

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Maíces transgénicos: riesgos, oportunidades y retos

POR:

ALICIA GARCÍA MORENO

MONOGRAFÍA

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL

TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Maíces transgénicos: riesgos, oportunidades y retos

POR:

ALICIA GARCÍA MORENO

MONOGRAFÍA:

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL

TÍTULO DE:

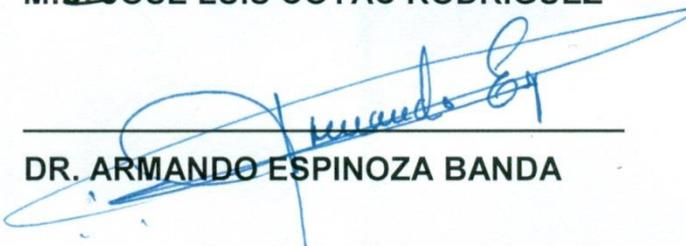
INGENIERO AGRÓNOMO

APROBADA POR:

PRESIDENTE:


M.C. JOSÉ LUIS COYAC RODRÍGUEZ

VOCAL:

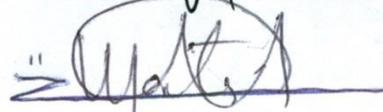

DR. ARMANDO ESPINOZA BANDA

VOCAL:


DRA. ORALIA ANTUNA GRIJALVA

VOCAL SUPLENTE:


ING. AIDÉ HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ


M. E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE LAS CARRERAS AGRONÓMICAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Maíces transgénicos: riesgos, oportunidades y retos

POR:

ALICIA GARCÍA MORENO

MONOGRAFÍA:

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ ASESOR COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL

TÍTULO DE:

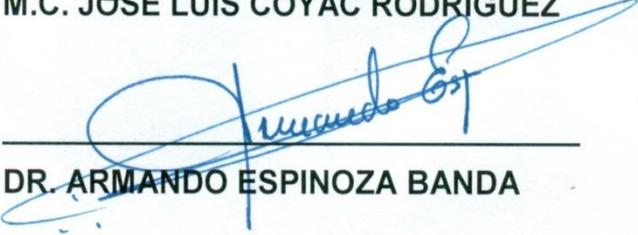
INGENIERO AGRÓNOMO

APROBADA POR:

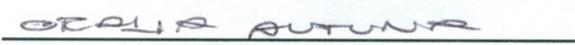
ASESOR PRINCIPAL:


M.C. JOSÉ LUIS COYAC RODRÍGUEZ

ASESOR:

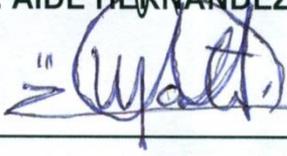

DR. ARMANDO ESPINOZA BANDA

ASESOR:


DRA. ORALIA ANTUNA GRIJALVA

ASESOR:


ING. AIDÉ HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ


M. E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE LAS CARRERAS AGRONÓMICAS



AGRADECIMIENTOS

A dios, gracias padre santo por darme vida para disfrutar toda tu creación, gracias padre por darme la familia tan hermosa que tengo, gracias padre por darme las fuerzas suficientes para seguir adelante y estar este día agradeciéndote lo bueno que has sido conmigo, por permitirme estar aquí hoy disfrutando de este día y dándote gracias a ti padre porque sin tu luz y sin tu amor nada de esto sería posible... gracias padre.

Ingeniero José Luis Coyac Rodríguez, por aceptar ser mi asesor en esta investigación, por tenerme paciencia y ayudarme en todas mis dudas.

DEDICATORIAS

A mis padres

Sr. Agustín García León, gracias Papá por siempre apoyarme, por inculcarme ante todo las ganas de estudiar y salir adelante en esta vida tan difícil. Aun con tantas dificultades y carencias en la familia nunca nos has dejado solos, gracias por ser un gran ejemplo de ser humano, por forjarme humilde, luchona y fuerte. Gracias papá por todo, por darme la vida, porque gracias a eso vine a este mundo a disfrutar la maravillosa familia que me has dado. Gracias Padre, te amo con todo el corazón.

Sra. Ofelia Moreno Mendoza, mamita, gracias a ti infinitamente, por mantener nuestra familia siempre de pie, porque tú has hecho posible tantas cosas, eres el pilar más fuerte de mi hogar. Gracias mami por apoyar a mis hermanos y a mí en cada momento de la vida, por ser mi más grande inspiración, porque tú me inspiras fuerza, me inspiras fe, me inspiras vida. No tengo palabras para agradecerte tanto a ti mi madre hermosa, la mejor madre que dios me pudo dar, la mujer que nunca se rinde. Este triunfo, esta meta, esta victoria va dedicada a ti luchadora incansable...te amo con toda el alma madre mía.

A mis hermanas

Estefanía Azucena García Moreno, gracias por ser mi más grande amiga, mi compañera de risas, de tristezas y de locuras. Gracias porque nunca me has dejado sola y siempre me has apoyado en mis decisiones. Este triunfo es también por ti, porque sabes lo difícil que han sido muchas cosas y eso nos ha dado muchas fuerzas, porque ahora no solo somos personas comunes, somos guerreras, que alguien más se ponga en nuestros zapatos y aguante tanto. Gracias mi mejor amiga, te amo hermana.

Raquel García Moreno y Melissa García Moreno, a ustedes mis hermanitas hermosas, porque forman parte de las personas que más amo en la vida, gracias por aguantarme tantas cosas, gracias por compartir esta alegría conmigo, este es por ustedes, mi familia, las amo.

A mis hermanos

Omar García Moreno y Agustín García Moreno, creo que nunca supe lo que era ser realmente feliz y tener quien me motivara tanto como ustedes hasta que nacieron, gracias mis hermanitos hermosos, porque solo con recordarlos se me vienen a la mente mis metas mis sueños y es por ustedes mis dos personitas favoritas que quiero seguir adelante y con más fuerza cada día, ojala nunca crecieran, los adoro con toda el alma y espero que ustedes no me dejen de querer nunca, los amo.

A mi compañero eterno

Alexis Madariaga Roque, gracias por estar conmigo todo este tiempo, eres mi mejor amigo en las buenas y en las malas, gracias por no abandonarme, por no dejarme sola. Gracias por tus consejos, tus palabras de aliento y todo lo bueno que le das a mi vida.

RESUMEN

El maíz es por mucho el cultivo agrícola más importante de México, tanto desde el punto de vista alimentario como en el industrial, el político y el social. El maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo de gran relevancia para los pueblos latinoamericanos y en especial para México, considerado como el centro de origen y diversidad del maíz, cultivo que ha estado prácticamente en toda su historia y desarrollo. México y los países centroamericanos son considerados como centro de la diversidad de maíz con 59 razas. Actualmente, el maíz es uno de los cuatro principales cultivos producidos en el mundo, y en México su producción ocupa el 50.3% de la superficie agrícola. La humanidad, a través de toda su historia ha dependido para su supervivencia de los recursos que le son proporcionados por la naturaleza; por largos periodos de tiempo el hombre contó con recursos ilimitados para la satisfacción de sus necesidades primarias. El mejoramiento genético de los cultivos depende completamente de los recursos genéticos disponibles; cualquier avance registrado en potencial de rendimiento, resistencia a plagas, calidad o características deseables en las variedades actuales proviene de cruzamiento o selección realizada por agricultores o fitomejoradores profesionales sobre la base de recursos genéticos, silvestres o mejorados de todo el planeta y sobre esta misma base, tanto los agricultores como los fitomejoradores han generado otros recursos fitogenéticos. En los últimos años se ha venido utilizando la biotecnología, una ciencia que hace posible crear plantas transgénicas, hoy en día el maíz es uno de los principales cultivos transgénicos. La opinión científica se divide entre los que sostienen que las semillas transgénicas de maíz no representan ningún riesgo para la salud humana y el ambiente y que por el contrario son muchos los beneficios potenciales, y aquéllos que señalan que los riesgos, incertidumbres e ignorancia en torno a esta nueva tecnología todavía son muy altos.

Palabras clave: Maíz transgénico, biotecnología, productividad, barreras genéticas, infiltración genética

ÍNDICE DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	OBJETIVOS.....	3
1.1.1	<i>Objetivo general</i>	3
1.1.2	<i>Objetivos específicos</i>	3
1.2	JUSTIFICACIÓN	3
1.3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
2	ANTECEDENTES DE LA ESPECIE	4
2.1	DESCRIPCIÓN GENERAL	5
2.2	CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA PLANTA	12
2.3	DESCRIPCIÓN BOTÁNICA	12
2.4	USOS.....	14
2.4.1	<i>El maíz como alimento</i>	14
2.4.2	<i>El maíz como forraje</i>	15
2.4.3	<i>El maíz en la industria</i>	15
3	EL MAÍZ EN MÉXICO: CENTRO DE ORIGEN, DIVERSIFICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN	16
3.1	DISTRIBUCIÓN DEL MAÍZ Y SUS PARIENTES SILVESTRES	21
4	PRODUCCIÓN Y CONSUMO NACIONAL DEL MAÍZ	23
4.1	PRODUCCIÓN DE MAÍZ A NIVEL NACIONAL	23
4.1.1	<i>Ciclo 2013-2014</i>	24
4.1.2	<i>Mercado nacional</i>	25
4.1.3	<i>Producción primaria</i>	26
4.1.4	<i>Principales Estados productores de Maíz para grano</i>	30
4.1.5	<i>Consumo Nacional</i>	32
4.2	APORTACIÓN DEL MAÍZ MEXICANO A NIVEL INTERNACIONAL.	34
5	TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN E INCREMENTO DE LOS RENDIMIENTOS	35
5.1	MANEJO DEL AMBIENTE	35
5.1.1	<i>Capacidad de retención de agua</i>	35
5.1.2	<i>Aireación</i>	36
5.1.3	<i>Temperatura</i>	36
5.1.4	<i>Las necesidades nutricionales del maíz</i>	36
5.1.5	<i>Fertilización</i>	37
5.1.6	<i>Necesidades hídricas del maíz</i>	39
5.1.7	<i>Manejo de plagas y enfermedades</i>	41
5.2	MECANIZACIÓN.....	52
5.3	USO DEL GERMOPLASMA	55
5.3.1	<i>Mejoramiento in-situ</i>	57
5.3.2	<i>Mejoramiento ex situ</i>	59

5.4	MEJORAMIENTO CONVENCIONAL	60
5.4.1	<i>Selección masal</i>	60
5.4.2	<i>Selección recurrente</i>	61
5.4.3	<i>Hibridación</i>	62
5.4.4	<i>Variedades sintéticas</i>	64
5.5	MEJORAMIENTO MODERNO	65
5.5.1	<i>ADN recombinante</i>	65
5.5.2	<i>Producción de dobles haploides</i>	71
5.5.3	<i>Selección asistida por marcadores moleculares</i>	73
5.5.4	<i>Uso de Transgénicos</i>	76
6	ASPECTOS SOCIALES, ECONÓMICOS Y POLÍTICOS DE LAS TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN.....	78
6.1	REPERCUSIONES ECONÓMICAS DEL USO DE GERMOPLASMA MEJORADO VS VARIEDADES NO MEJORADAS	79
6.2	REPERCUSIONES SOCIALES DEL USO DE GERMOPLASMA MEJORADO VS VARIEDADES NO MEJORADAS	82
6.3	ASPECTOS POLÍTICOS DEL USO DE GERMOPLASMA MEJORADO VS VARIEDADES NO MEJORADAS	84
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87
7.1	CONCLUSIONES	87
7.2	RECOMENDACIONES	89
8	BIBLIOGRAFIA.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de distribución de maíces criollos en México	6
Figura 2. Principales usos de maíz.	7
Figura 3. Disposición de estructuras florales reproductivas en la planta de maíz	8
Figura 4. Estructura de una inflorescencia masculina en maíz.	9
Figura 5. Estructura de una inflorescencia femenina en maíz.....	10
Figura 6. Cariópside de maíz.	11
Figura 7. Maíces de partes altas del centro y norte del país.	19
Figura 8. Maíces de alturas intermedias de temporal y costas semiáridas de riego.....	19
Figura 9. Maíces de partes altas e intermedias del Sur de México	20
Figura 10. Maíces Chapalotes y afines	20
Figura 11. Localización de los sitios de colecta de las razas de maíz (puntos en verde) y teocintles (puntos en rojo) en México (adaptado de Serratos et al., 2004).....	21
Figura 12. Producción de Maíz grano/ciclo año Agrícola (Situación al 31 de Diciembre de cada año	25
Figura 13. Producción de maíz grano en México por tipo, 2005-2015 (millones de toneladas)	26
Figura 14. Producción por ciclo agrícola de maíz grano en México, 2005-2015 (millones de toneladas).....	27
Figura 15. Producción por modalidad hídrica de maíz grano en México, 2005-2015 (millones de toneladas).....	27
Figura 16. Superficie cosechada y rendimientos de maíz grano por modalidad hídrica 2005-2015* (millones de hectáreas y toneladas por hectáreas)	29
Figura 17. Principales estados productores de maíz grano en México, 2006-2014 (Millones de toneladas).....	30
Figura 18. Principales estados productores de maíz para grano en México, 2014 (Millones de toneladas). Por modalidad hídrica	31
Figura 19. Principales estados productores de maíz para grano en México, 2014 (Millones de toneladas). Por ciclo agrícola	31

Figura 20. Consumo de maíz grano en México, 2013-2015* (Millones de toneladas)	32
Figura 21. Consumo de maíz grano blanco en México, 2013-2015* (Millones de toneladas)	33
Figura 22. Consumo de maíz grano amarillo en México, 2013-2015* (Millones de toneladas)	33
Figura 23. Principales países productores de maíz, 2014/15 y 2015/2016* (millones de toneladas).....	34
Figura 24. Fusarium en mazorca.....	47
Figura 25. Pudrición de mazorca.....	48
Figura 26. Pudrición de tallo.....	48
Figura 27. Tizón foliar.....	49
Figura 28. Roya común	50
Figura 29. Roya Polysora	51
Figura 30. Carbón del maíz	52

1 INTRODUCCIÓN

La cocina tradicional mexicana, que tiene como base al maíz, es considerada Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad por la Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2010).

