pruebas de resistencia en plantas transformadas genéticamente al virus de la mancha anular de la frutabomba. Fitosanidad, vol. 10, núm. 3, septiembre, p. 243 Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal La Habana, Cuba.

Intagri. 2018. La Inducción de Defensa en las Plantas a través de Elicitores. Disponible en <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/la-induccion-de-defensa-en-las-plantas-a-traves-de-elicitores>

Kato-Yamakake, T. 2014. Variedades transgénicas y el maíz nativo en México. Agricultura, sociedad y desarrollo. Volumen 1, Número 2.

Labrada, R. 2013. La resistencia a los herbicidas. Disponible en http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/4874/13/A_NEXO%2013.pdf. Consultado el 13 de enero del 2019.

Larqué–Saavedra, A., Martín–Mex, R., Nexticapan–Garcéz, A., Vergara–Yoisura S., Gutiérrez–Rendón, M. 2014. Efecto del ácido salicílico en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Revista Chapingo. Serie horticultura, *versión On-line* ISSN 2007-4034 *versión impresa* ISSN 1027-152X. Rev. Chapingo Ser.Hortic vol.16 no.3

León, A. 2017. Pruebas bajo invernadero de cepas de *Bacillus subtilis* como agente de biocontrol de *Alternaria* spp. en *Brassica oleracea* var itálica.

pag 67. Disponible en <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13545>. Consultado el 20 de enero del 2019.

López R., Camacho, V., Gutiérrez, M. 2015. Aplicación de ácido salicílico para incrementar el rendimiento agronómico en tres variedades de trigo Terra Latinoamericana, vol. 16, núm. 1, pp. 43-48 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.

Ojito, K., Portal, O. 2015. Introducción al sistema inmune en plantas. *Biotecnología Vegetal* Vol. 10, No. 1: 3 - 19, enero - marzo, 2015 ISSN 1609-1841

Ortega, R. 2017. Maíz transgénico: riesgos y beneficios. Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos de la Universidad de Sonora. rortega@guaymas.uson.mx. Consultado de 4 de enero del 2019

Paliwal, R. 2017. Mejoramiento para resistencia a las enfermedades. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/003/X7650S/x7650s17.htm>

Rangel, G.; Castro, E.; Beltran, E.; Reyes, H.; García, E. 2019. El ácido salicílico y su participación en la resistencia a patógenos en plantas. *Biológicas*, Diciembre 2010, 12(2): 90–95. Disponible en <file:///C:/Users/Mary/Downloads/83-334-1-PB.pdf>

Rodríguez, A., Ramírez, M., Falcón, A., Guridi, F., Cristo, E. 2014. Estimulación de algunas enzimas relacionadas con la defensa en plantas de arroz (*Oryza sativa*, L.) obtenidas de semillas tratadas con quitosana. *Cultivos Tropicales*, vol. 25, núm. 3, pp. 111-115 Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas La Habana, Cuba

Ruiz, Y., Burgos, R. 2016. Implementación de programas de fungicidas más inductores de resistencia para el control de enfermedades de fruto en una plantación de cacao (*Theobroma cacao* L.), en el Cantón Montalvo, Provincia de Los Ríos. Disponible en

<http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/49000/3023/1/TE-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000006.pdf>

Sepúlveda, G., Porta, D., Rocha 2015. La Participación de los Metabolitos Secundarios en la Defensa de las Plantas . Revista Mexicana de Fitopatología [en línea] 2003, Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61221317>> ISSN.

Serratos, J., Willcox, M., Castillo, F. 2018. Flujo genético entre maíz criollo, maíz mejorado y teocintle: implicaciones para el maíz transgénico. Disponible en <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/741/63197.pdf>

Syngenta. 2016. Resistencia y Tolerancia. Disponible en <http://nomalezas.com.ar/resistencia-y-tolerancia/>

Turrent, A., Serratos, J., Mejía, H., Espinosa, A. 2014. Liberación comercial de maíz transgénico y acumulación de transgenes en razas de maíz Mexicano. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 32 (4): 257 – 263.

Vivanco, Loyola-Vargas, V., Flores, E. 2014. Mecanismos químicos de defensa en las plantas Los vegetales poseen mecanismos de defensa que reflejen una gran diversidad bioquímica, resultado de interacciones complejas

Zambrano, L. 2017. Memorias de la XXII Reunión Latinoamericana del Maíz 2017. Editorial USFQ Universidad San Francisco de Quito Septiembre 2017, Quito, Ecuador

Zavala, J. 2010. Respuestas inmunológicas de las plantas frente al ataque de insectos. Volumen 20 número 117 junio - julio 2010