Es a partir del maíz que el desarrollo de la agricultura en Mesoamérica se ha dado de una manera vertiginosa, tal que esta especie es actualmente una de las más importantes a nivel mundial, por la superficie sembrada y el volumen de producción.

Se reconoce a México como centro de origen del maíz. Estudios arqueológicos demuestran que los restos más antiguos provienen de los estados de Oaxaca y Puebla, donde existe una gran diversidad de variedades criollas y parientes silvestres (Benz, 2001; Piperno y Flannery, 2001). La diversidad genética del maíz es considerada patrimonio nacional y mundial, y una fuente importante para los programas de mejoramiento genético de este cultivo (FAO, 1995).

Es en los centros de origen donde existe la máxima diversificación de los cultivos, y es también en donde existe una recreación constante de nuevas semillas y plantas. Las búsquedas se orientan no solo a incrementar los volúmenes de las cosechas, sino a tener plantas útiles según los diferentes usos.

Los organismos genéticamente modificados, o transgénicos, son variedades de especies cultivadas a las que se les ha transferido alguna capacidad funcional mediante el uso de la ingeniería genética para la mejora de su desempeño agrícola (tolerancia o resistencia a factores bióticos y/o abióticos).

Al ser México el centro de origen del maíz, existen una gran cantidad de variedades nativas de polinización abierta, y actualmente existe una moratoria en contra de la siembra de maíz transgénico en el país. En otros países el maíz transgénico se usa principalmente para la alimentación del ganado, y como materia prima para procesos industriales, mientras que en México es principalmente para la alimentación de su población. Esto último pone en un alto riesgo a toda la población por la exposición a gran escala a una agricultura industrializada basada en el uso de transgénicos, en híbridos nutricionalmente inferiores a las variedades nativas (menor cantidad de fibra, antioxidantes, mayor índice glicémico, etc.), y sus productos derivados y/o agrotóxicos asociados.

En este contexto, existe aún controversia, generada por la poca investigación realizada al respecto, sobre la introducción de transgénicos de maíz, la posible contaminación de cultivos de maíz nativo o de poblaciones silvestres; por lo tanto, surge la la necesidad de proteger nuestros recursos genéticos y desarrollar sustentablemente la agricultura nacional con una especial atención.

Al día de hoy, en México no se ha dado la libre entrada a la siembra de maíces transgénicos, solo se han hecho siembras experimentales en varios estados, bajo condiciones controladas. Sin embargo, la introducción ilegal de germoplasma proveniente de los Estados Unidos con fines de alimentación animal, puede acarrear problemas al momento de usar este tipo de material para siembra en las localidades a donde se introduce.

Es hasta ahora desconocido en un contexto amplio cuales podrían ser las ventajas y/o las desventajas de que el maíz nativo o criollo se llegara a

contaminar con maíces transgénicos, ya que los argumentos a favor o en contra generalmente están polarizados hacia intereses propios, económicos, y/o políticos. Es por esto que se hace necesario conjuntar la mayor cantidad posible de información y contextualizarla en un panorama más amplio, para lograr una mejor toma de decisiones y concientización de la población sobre este aspecto tan importante, pero tan controversial.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

- Analizar la problemática actual que se dice, representa la implementación del sistema de producción de maíz transgénico en México, así como los problemas que está originando la contaminación de maíces criollos mexicanos con material transgénico.

1.1.2 Objetivos específicos

- Conocer y analizar las ventajas y desventajas que se piensa, representa el uso y la producción de maíz transgénico en México.
- Describir los riesgos de contaminación genética que se presume, representa el uso de material transgénico de maíz en México, que es considerado centro de origen del cultivo.
- Describir los daños posibles que ocasionan los transgénicos desde distintos aspectos como: el social, político y económico.

1.2 Justificación

El presente trabajo tiene la finalidad de hacer un análisis sobre la situación actual de los maíces transgénicos y la problemática de la llamada contaminación transgénica de maíces nativos por los maíces transgénicos en su centro de origen y domesticación (México). Hoy en día no se ha demostrado que el uso de

estos productos afecte a la salud, al medio ambiente, y que los productores dependan de las empresas para seguir produciendo el maíz, pero tampoco se ha demostrado lo contrario; y la demanda de las organizaciones civiles es que se lleven a cabo más investigaciones antes de sacarlos al mercado, con la finalidad de conocer sus posibles efectos positivos/negativos en los aspectos antes mencionados.

1.3 Planteamiento del problema

Los cultivos transgénicos en México datan desde 1995. En el caso del maíz, existía una moratoria para la siembra experimental y comercial de maíz transgénico desde 1998, la cual fue levantada en marzo de 2008 (Cárcamo et al., 2011). En el año 2001 los científicos David Quist e Ignacio Chapela encontraron transgenes en maíces criollos en el estado de Oaxaca, lo que desató movimientos de campesinos e indígenas que desde entonces han defendido la soberanía alimentaria de sus pueblos.

Los maíces nativos, además de ser parte del patrimonio biocultural que México ha regalado al mundo, son el sustento de miles de familias en zonas rurales, por lo que su protección y conservación resulta fundamental (Fernández et al., 2013). La preocupación por proteger el germoplasma nativo ha sido la preocupación de muchos grupos y organizaciones, ya que hasta la fecha no se conocen los supuestos riesgos que puede causar la contaminación transgénica al germoplasma nativo.

La conservación del germoplasma nativo depende fundamentalmente de la protección que se otorgue a los agricultores en pequeña escala a través de subsidios, asesoría técnica, y con programas de desarrollo rural bien planeados y adaptados a las condiciones reales del medio (Kato et al., 2009 citado por Fernández et al. 2013).

2 ANTECEDENTES DE LA ESPECIE

2.1 Descripción General

El maíz es por mucho el cultivo agrícola más importante de México, tanto desde el punto de vista alimentario como en el industrial, el político y el social.

Este grano se produce en dos ciclos productivos: primavera-verano y otoño-invierno, bajo las más diversas condiciones agroclimáticas, de humedad, temporal y riego (Cruz et al., 2012).

El maíz es un pasto gigante domesticado (*Zea mays* ssp. *mays*) de origen tropical mexicano. Su desarrollo se favorece en suelos con un buen drenaje, fértiles, profundos, y de textura media, en regiones con temperaturas de verano moderadamente elevadas, noches cálidas y lluvia adecuada y bien distribuida durante la estación de crecimiento (Jugenheimer, 1990).

La gran variedad en tipos, razas y nuevas variedades de maíz que actualmente existen en México permite que haya maíces adaptados a prácticamente todas las condiciones que se puedan presentar en el país, podemos encontrar maíz cultivado desde las costas de ambos océanos hasta más de 3000 msnm (metros sobre el nivel del mar) (Centro de Investigaciones Agrarias, 1980).

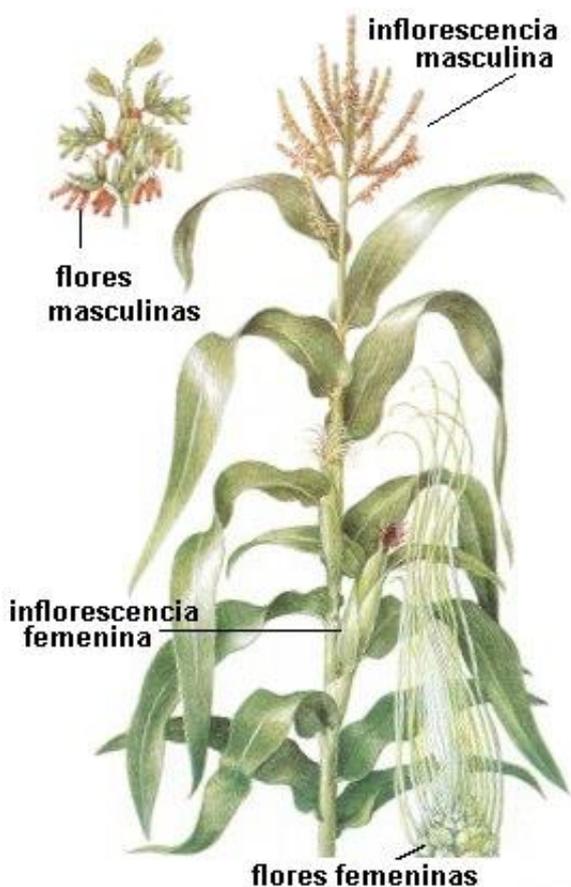


Figura 3. Disposición de estructuras florales reproductivas en la planta de maíz

Fuente: <http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema5/images5/maiz.JPG>

A diferencia de otros pastos que producen flores perfectas (bisexuales), el maíz produce inflorescencias masculinas (espigas) las cuales coronan a la planta en el ápice del tallo, e inflorescencias femeninas (mazorcas), las cuales se ubican en el ápice de los primordios de las ramas laterales que emergen de las axilas foliares (Figura 3) (Salvador, 2001).

La inflorescencia masculina (estaminada), una panícula dispersa, produce pares de espiguillas separadas, cada una de las cuales encierra una flor fértil y otra estéril (Figura 4). La inflorescencia femenina (pistilada), es una espiga que produce pares de espiguillas sobre la superficie del raquis altamente condensado (eje central u olote).

Cada una de las espiguillas femeninas encierra dos flósculos fértiles, uno de cuyos ovarios madurará para dar origen al fruto del maíz una vez que haya sido sexualmente fertilizado por el polen (Salvador, 2001). La inflorescencia masculina posee una cantidad muy elevada de polen en el orden de 20 a 25 millones de granos (Cruz *et al.*, 2012).

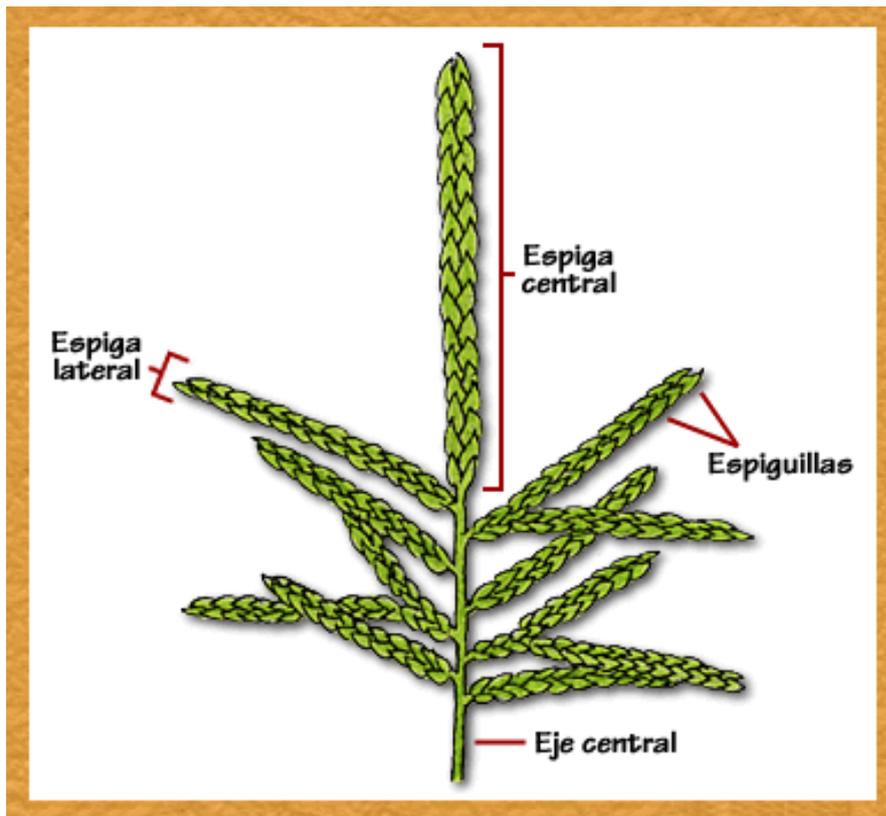


Figura 4. Estructura de una inflorescencia masculina en maíz.

Fuente: http://www7.uc.cl/sw_educ/cultivos/cereales/maiz/D201.gif

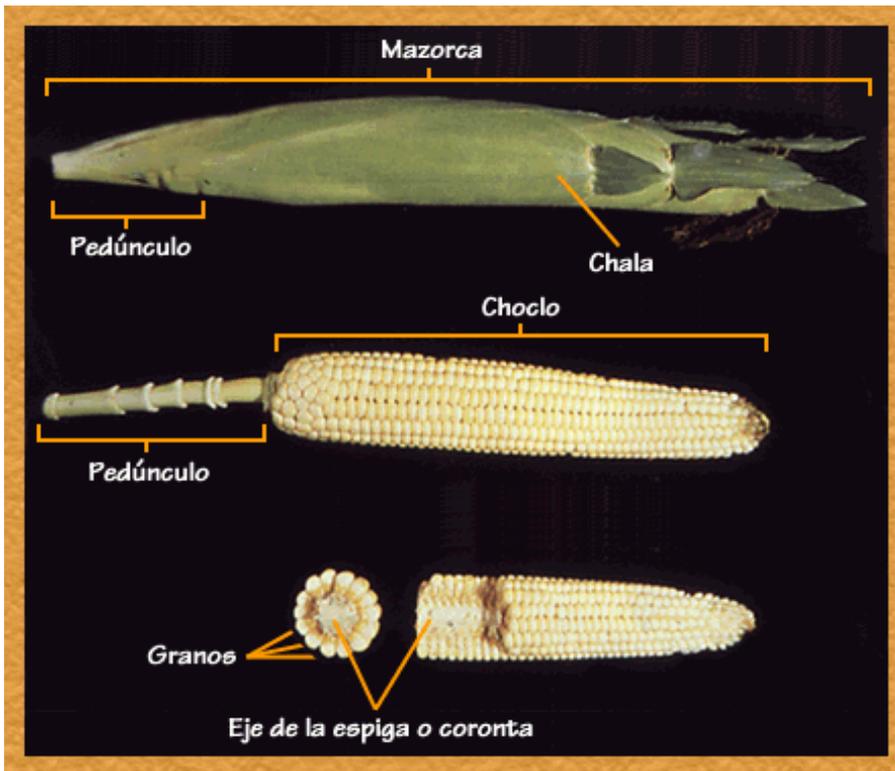


Figura 5. Estructura de una inflorescencia femenina en maíz.

Fuente: http://www7.uc.cl/sw_educ/cultivos/cereales/maiz/infloref.htm

El fruto individual del maíz es botánicamente una cariósida, un fruto seco que contiene una sola semilla fusionada en el interior de los tejidos del propio fruto (Figura 6). La semilla contiene dos estructuras hermanas, un germen del cual se desarrollará una nueva planta y un endospermo el cual proveerá los nutrientes a la plántula hasta que ésta logre desarrollar la suficiente área foliar para tornarse en autótrofa (Salvador, 2001).

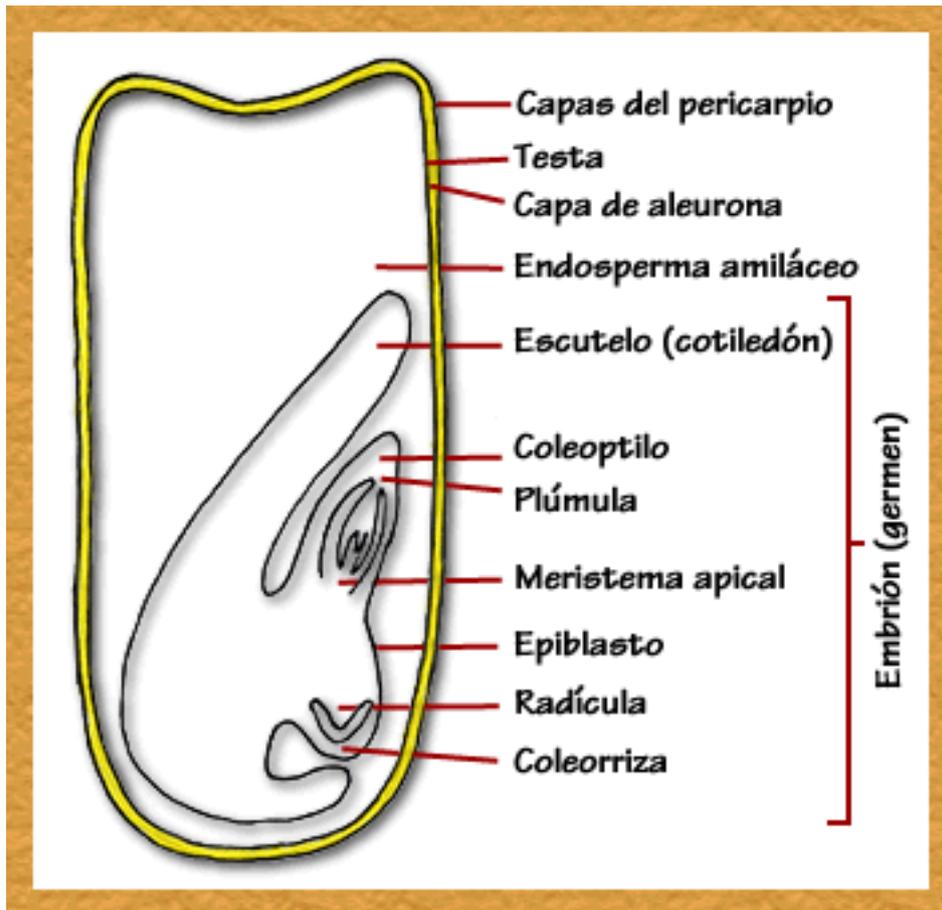


Figura 6. Cariósido de maíz.

Fuente: http://www7.uc.cl/sw_educ/cultivos/cereales/maiz/D202.gif

Por su tipo de polinización el maíz es una especie alógama, característica que ha contribuido a incrementar su variabilidad morfológica y adaptabilidad geográfica. Las variedades de maíz pueden tener un porte que oscila de 0.5 a 5 metros al momento de la floración, alcanzar la madurez en un rango de 60 a 330 días a partir de la siembra, producir 1 a 4 mazorcas por planta, de 10 a 1800 frutos por mazorca y alcanzar rendimientos que van desde 0.5 hasta 23.5 toneladas por hectárea. Los frutos pueden carecer de color (blancos), o bien pueden ser amarillos, rojos, azules o bien variegados con estos colores en patrones moteados o estriados (Salvador, 2001).

2.2 Clasificación Taxonómica de la Planta

Nombre común: Maíz. El nombre proviene de las Antillas, pero en México, los nahuas lo denominaron centli (a la mazorca) o tlaolli (al grano).

Reino	Plantae
Sub Reino	Tracheobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Sub Clase	Commelinidae
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Sub Familia	Panicoideae
Tribu	Maydeae
Genero	Zea
Especie	Mays L.

(Augusto, 2010)

2.3 Descripción Botánica

- El tallo: es simple y erecto, tiene aspecto de caña, con los entrenudos rellenos de una médula esponjosa, erecto, sin ramificaciones y de elevada longitud pudiendo alcanzar más de 4 metros de altura.
- Las raíces son fasciculadas y robustas y su misión es, además de aportar alimento a la planta, ser un perfecto anclaje de la planta que se refuerza con la presencia de raíces adventicias.
- Las hojas son alternas, paralelinervias y provistas de una vaina que nace de cada nudo (gramínea). El número de hojas depende de la variedad y del ciclo, de la época de siembra, etc. pero, aunque podrían llegar hasta 30. El número de hojas está relacionado con el potencial de producción.

El maíz es una planta monoica, tiene flores masculinas y flores femeninas separadas pero en la misma planta.

- La flor masculina tiene forma de panícula y está situada en la parte superior de la planta. Es donde se producen los gametos masculinos, o sea, el polen. El número de granos de polen puede ir desde **20 a 25 millones** (Cruz et. al.).
- La flor femenina, la futura mazorca, se sitúa a media altura de la planta. La flor está compuesta en realidad por numerosas flores dispuestas en una ramificación lateral, cilíndrica y envuelta por falsas hojas o brácteas. Los estilos de cada flor sobresalen de las brácteas formando las sedas. En una inflorescencia femenina con dimensiones normales y bien desarrollada puede contar con 700 a 1000 óvulos (futuros cariósides) (Bartolini, 1990), una vez fecundada la flor femenina seguida de la formación del cariósido estos pueden presentar en la mazorca de **8 hasta las 30 hileras** (Centro de Investigaciones Agrarias, 1980).

Cada flor fecundada formará un grano que estará agrupado en torno a un eje grueso, raquis u olote. El número de granos y de filas de la mazorca dependerá de la variedad y del vigor del maíz (Agrigan, 2008).

2.4 Usos

Por orden de importancia el maíz tiene 3 aplicaciones fundamentales: alimentos, forraje y materia prima para la industria.

2.4.1 El maíz como alimento

El maíz blanco en grano se utiliza principalmente para la elaboración de las tradicionales tortillas y tamales, pero de él también pueden obtenerse aceite e insumos para la fabricación de barnices, pinturas, cauchos artificiales y jabones. El maíz amarillo en grano también se utiliza para consumo humano en una amplia variedad de platillos; sin embargo, su principal destino es la alimentación del ganado y la producción de almidones. (SIAP, 2014).

En México se producen aproximadamente 21 millones de toneladas al año para consumo humano (SAGARPA, 2015). Este grano se aprovecha de variadas formas, todos conocemos las típicas “tortillas mexicanas” preparadas con harina de maíz y el producto de su molturación después de cocerlo en agua previamente adicionada con cal viva o apagada, aprovechando de forma óptima su dotación de vitaminas porque las solubiliza y, además, enriquece el producto con calcio.

- Los “Chilotes o jilotes” son pequeñas mazorcas que crecen en las partes interiores de la planta y que se comen hervidas y enteras.
- Los mazorcas grandes se comen enteras, cocidas o a la brasa.
- Los “tamales” son típicos y se preparan con harina de maíz y envueltos en la misma hoja de la mazorca.

A partir del grano del maíz se puede obtener “jarabe de isoglucosa” con un alto contenido en fructosa y que se utiliza como edulcorante líquido.

2.4.2 El maíz como forraje

La planta de maíz se utiliza para elaborar piensos compuestos para aves de corral, cerdos y rumiantes. Es un excelente forraje para el ganado, especialmente para las vacas lecheras y los animales de tiro y se utiliza en varias etapas de crecimiento de la planta. Según datos de la SAGARPA la producción de maíz forrajera en 2014 fue de más de 13 millones de toneladas (SAGARPA, 2016).

2.4.3 El maíz en la industria

El grano de maíz es una fuente importante de glucosa y el almidón se utiliza para la fabricación de pastas sémolas, maicenas, salchichas, mermeladas, zumos de frutas, cervezas, licores, bebidas refrescantes, etc.

El aceite de maíz proviene del germen de la semilla y para extraerlo tienen que separar el germen o embrión a través de un proceso de molturación húmeda, prensarlo o extraerlo con disolventes y filtrarlo.

No solo es utilizado en la industria alimentaria, el maíz es también aprovechado por otros sectores como la industria textil química, farmacéutica, etc., así el aceite se utiliza para la fabricación de pinturas, barnices, jabones, municiones, anticorrosivos, sustitutos del hule, aceites solubles, sustancias químicas y productos textiles. El almidón de este grano se puede utilizar para la fabricación de gomas, papeles, explosivos, alcoholes, etc.

3 EL MAÍZ EN MÉXICO: CENTRO DE ORIGEN, DIVERSIFICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN

El maíz es la forma domesticada de una subespecie de teocintle (*Zea mays* ssp. *parviglumis*), un pasto silvestre que existe de manera natural en regiones aisladas actualmente restringidas a elevaciones entre los 400 - 1700 msnm de la Sierra Madre Occidental (Michoacán y Jalisco) (Salvador, 2001).

El maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo de gran relevancia para los pueblos latinoamericanos y en especial para México, considerado como el centro de origen y diversidad del maíz, cultivo que ha estado prácticamente en toda su historia y desarrollo. Sobre el origen del maíz se han publicado, desde 1985, diferentes teorías y la investigación realizada hasta nuestros días, ha permitido aportar elementos para que en la actualidad, como gran consenso de la comunidad científica internacional, se tiene la aceptación de que el teocintle anual mexicano es el ancestro del maíz.

Los parientes silvestres del maíz son llamados colectivamente “teocintles” y están representados tanto por especies anuales y perennes diploides y por una especie tetraploide. Los teocintles son plantas rústicas y silvestres que aún se encuentran en varias localidades de México, y que en no pocas ocasiones se les considera como malas hierbas, o maleza y que en otras tantas como una fuente alterna de alimento para el ganado cuando escasea el forraje.

Los teocintles (*Zea* spp), son gramíneas altamente emparentadas con el maíz y es considerado el ancestro directo del maíz actual, y según las últimas evidencias arqueológicas, el origen del maíz data de 8,700 años antes de nuestra era, en la región de Iguala en el estado de Guerrero, en la localidad de Tlaxmalac

(Ranere et al., 2009, Piperno et al., 2009). De los diversos estudios realizados para dilucidar la participación del teocintle en el origen del maíz, se ha concluido que la especie de teocintle más cercana al maíz actual es el *Zea mays ssp parviglumis*, que pertenece a la raza Balsas y dentro de esta raza las poblaciones que más han participado en el origen del maíz fueron las ubicadas en los estados de Michoacán, México y Guerrero (Matsuoka et al., 2002)

Después de varias décadas de estudios, la hipótesis del teocintle como el antepasado silvestre del maíz ha sido ampliamente aceptada. Algunas especies de teocintle son distintas genética y taxonómicamente a las del maíz, y no parecen haber desempeñado ningún papel en el origen del mismo. Sin embargo, con la evidencia genética disponible se confirma que una especie de teocintle, *Z. mays ssp. parviglumis*, es el antepasado directo del maíz al compartir una relación genética muy estrecha (Doebley 1990; Matsuoka et al. 2002), y el teocintle *Z. mays ssp. Mexicana* como contribuyente en la diversificación del maíz de la Mesa Central mexicana (Matsuoka et al. 2002). *Z. mays ssp. parviglumis*, crece en los valles del suroeste de México.

A pesar de las profundas diferencias en la morfología de la mazorca y de la planta, el teocintle y el maíz son muy cercanos genéticamente; ellos pueden hibridarse y producir híbridos viables totalmente fértiles.

Tanto los científicos de las ciencias sociales como los responsables de estudio de las plantas conceden a la agricultura que involucra al maíz como el mejor ejemplo de coevolución entre una planta y sus domesticadores, conforme las plantas y la sociedad humana fueron interrelacionándose, la influencia de una sobre otra fue a su vez incrementándose. El antropólogo e historiador del maíz

mexicano Arturo Warman se ha referido al maíz como un artefacto completamente cultural, señalando que en realidad se trata de una invención humana, una especie que no existe naturalmente en forma silvestre y que sólo puede sobrevivir si los humanos lo siembran y protegen.

De igual manera podemos afirmar que la domesticación y el mejoramiento del maíz están fuertemente correlacionados con el desarrollo de la complejidad cultural evidenciada por las grandes civilizaciones de la Mesoamérica prehispánica (Salvador, 2001).

México y los países centroamericanos son considerados como centro de la diversidad de maíz con 59 razas. Actualmente, el maíz es uno de los cuatro principales cultivos producidos en el mundo, y en México su producción ocupa el 50.3% de la superficie agrícola (INE, 2008).

En la actualidad no se puede estar muy seguro de que sólo sean 59 las razas de maíz presentes en México (Ortega, 2003). Estudios exploratorios que están actualizando las colectas por estado, están ampliando la información actual al mencionar número de razas presentes (Aragón *et al.*, 2006) y realizando comparaciones de la diversidad actual con la reportada en estudios anteriores de la zona estudiada (Perales, 2005). Por lo que la actualización de estudios exploratorios es necesaria.

En las siguientes figuras (7 a 10) se muestra la distribución de las razas clasificadas por Wellhausen *et al.*, 1951, de acuerdo al arreglo propuesto por Ortega en el 2003, donde las agrupa por zona ecológica de distribución y características de la mazorca.



Figura 7. Maíces de partes altas del centro y norte del país.

A este grupo pertenecen los maíces arrocillo, cacahuacintle, cónico, cónico norteña, chalqueño, dulce y palomero toluqueño.



Figura 8. Maíces de alturas intermedias de temporal y costas semiáridas de riego

A este grupo pertenecen los maíces jala, bolita y tabloncillo.



Figura 9. Maíces de partes altas e intermedias del Sur de México

A este grupo pertenecen los maíces nal .tel, olotón, zapalote chico, zapalote grande, tepecintle, comiteco, tuxpeño, Celaya, vandeño, olotillo y tehua.



Figura 10. Maíces Chapalotes y afines

A este grupo pertenecen los maíces chapalote y reventador.

3.1 Distribución del maíz y sus parientes silvestres

En la Figura (11) se muestra la distribución de maíz y teocintle, basándose en las colectas de maíz resguardadas en los bancos de germoplasma (hasta 1995, aproximadamente) y que fueron resultado de las primeras exploraciones para sistematizar las razas de maíz. En esta proyección se encuentra que la mayor diversidad de maíz se concentra en la Mesa Central.



Figura 11. Localización de los sitios de colecta de las razas de maíz (puntos en verde) y teocintles (puntos en rojo) en México (adaptado de Serratos et al., 2004)

Por su ubicación y características fisiográficas México está considerando como uno de los países con mayor diversidad biológica y cultural a nivel mundial (Bye, 1993; Toledo, 1993). Las diferentes condiciones ecológicas producen una infinidad de hábitats, en las que prosperan muy distintos ecosistemas ricos en flora y fauna (Aguilar, 2003). Esta variedad ecológica guarda estrecha relación con la diversidad de grupos humanos que se asentaron en el territorio nacional y generaron sus formas específicas de vida y cultura.

En este espacio geográfico y cultural hace aproximadamente 8 mil años, los grupos humanos iniciaron el proceso de domesticación de las principales especies cultivadas en la agricultura moderna, mediante la selección y reducción de la diversidad genética contenida en sus parientes silvestres (Olsen y Gross, 2008; Vigouroux et al., 2008). Con la aparición de la agricultura y los desplazamientos de las primeras sociedades agrícolas, las plantas cultivadas fueron dispersadas fuera de su centro de origen (Shuster y Bye, 1983).

De acuerdo con Shuster y Bye, (1983) el maíz consiguió ser introducido a otras zonas en compañía de diferentes tipos de plantas cultivadas y/o arvenses. Este complejo era transportado por los grupos humanos recolectores o agricultores, a lo largo de ambientes con variaciones biofísicas, humanas y ecológicas. Para estas poblaciones de maíz, las presiones de selección involucraban además de la adaptación ambiental a condiciones climáticas diferentes a las del sitio de origen, las preferencias culturales de cada grupo (Ruíz et al., 2008; Durán, 2007; Doolittle y Mabry, 2006; Wellhausen et al., 1951).

El hombre ha mantenido activo el proceso de domesticación, mediante el cual ha seleccionado y modificado características genotípicas de la planta, que le han permitido la formación de nuevas poblaciones adaptadas a diversos climas y tipos de suelos. De acuerdo con Sánchez et al. (2000); Goodman y Brown (1988); Ortega-Paczka, (2003); Pressoir y Berthaud, (2004) la interacción ambiente-genotipo y el aislamiento geográfico favorecieron la distribución geográfica de nuevas variantes de maíz (diversificación) (CONABIO, 2011)

Estudios filogenéticos recientes de Vigouroux y colaboradores (2008) respaldan la idea del evento único de domesticación en la Cuenca del Río

Balsas, área geográfica definida por Matsuoka et al., (2002), sugiriendo que la diversificación de las razas de maíz en épocas precolombinas se llevó a cabo en dos direcciones. La primera, se inició en las tierras altas de México y siguió un desplazamiento hacia el oeste y norte del país, hacia el suroeste de los Estados Unidos y continuó hacia el este de Canadá.

Una segunda vía fue desde las tierras altas de México hacia el oeste y suroeste de las tierras bajas de México, entrando hacia Guatemala, las islas del Caribe, las tierras bajas de Sudamérica y las montañas de los Andes (CONABIO, 2011)

Desde el punto de vista biológico los procesos que generan y mantienen la diversidad genética del maíz son muy dinámicos: mutación, selección, y recombinación, que están ligados a las necesidades a largo plazo de las poblaciones humanas en crecimiento y sus cada vez mayores expectativas de vida (Wilkes, 1979).

La conservación de la diversidad debe estar basada en el mantenimiento de estos procesos así como, en la preservación de la razas per se. Actualmente se observa una variación continua en la diversidad del maíz, sobre todo en sus caracteres cuantitativos, la mayoría de las poblaciones representan combinaciones de raza (Ramos y Hernández, 1972).

4 PRODUCCIÓN Y CONSUMO NACIONAL DEL MAÍZ

4.1 Producción de maíz a nivel nacional

En el presente mes de Abril de 2016 el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) estima que para el ciclo 2015/16 la producción mundial

de maíz se ubicará en 978.1 millones de toneladas, una disminución de 2.8 por ciento en relación con la producción máxima histórica del ciclo 2014/15 (FIRA, 2015).

4.1.1 Ciclo 2013-2014

De acuerdo con datos reportados por la Sagarpa, la producción nacional de maíz blanco obtenida hasta el mes de diciembre del 2014, para el año agrícola 2014, alcanzó un volumen de 17.4 millones de toneladas, el cual es sólo 24.5 miles de toneladas mayor al cosechado en el ciclo homólogo anterior y se explica principalmente por la mayor productividad del cultivo, es decir por el aumento en los rendimientos obtenidos, lo que a su vez se explica por una reducción importante de la superficie siniestrada respecto a la del año previo, ya que las superficies sembradas y cosechadas se redujeron.

Los Estados que más contribuyeron al monto de las cosechas nacionales alcanzadas en diciembre del 2014 fueron Sinaloa, Jalisco, Michoacán, Chihuahua, Guanajuato y México, los que en conjunto aportaron el 61% de la producción nacional del año agrícola hasta diciembre.

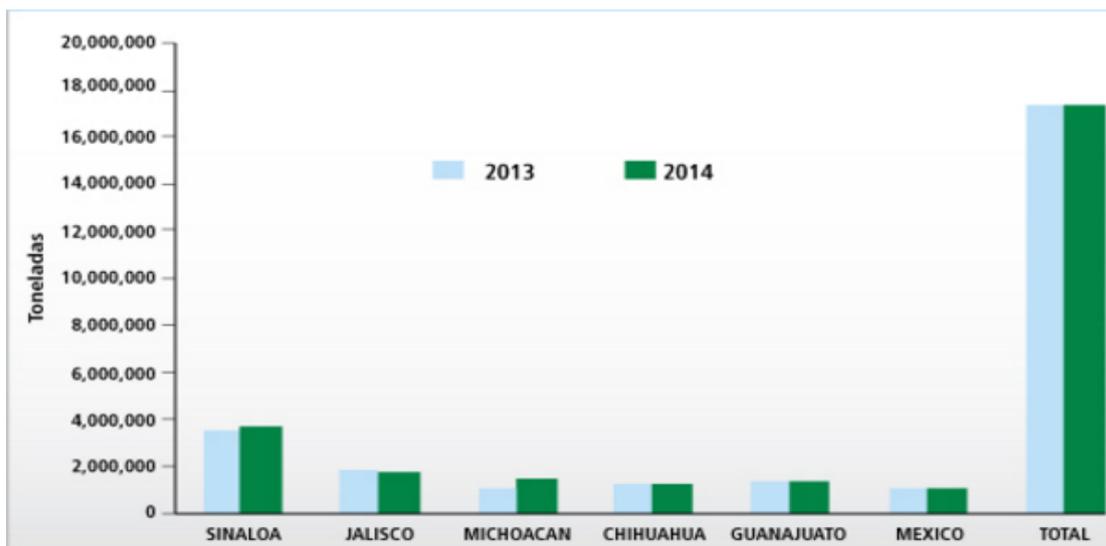


Figura 12. Producción de Maíz grano/ciclo año Agrícola (Situación al 31 de Diciembre de cada año)

Fuente: SNIIM Con datos del SIAP-SAGARPA

4.1.2 Mercado nacional

El mercado nacional de maíz grano se encuentra en un periodo de recuperación después de registrar el volumen de producción más bajo de los últimos 10 años durante 2011. Así, el programa de producción nacional estima un volumen de 24.95 millones de toneladas durante el año agrícola 2015. De igual manera, el consumo de maíz en el país continúa en aumento, siendo impulsado tanto por incrementos en el consumo de maíz blanco como amarillo.

Las importaciones de maíz al país continúan en aumento, pues durante 2014 aumentaron 45.7 por ciento en relación a 2013. Por otro lado, las exportaciones mexicanas de maíz totalizaron 0.39 millones de toneladas en 2014.

Los precios al productor de maíz blanco y amarillo han presentado niveles bajos durante los últimos meses, ante la disponibilidad del grano en el mercado internacional y nacional. Debido a la integración de los precios nacionales a los

precios internacionales de maíz, se estima que los precios continúen deprimidos hasta mediados del 2016.

4.1.3 Producción primaria

Entre los años agrícolas 2004 y 2014 la producción de maíz grano en México ha crecido a una tasa media anual de 2.6 por ciento para totalizar 23.27 millones de toneladas durante el año agrícola 2014. La composición por tipo de maíz muestra que durante el año agrícola 2014 el 89.0 por ciento de la producción total correspondió a maíz blanco, 10.4 por ciento maíz amarillo y el restante 0.6 por ciento a otros tipos de maíz. Es de resaltar que la proporción de maíz amarillo se ha incrementado de 4.9 por ciento en el año agrícola 2004 a 10.4 en 2014.

El programa de producción 2015 de SIAP-SAGARPA estima un incremento a tasa anual del 7.2 por ciento para ubicarse en 24.95 millones de toneladas, el nivel más alto de los últimos quince años en el país.

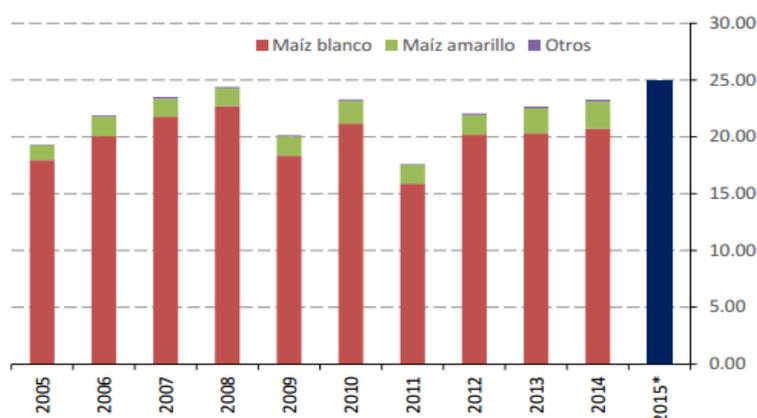


Figura 13. Producción de maíz grano en México por tipo, 2005-2015 (millones de toneladas)

Fuente: SIAP-SAGARPA

Por ciclo agrícola, la producción de maíz en México ocurre mayormente durante el ciclo otoño-invierno. Así, durante el año agrícola 2014 el 77.2 por ciento de la producción de maíz provino del ciclo Primavera-Verano, mientras que el restante 22.8 por ciento se produjo en Otoño-Invierno. La proporción en el año agrícola 2015 se estima sin cambios.

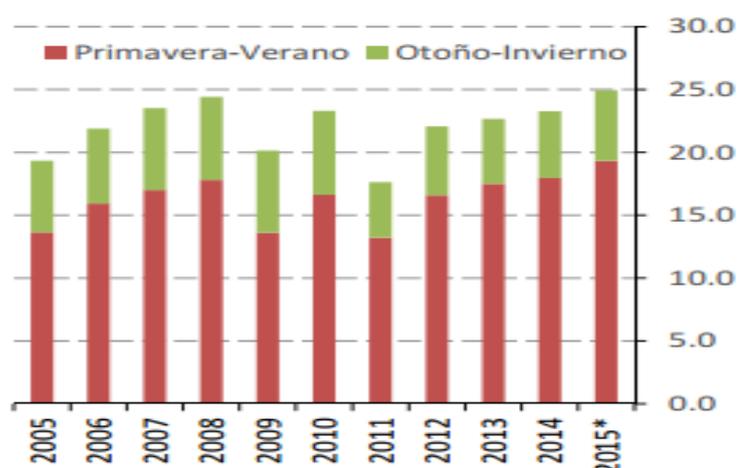


Figura 14. Producción por ciclo agrícola de maíz grano en México, 2005-2015 (millones de toneladas)

Fuente: SIAP-SAGARPA.

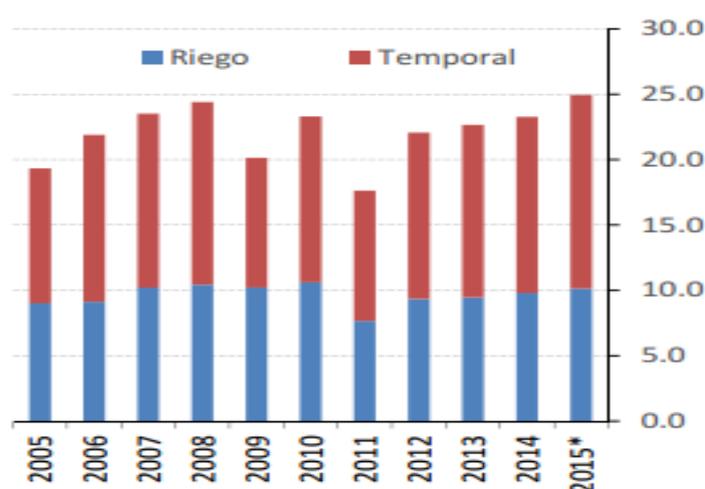


Figura 15. Producción por modalidad hídrica de maíz grano en México, 2005-2015 (millones de toneladas)

Fuente: SIAP-SAGARPA

Considerando la modalidad hídrica, la producción de maíz bajo riego en el país muestra un menor dinamismo que el crecimiento en la producción de temporal. Durante los últimos 10 años la producción bajo riego ha crecido a una tasa media anual de 1.2 por ciento mientras que la producción bajo temporal ha crecido 3.7 por ciento.

Lo anterior se explica por la reducción en la superficie cosechada bajo modalidad riego, toda vez que entre los años agrícolas 2005 y 2015 la superficie cosechada bajo riego presenta una tasa de crecimiento negativa de 0.5 por ciento; es decir, la superficie bajo riego ha disminuido en relación al 2005. Lo anterior podría explicarse por la reconversión productiva de dicha superficie hacia cultivos con mayores perspectivas de rentabilidad.

La superficie bajo temporal se ha incrementado a una tasa media anual de 1.7 por ciento entre 2005 y 2015, para ubicarse en 5.8 millones de hectáreas durante 2014. SIAP-SAGARPA estiman un incremento de 6.8 por ciento en la superficie de temporal durante el ciclo 2015.

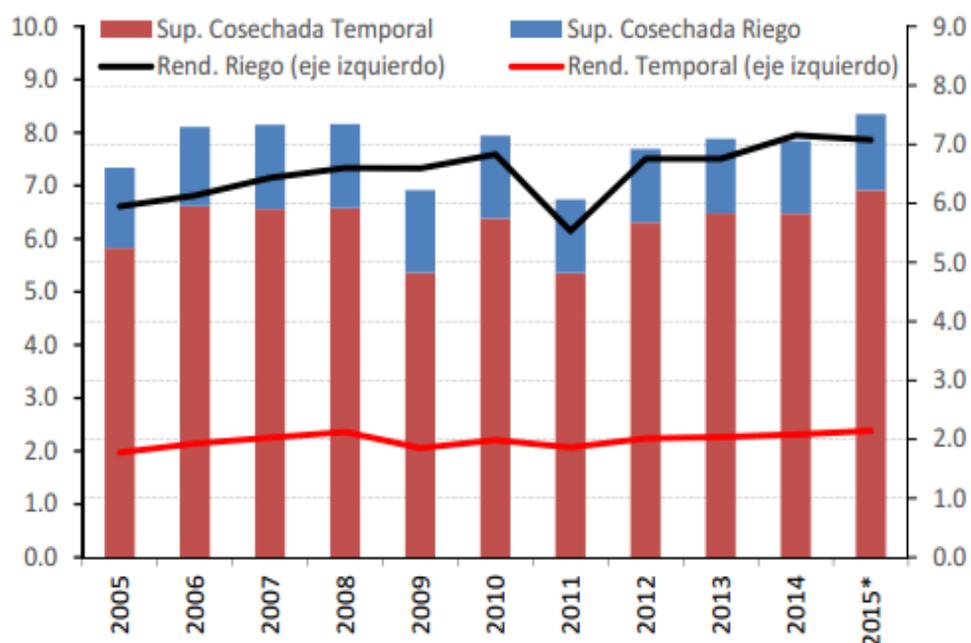


Figura 16. Superficie cosechada y rendimientos de maíz grano por modalidad hídrica 2005-2015* (millones de hectáreas y toneladas por hectáreas)

Fuente: SIAP-SAGARPA

Aun cuando la superficie bajo modalidad de riego apenas representa el 17.5 por ciento del total de la superficie cosechada de maíz en México, los rendimientos promedio por hectárea son considerablemente superiores a los reportados en superficie de temporal y han mostrado un mayor dinamismo que los rendimientos en temporal.

Así, entre 2004 y 2014 los rendimientos en riego han crecido 1.7 por ciento en promedio, mientras que los rendimientos en temporal han aumentado 1.2 por ciento en promedio en el mismo periodo. Durante 2014 el rendimiento promedio por hectárea en riego se ubicó en 8.0 toneladas mientras que en temporal promedió 2.3 toneladas, un diferencial de 5.6 toneladas por hectárea.

4.1.4 Principales Estados productores de Maíz para grano

Durante el año agrícola 2014 diez estados concentraron el 80.0 por ciento de la producción nacional de maíz grano. Sinaloa se ubica como el principal productor de maíz en el país con una participación de 15.8 por ciento en 2014, lo cual representa un volumen de 3.7 millones de toneladas. En segundo lugar se encuentra Jalisco con 14.9 por ciento de participación y un volumen de producción de 3.5 millones de toneladas en 2014. En tercer lugar se encuentra Michoacán con una participación de 8.3 por ciento del total y un volumen de 1.9 millones de toneladas (Figura 17).

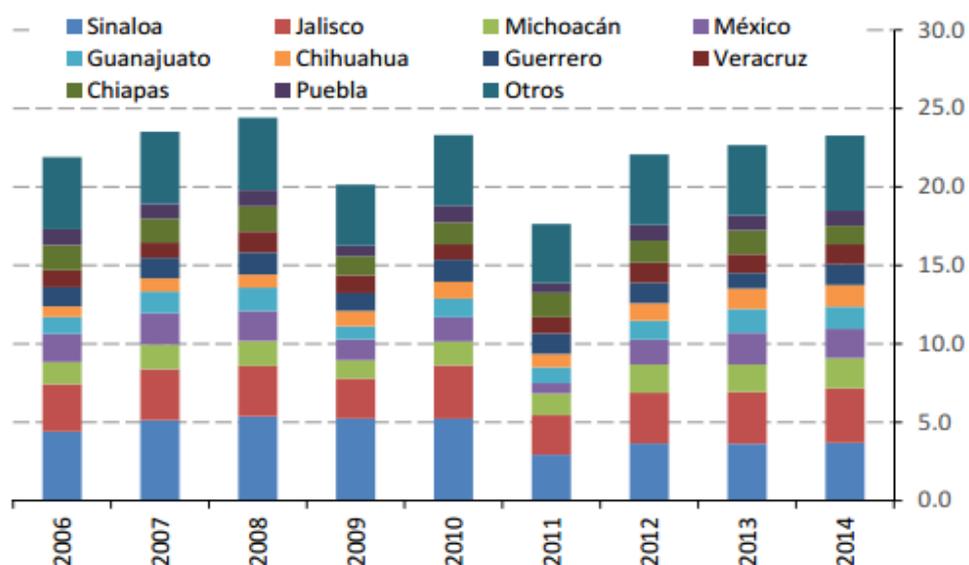


Figura 17. Principales estados productores de maíz grano en México, 2006-2014 (Millones de toneladas)

Fuente: SIAP-SAGARPA.

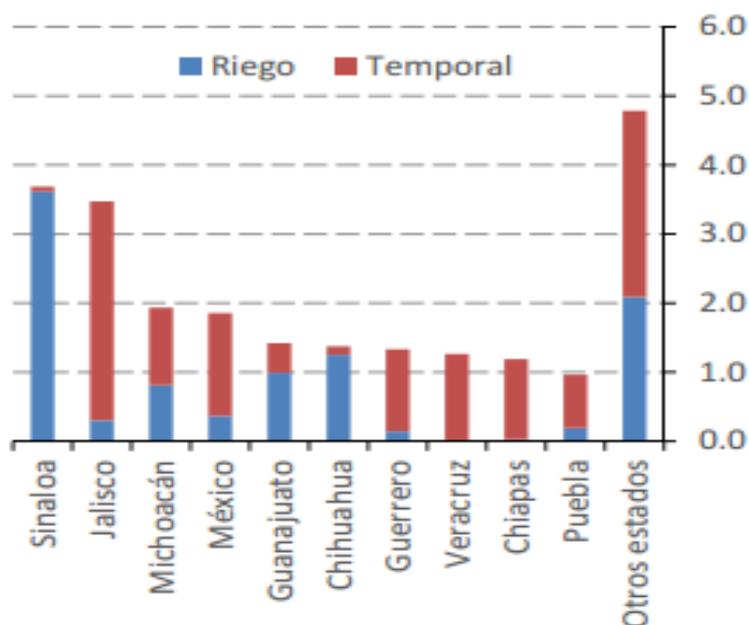


Figura 18. Principales estados productores de maíz para grano en México, 2014 (Millones de toneladas). Por modalidad hídrica

Fuente: SIAP-SAGARPA.

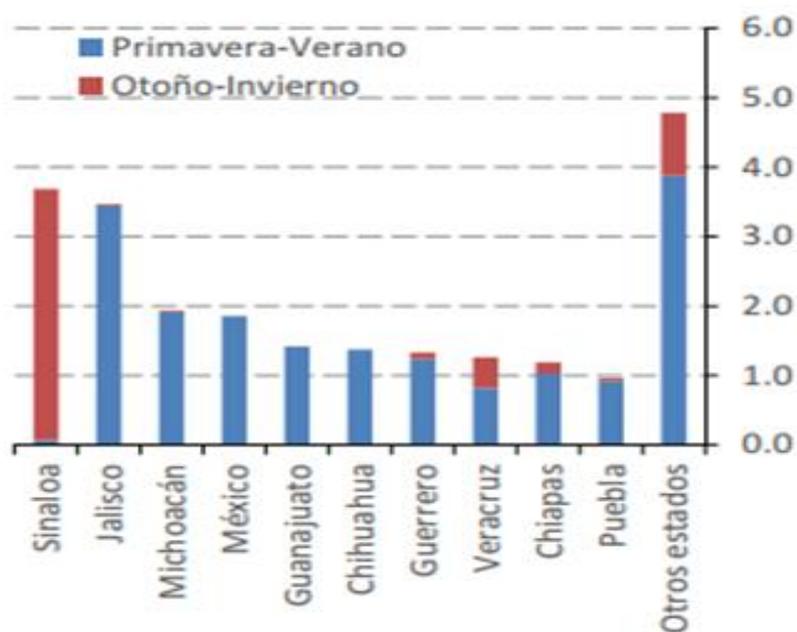


Figura 19. Principales estados productores de maíz para grano en México, 2014 (Millones de toneladas). Por ciclo agrícola

Fuente: SIAP-SAGARPA

4.1.5 Consumo Nacional

Al igual que la producción nacional, el consumo doméstico de maíz grano presenta una recuperación durante los últimos tres años comerciales. Así, de acuerdo con estimaciones de SAGARPA, durante 2014 el consumo de maíz grano en nuestro país creció 18.7 por ciento a tasa anual para ubicarse en 33.6 millones de toneladas, de los cuales 63.9 por ciento, o 21.5 millones de toneladas, corresponde a maíz blanco y el restante 36.1 por ciento, 12.1 millones de toneladas, corresponde a maíz amarillo.

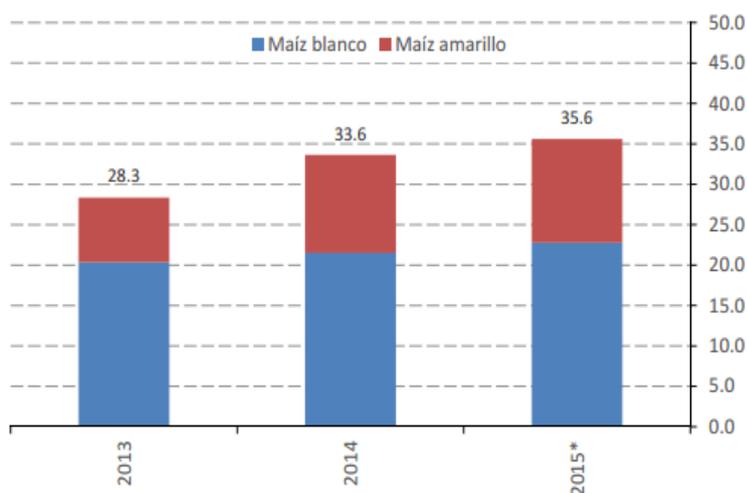


Figura 20. Consumo de maíz grano en México, 2013-2015* (Millones de toneladas)

Fuente: SIAP-SAGARPA. *Estimaciones en Septiembre 2015

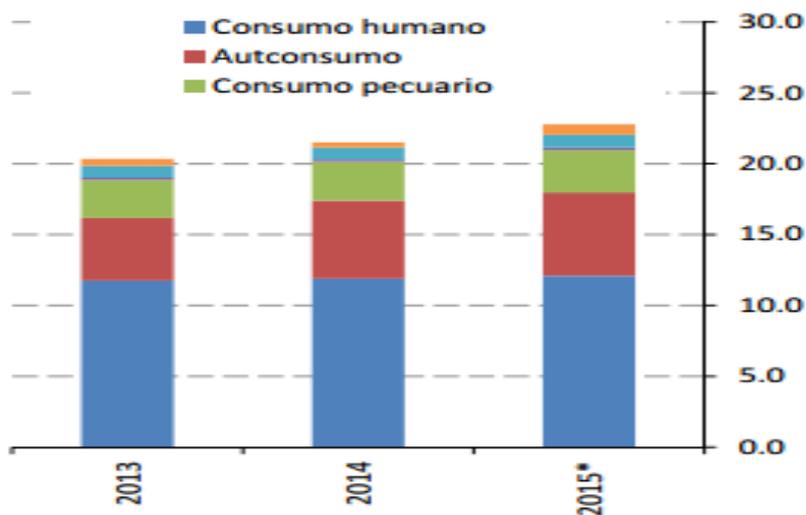


Figura 21. Consumo de maíz grano blanco en México, 2013-2015* (Millones de toneladas)

Fuente: SIAP-SAGARPA. *Estimaciones a septiembre de 2015

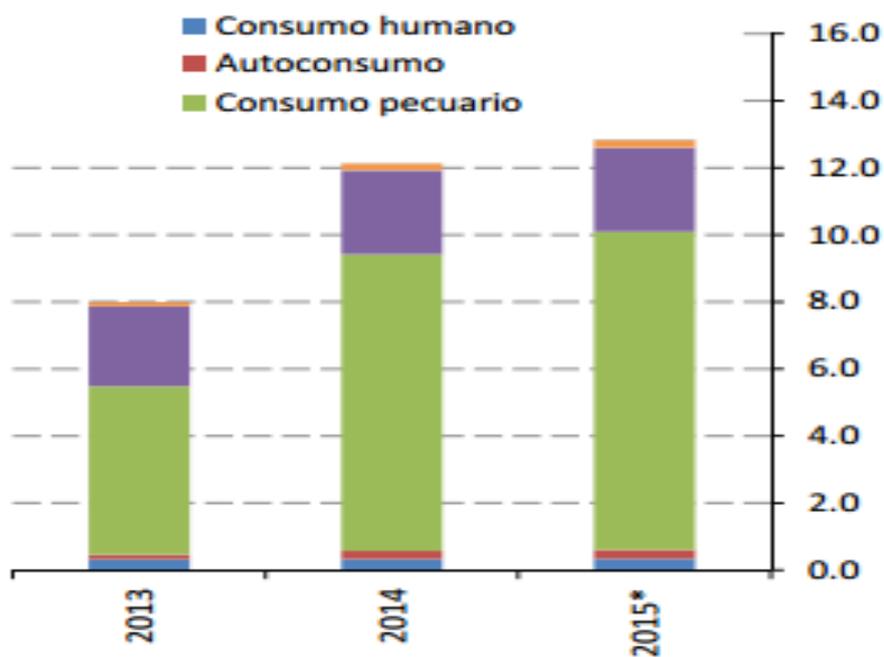


Figura 22. Consumo de maíz grano amarillo en México, 2013-2015* (Millones de toneladas)

Fuente: SIAP-SAGARPA. *Estimaciones a septiembre de 2015

4.2 Aportación del maíz Mexicano a nivel internacional.

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) estima que la producción para el ciclo 2015/16 en los principales países productores se ubica a la baja. México como uno de los principales productores se encuentra en el lugar 7 a nivel mundial.

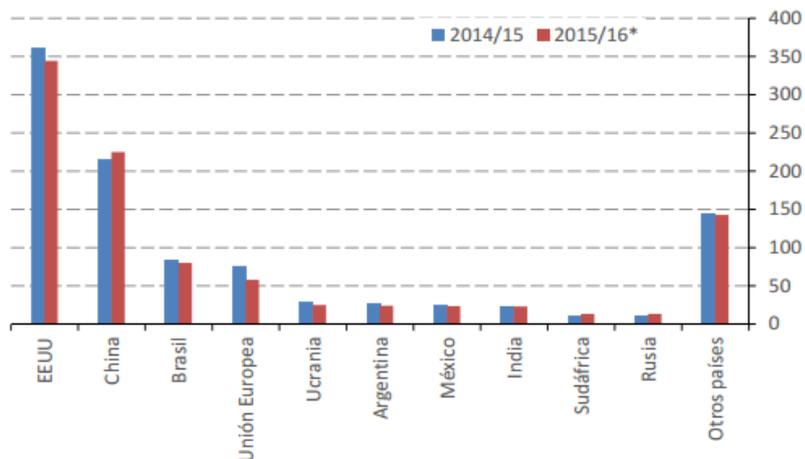


Figura 23. Principales países productores de maíz, 2014/15 y 2015/2016* (millones de toneladas)

Fuente: PSD-USDA. *Proyectado en Octubre de 2015

5 TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN E INCREMENTO DE LOS RENDIMIENTOS

5.1 Manejo del ambiente

El maíz es muy exigente en cuanto a la fertilidad física del suelo. Esto que a menudo se olvida, puede ser en muchos casos el principal factor limitante de la producción. También son importantes varios aspectos relacionados con el clima (www.agroes.es, 2016).

5.1.1 Capacidad de retención de agua

La capacidad de almacenamiento de agua del suelo es fundamental para asegurar un suministro continuo entre riegos. El maíz es particularmente sensible a la falta de agua en el entorno de la floración, desde 20-30 días antes hasta 10-15 días después. En suelos con escasa profundidad, o pedregosos, la capacidad de almacenamiento se ve limitada y, cuando es posible, debe suplirse con mayor frecuencia de riegos.

Lo ideal es mantener una alta disponibilidad de agua en el suelo, en términos de potencial de agua del suelo (no debe superarse 1,5 atmósferas en el periodo de la floración y algo más en el resto del ciclo). Si el potencial hídrico es mayor (en términos absolutos) comienza a mermar la producción (www.agroes.es, 2016).

En relación con la disponibilidad de agua, el maíz es muy sensible a la salinidad del suelo. Una concentración salina, expresada como conductividad eléctrica en extracto de pasta saturada, superior a 1,7 dS/m a 20 °C comienza a afectar al cultivo, y con 3,8 dS/m la producción desciende un 25%.

5.1.2 Aireación

El maíz es muy sensible a la asfixia radicular. No soporta los suelos apelmazados o con mal drenaje. Necesita un mínimo del 10% del volumen de suelo ocupado por aire. Tanto la aireación del suelo como la circulación de agua están estrechamente ligadas a la estructura del suelo, que favorece la formación y mantenimiento de la porosidad. Es esencial proteger la estructura frente a agresiones como el tránsito de maquinaria pesada en malas condiciones de humedad, el laboreo intenso o la elevada energía del agua aportada en riegos por aspersión (www.agroes.es, 2016).

5.1.3 Temperatura

Respecto a la temperatura, el maíz se muestra especialmente sensible durante la germinación, nacencia e inicio de la vegetación. Requiere un mínimo de 12° C de temperatura del suelo para la germinación. Algunos síntomas de carencia en el inicio del cultivo están originados por bajas temperaturas que impiden el desarrollo radicular. La temperatura del suelo puede, hasta cierto punto, modificarse mediante el manejo de los restos orgánicos en superficie y del riego (www.agroes.es, 2016).

5.1.4 Las necesidades nutricionales del maíz

En resumen, es esencial el mantenimiento de la “fertilidad física” del suelo. Su deterioro puede causar limitaciones no siempre fáciles de identificar y, a menudo, de muy lenta corrección.

El maíz tiene unas necesidades nutricionales por unidad de producción similares a otros cereales, como el trigo o la cebada. Pero debido a sus producciones, habitualmente mucho más altas, las cantidades de nutrientes demandadas por el maíz, en términos absolutos, son mucho más elevadas. Existen diferentes referencias sobre las cantidades de nutrientes esenciales consumidos en mayor cantidad.

VARIABLES SEGÚN AUTORES, SON DE UN MÁXIMO DE 28-30 kg de nitrógeno (N), 10-12 kg de fósforo (P₂O₅), y 23-25 kg de potasio (K₂O), por cada 1.000 kg de grano producido.

Adicionalmente, hay un consumo significativo de calcio, magnesio y azufre. Hay que destacar el hecho de que una parte importante de los nutrientes extraídos son destinados a partes de la planta que no siempre se retiran del campo. Esto hace que existan importantes diferencias entre la extracción total de nutrientes y la exportación. Estas diferencias son particularmente importantes en el potasio, en el que sólo una pequeña parte va destinada al grano que se cosecha, y en los microelementos (www.agroes.es, 2016)

5.1.5 Fertilización

Todas las plantas requieren de 16 elementos químicos para vivir; por ello se les denomina elementos esenciales. Ellas fabrican con éstos los compuestos orgánicos e inorgánicos que hacen posible que las plantas crezcan, se desarrollen y produzcan un rendimiento económico (León, 2008).

La clasificación de macro y micronutrientes está basada en la cantidad de nutrimento requerida por la planta. Todos los nutrimentos tienen la misma

importancia para el crecimiento y desarrollo de las plantas, si existe deficiencia de alguno de estos el crecimiento y desarrollo son afectados negativamente (Fundación Produce, Michoacán).

El maíz, como todo cultivo requiere de suelos con profundidad adecuada y buena fertilidad natural para desarrollarse y producir de acuerdo a su potencial genético. Para conocer la fertilidad del suelo en el que estableceremos nuestro cultivo, es necesario tomar una muestra de suelo de nuestro terreno y mandarla al laboratorio para hacer un análisis físico-químico del suelo.

Con los resultados del análisis de suelo tendremos la idea del tipo de fertilizante comercial a utilizar, la dosis y épocas de aplicación más adecuadas para las condiciones propias de su terreno.

Para dar una recomendación sobre fertilización en determinada región es necesario basarse en la experiencia de la investigación a nivel de predio, análisis de suelo, pH, tipo de suelo y otros factores ambientales.

A continuación se dan algunas recomendaciones que sin ser inflexibles servirán como una guía. Estas recomendaciones podrían variar según la experiencia y conocimiento sobre las condiciones ambientales y socioeconómicas tengan los consultores individuales y empresas privadas de asistencia técnica, investigadores y productores en cada zona. Estas recomendaciones corresponden a rendimientos óptimos económicos y no a rendimientos máximas agronómicas.

El 50% de Nitrógeno Urea y toda la fórmula debe aplicarse al momento de la siembra luego entre los 20 y 30 días después de nacido el maíz aplicar el resto de Nitrógeno. Sin embargo, la planta de maíz utiliza más eficientemente el

Nitrógeno si se aplica en tres fracciones: el 33% al momento de la siembra y los otros dos tercios a los 20 y 40 días, respectivamente.

Cuadro 1. Recomendaciones para fertilización de variedades e híbridos de maíz.

Cultivos----- Tipo de Tecnología y QQ's de Fertilizante		-----Mínima-----Media-----Alta---		

Variedad de polinización Libre	1 de Fórmula	1 de Fórmula	2 de Fórmula	
Híbridos	2 de Urea 46%	2 de Urea 46% 2 de Fórmula 3 de Urea 46%	3 de Urea 46% 3 de Fórmula 4 de Urea 46%	

5.1.6 Necesidades hídricas del maíz

El rendimiento del maíz disminuye drásticamente por la falta de agua en periodos críticos del mismo, para evitar que esto ocurra es importante considerar las necesidades hídricas del cultivo para programar los riegos. La falta de agua en la etapa de hoja bandera, espigamiento, floración y grano lechoso-masoso, pueden reducir el rendimiento en 40, 60, 50 y 20%, respectivamente, con relación al rendimiento obtenido en condiciones no limitantes de humedad del suelo (Fundación Produce, Michoacán).

Existen varios criterios para decir cuándo regar, a continuación se mencionan los más destacados:

- a. Regar en etapas fenológicas críticas a la falta de agua. Para el maíz las etapas críticas son en hoja bandera, espigamiento, floración, y estado de grano lechoso-masoso, lo cual dependiendo de la variedad ocurre entre

- los 55-65, 65-75, 75-85 y 95-115 días después del riego de germinación, aproximadamente.
- b. Regar en base a calendarios con intervalos entre riegos. El calendario de riego en el cultivo del maíz en climas cálidos es a los 0-20-35-50-60-70-80-95 días después de la siembra y en zonas templadas es en la siembra y cuando las precipitaciones sean reducidas, menores a la evapotranspiración del cultivo.
 - c. Establecer un tanque evaporímetro de 1.3 m de diámetro y 0.35 m de alto, de color blanco sobre una base de madera y lejos de árboles o construcciones, para medir la evaporación diaria hasta agotar la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo. Cada lectura del tanque obtenida por diferencia entre el día anterior y el día de lectura, deben multiplicarse por 0.75 que equivale a la lámina evapotranspirada por el cultivo en ese periodo.

-Salinidad del Suelo

Los excesos de sales en la parcela se pueden eliminar con lavados, aplicando una lámina de riego mayor a la programada, con lo que las sales del complejo de intercambio y libres, son lavadas y lixiviadas fuera de la zona radicular. Esto ocurre principalmente con el Ca, Mg y en menor medida el K.

La presencia de sodio se puede apreciar en manchones oscuros y brillantes y en que conforme pasa el tiempo los riegos se realizan cada vez con mayor rapidez. En los suelos de textura mediana y fina se recomienda que el contenido de sodio intercambiable no rebase el 5%; cuando se presenta una mayor concentración el problema se puede corregir con aplicaciones de sulfato de calcio. El yeso agrícola es la opción más económica y se requiere aproximadamente 1 ton/ha de sulfato de calcio, para reducir cada punto porcentual de PSI por encima de 5%, para 0.30 m de suelo.

-Calidad del agua de riego

El agua de riego contiene sales como cloruro de sodio, carbonato y bicarbonato de calcio, sulfato de magnesio y cloruro de potasio, por lo que si las cantidades son excesivas en el agua de riego es algo muy común.

La formación de carbonato de sodio residual puede limitar la utilización por encima de 2 meL^{-1} , y no debe utilizarse para riego. Como regla general, en el caso de bicarbonatos es necesario aplicar 15 ml de H_2SO_4 por m^3 de agua aplicada, por cada meL^{-1} de bicarbonato.

5.1.7 Manejo de plagas y enfermedades

➤ Plagas del suelo

En el suelo existe una gran cantidad de insectos plaga que se alimentan de las semillas, raíces y tallos tiernos, provocando el desarrollo anormal de las plantas, ocasionando densidades de población bajas de plantas por superficie.

Entre los insectos plaga más comunes en el suelo están: Gallina ciega (*Phyllophaga spp.*) gusano cuerudo (*Agrotis spp*) gusano alambre (*Aeolus spp*), escarabajos nematodos y áfidos de las raíces. La gallina ciega se encuentra causando daño económico en todos los suelos que se usan para cultivar el maíz y otros cultivos. Antes de la siembra se recomienda realizar muestreos de suelo para determinar la presencia de plagas.

Después de la preparación del suelo, se debe realizar cinco muestreos distribuidos al azar, se hacen agujeros con las siguientes dimensiones: 30 cm. de ancho, 30 cm. de largo y 20 cm de profundidad. El suelo recolectado se coloca en una tela color blanco para facilitar el conteo de larvas presentes. Se maneja un nivel crítico de tres larvas grandes o cinco larvas pequeñas de gallina ciega en los cinco puntos de colecta. Se recomienda el control químico antes de la siembra si se alcanza el nivel crítico.

Medidas de Control Antes de la Siembra:

- Preparación del suelo 15 o 30 días antes de la siembra. Es una buena medida para eliminar los huevos, larvas y pupas. Estos son maltratados, expuestos al sol y a enemigos naturales especialmente. pájaros, hormigas y otros depredadores.
- La destrucción de las malezas, zacates y plantas hospederas o un periodo libre de plantas antes de sembrar eliminar las larvas jóvenes.
- La rotación de cultivos con leguminosas de cobertura, ayuda a reducir las poblaciones.

Las prácticas de labranza cero ayudan a controlar las larvas.

- En la época de vuelo de los adultos en las primeras lluvias, el adulto ronrón o mayate es atraído por la luz en la noche. La colocación de trampas de luz, para atraerlos durante la noche. Se puede utilizar candiles, fogatas, candelas y otros, sostenidas en un trípode o tabla, poniendo en el suelo un recipiente de agua jabonosa donde caen los adultos.
- Cuando el número de larvas es igual o supera el nivel crítico; se deben hacer controles en la siembra.
- Tratar la semilla con insecticidas para protegerla durante el periodo de germinación.
- Aplicación de insecticidas granulados al suelo en los surcos al momento de la siembra.
- Aumentar la densidad de la siembra

Plagas del follaje

En la primera etapa de crecimiento de la planta desde la germinación hasta las 8 hojas es importante considerar el daño que pueden causar los cortadores, ya que reducirán la densidad de población. Los muestreos visuales son muy importantes, deben realizarse por lo menos dos veces por semana: al encontrar plantas cortadas debe estar seguro que las larvas se encuentran presentes en la base de la planta.

Se maneja un nivel crítico de cortadores y coralillo es de 5% de plantas muestreadas y que estén cortadas o marchitas con la presencia del cortador o el barrenador. El cogollero (*Spodoptera frugiperda*) inicia sus etapas muy temprano; el nivel crítico es de 10-15% a nivel producción comercial. Para barrenadores del tallo (*Dietrea lineolata*) el nivel crítico es cuando 61-20% de las plantas estén infestadas con huevos o larvas recién eclosionadas, ya que después se dificulta las prácticas del control químico por su hábito alimenticio. Para la tortuguilla o crisomélidos (*Diabrotica balteada*) el nivel crítico recomendado es de 50 adultos en 100 plantas revisadas.

En la etapa de intenso crecimiento de 8 hojas hasta la floración, las plagas causan serios daños al área foliar. Disminuyendo la capacidad fotosintética, retardando el crecimiento y desarrollo y por consiguiente reduciendo el rendimiento de la planta.

El gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) es la plaga de mayor importancia económica en el cultivo del maíz. Este es un masticador del tejido vegetal de plantas jóvenes, también se comporta como un cortador, provocando daño durante la noche.

Otro síntoma típico de la presencia del insecto es el estiércol fresco del gusano sobre el cogollo. El muestreo es una práctica de Manejo Integrado de Plagas (MIP), cuya finalidad es conocer el grado de infestación para tomar la decisión de aplicar un plaguicida.

Se recomienda hacer cinco muestreos, tomados al azar por parcela, observando 20 plantas en cada punto, hasta un total de 100. En esta etapa cuando el daño es mayor de 30%, se recomienda el uso de un plaguicida.

Control cultural

- Siembras en labranza cero ayuda a reducir las poblaciones de cogollero. El maíz en siembras intercaladas con frijol presenta menos daño que cuando el maíz se siembra solo.
- Las altas precipitaciones y el riego por aspersión reducen las larvas de primer y segundo estadio.
- Evitar las siembras escalonadas.
- Destruir las malezas hospederas antes de siembra.
- Siembra de una densidad alta para asegurar que la siembra compense la perdida da algunas plantas, especialmente en zonas con historial de daño.
- Cuidar y fertilizar bien el cultivo, ya que las plantas fuertes y vigorosas pueden tolerar más daño al follaje sin sufrir bajas significativas en el rendimiento.

Control Biológico

En la literatura se registran hongos entomófagos, bacterias, virus, parasitoides de las larvas que incluyen nematodos, chinches asesinas, tijeretas, hormigas y otros depredadores larvales importantes. En cuanto al uso de parásitos para el control del cogollero se ha encontrado tasas altas de parasitismo natural. La avispa *Chelonus insularis*, presenta un porcentaje de parasitismo de 75%. El parásito ovíparo, *Telenomus remus* su establecimiento en algunas zonas ha resultado en parasitismo de 60%, en

zonas ha sido menos eficiente debido al uso indiscriminado de plaguicidas, también se recomienda el uso del *Bacillus thuringiensis* (Bt) en el control del cogollero.

Para aumentar las poblaciones de enemigos naturales se debe reducir el número de aplicaciones químicas, hacer liberaciones constantes de parasitoides y aplicaciones de hongos entomófagos durante la época adecuada.

Control mecánico

El control mecánico de las larvas ha sido usado por algunos productores al aplicar aserrín, tierra o arena fina, agua azucarada (como atracción de hormigas) al cogollo.

Control químico

Si el muestreo revela daños arriba de los niveles críticos, se recomienda el uso de insecticidas comerciales selectivos, en las dosis correctas, utilizando equipo protector de aplicación, y tomando todas las medidas de seguridad antes y después de aplicar.

➤ Manejo de enfermedades

Las enfermedades son favorecidas por las condiciones ambientales, el tipo de suelo, la susceptibilidad de los materiales y, en el caso de las enfermedades de origen viral, por las condiciones que favorezcan la

migración, establecimiento y supervivencia de los insectos vectores (Varón y Sarria, 2007).

Fusariosis

Lo causa *Fusarium sp.* Los daños que provoca son el secamiento de hojas, la pudrición de tallos, necrosis en las raíces y en la mazorca causa podredumbre en período de pre o post cosecha. Estos daños la mayoría de las veces se presentan al final del cultivo. También se ha comprobado que este hongo y la planta pueden coexistir sin presentar un síntoma evidente de la enfermedad, es por ello en muchos casos se desconoce si el cultivo está libre de esta enfermedad (Borbón, 2011).

Éste patógeno y en su mayoría todos los hongos es común que se presenten cuando existe en el ambiente humedad relativa alta y temperatura promedio.

- Métodos de control: se puede controlar sembrando híbridos resistentes, evitar el ataque del gusano barrenador, un abonado equilibrado en N y K, y disminuyendo la densidad de siembra.



Figura 24. Fusarium en mazorca

Fuente: <http://biblioteca.inifap.gob.mx/>

Pudrición de la mazorca

Nombre científico: *Diplodia zeae maydis*. Esta enfermedad ocasiona la pudrición del tallo, raíz y mazorca. Cuando se siembra semilla infectada, el porcentaje de germinación es muy bajo, y las plantas que sobreviven tienen las vainas de las hojas de un color rojizo púrpura que se extiende hacia los entrenudos, lo cual ocasiona una pudrición seca de color oscuro en las últimas estructuras, además, los tallos se vuelven quebradizos (Borbón, 2011).

- Métodos de control: utilizar semilla certificada de híbridos resistentes y no sembrar por lo menos durante dos años en terrenos infestados.



Figura 25. Pudrición de mazorca



Figura 26. Pudrición de tallo

Tizón foliar

Nombre Científico: *Helminthosporium maydis*. Esta enfermedad sigue siendo un factor de preocupación debido a su potencial destructivo en caso de que se presente. Se manifiesta por manchas pequeñas en las hojas, de color pardo o pardo negruzco, de formas ovaladas. Los daños son variables, dependiendo de que haya un ambiente favorable al desarrollo del hongo (alta humedad sobretodo).

Esta enfermedad esta favorecida por temperaturas entre 20 a 32 °C. Los conidios son diseminados por el viento y por agua de lluvia. El hongo sobrevive en restos del cultivo, en forma de micelio o de clamidosporas y por eso puede constituir problema en áreas donde se utiliza la siembra directa. El único hospedero conocido es el maíz (Borbón, 2011).

- Métodos de control: eliminación de restos de cosecha, empleando semillas de híbridos resistentes y desinfección de semilla.



Figura 27. Tizón foliar

Fuente: <http://biblioteca.inifap.gob.mx/>

Roya común

Nombre Científico: *Puccinia sorghi*. Este patógeno solo ataca al maíz, aun cuando su nombre específico refiere confusamente a sorgo. Se presenta anualmente con diferentes niveles de severidad dependiendo del híbrido, de los biotipos del patógeno presentes y de las condiciones ambientales durante el ciclo del cultivo. Los síntomas diagnósticos en cualquier tejido verde de la planta son las pústulas en el haz y envés de las hojas, alargadas, de color herrumbroso oscuro con restos de tejidos epidérmicos, ubicadas en bandas en el centro de las hojas. Los teliosoros con teliosporas oscuras, casi negras se observan al final del ciclo del cultivo (Borbón, 2011).

- Métodos de control: las técnicas de manejo preferenciales son la resistencia genética y el control químico con fungicidas mezcla de estrobilurinas y triazoles en momentos críticos.



Figura 28. Roya común

Fuente: <http://biblioteca.inifap.gob.mx/>

Roya polysora

Nombre Científico: *Puccinia polysora*. Afecta al maíz en las regiones tropicales y subtropicales del mundo y sólo es restringida por la sensibilidad del patógeno a la temperatura y requiere temperaturas superiores a 25 °C y alta

humedad. Infecta las hojas, vainas foliares y las hojas de la espiga. Difiere de la roya común (*P. sorghi*) en aspectos sutiles, por ejemplo los urediniosoros son más pequeños, circulares u ovales, de color anaranjado claro, ubicados generalmente en el haz de las hojas y escasamente en el envés, con una distribución uniforme y densa sobre toda la lámina.

Los teliosoros permanecen mucho más tiempo cubierto por la epidermis y a menudo aparecen en círculos alrededor de los uredinios. El ataque de este patógeno se observan especialmente después del comienzo de llenado de granos, sin embargo con lluvias frecuentes pueden ocurrir ataques tempranos (Borbón, 2011).

- Métodos de control: evitar el monocultivo en siembra directa, no sembrar maíz después de maíz o sorgo y rotar con otras especies por 1 ó 2 años.



Figura 29. Roya Polysora

Fuente: <http://biblioteca.inifap.gob.mx/>

Carbón del maíz

Nombre Científico: *Ustilago maydis*. Los daños se manifiestan como verrugas o abultamientos en las hojas en las franjas internerviales o en la base

de los tallos. También puede afectar a las flores masculinas y sobre la mazorca. La enfermedad se propaga principalmente cuando el maíz se desarrolla en clima húmedo y nuboso, o también en sitios secos cuando las primaveras son lluviosas (Borbón, 2011).

Métodos de control: utilizar híbridos resistentes, como el carbón se propaga por el aire, tiene poca efectividad la desinfección de la semilla. No obstante, se recomienda el uso de un fungicida sistémico.



Figura 30. Carbón del maíz

Fuente: <http://biblioteca.inifap.gob.mx>

5.2 Mecanización

El proceso de mecanización agrícola ha sido progresivo y de enorme alcance e importancia. Se inicia hace miles de años con el uso de herramientas muy simples construidas por el hombre primitivo y con el devenir de los tiempos su desarrollo ha sido más que extraordinario.

En el momento de la invención de la agricultura hace 12 mil años aproximadamente, en los sitios más antiguos, el hombre contaba solo con instrumentos manuales, en los que el mecanismo motor era su propia fuerza de

trabajo, desde luego que estas condiciones imponían restricciones a la productividad del trabajo.(Cruz 2001). Hacia el año 3000 a. C. en la mesopotamia asiática se verifica la transición de las herramientas manuales a las de tracción animal y prácticamente, salvo pequeñas mejoras o modificaciones la evolución de la mecanización del agro se detuvo allí hasta la edad media (Botta 2003).

Considerando la fecha más antigua del inicio de la agricultura y su desarrollo histórico, se nota que el hombre únicamente utilizó su fuerza física la mitad del tiempo transcurrido desde la aparición de la agricultura hasta la actualidad y aproximadamente 49 % del tiempo restante se auxilió exclusivamente en la fuerza de los animales ,de lo que resulta que es solo en el último periodo(1% de dicho tiempo), es decir un siglo, cuando se ha presentado un avance tecnológico que logra disminuir la utilización de la fuerza del hombre y de los animales en la agricultura, sustituyendo prácticamente en países desarrollados , el uso de esta fuerza por el de las máquinas (Cruz 2001).

Siendo que en México dicha transición de herramientas manuales a las de tracción animal se realiza hasta la conquista en el siglo XVI, y se sabe que fue primero en las minas, estancias ganaderas, transporte y después se presentó en la agricultura, en los cultivos de interés comercial para los españoles como el trigo y la caña de azúcar (Cruz 2001).

En Europa aparecen las primeras sembradoras a finales del siglo XVI, pero los hitos fundamentales en la mecanización de las tareas realizadas por el hombre son la invención de la máquina de vapor por Watt y de la locomotora de vapor por Stevenson en Inglaterra a fines del siglo XVIII.

La invención de los motores de combustión interna, hacia los años 1876 por Otto y 1892 por Diesel (Alemania), crea la base para el desarrollo de los primeros tractores como se los concibe hoy en día, en este sentido es sabido por todos que la base de la mecanización agrícola es el tractor.

El tractor agrícola, a pesar de existir desde hacía más de un siglo, alcanza su máxima difusión durante la Segunda Guerra Mundial, en caso debido al enorme incremento en la demanda de alimentos y fibras con una disponibilidad de trabajo agrícola reducida.(Botta 2003).

La presencia de la maquinaria agrícola en México no es muy antigua solo en algunas regiones del país se presentó la mecanización, pero más bien como una excepción o una excentricidad de los productores, como fue la presencia de tractores de vapor adquiridos por la hacienda de Jaral de Berrio.(Cruz 2001).

Del primer tractor de combustión interna que se tiene noticias en México, fue el que recibió Don Venustiano Carranza Siendo Presidente , como un presente de Henry Ford, algunos años después se importaron al país , en forma directa por comerciantes y agricultores , los tractores Ford que fueron pioneros en la mecanización agrícola en México.(Gallardo 1977).

Siendo en total 112 tractores los que se importaron de Estados Unidos hasta antes de 1918 ,desde entonces y hasta finales de los años treinta , la mecanización avanzó muy poco, pero a partir del sexenio de Ávila Camacho , se dio un impulso decisivo a la introducción de tractores(Hewitt citada por Masera 1990).

La Reforma Agraria fue la que facilitó la adquisición de tractores en bloque cuando en 1936 el Banrural adquirió un lote de tractores para destinarlos al cultivo de algodón en la región lagunera. (Cruz, 2001).

En el período de Miguel Alemán se fortaleció este programa. Con el apoyo oficial, en los veinte años que comprende de 1940 a 1960, las existencias aumentaron 11 veces. (Maserá 1990). Así de acuerdo con la secretaria de industria y comercio hasta el año de 1965 concurrían al mercado mexicano, trece empresas consideradas como las principales importadoras de tractores.

5.3 Uso del germoplasma

Conceptos

- Recursos Fitogenéticos: los se definen como el material genético de origen vegetal que tiene un valor real o potencial destinado a la alimentación y la agricultura, estos recursos han sido conservados y desarrollados por los agricultores de forma tradicional y son la base para desarrollar nuevas variedades y tecnologías (SNICS-SAGARPA, 2015).
- Banco de germoplasma: un banco de germoplasma es el lugar creado con determinadas condiciones para la conservación del germoplasma en forma de semilla, polen o cultivo de tejidos. Almacenan variedades tradicionales, productos del mejoramiento, variedades fuera de uso y especies silvestres. La FAO (1993) plantea, que los bancos de germoplasma son el medio principal para almacenar material fitogenético en un medio controlado, donde las semillas pueden desecarse hasta alcanzar un contenido de humedad bajo y almacenarse a temperaturas

bajas sin perder su vitalidad (EcuRed en Línea)

https://www.ecured.cu/Banco_de_Germoplasma.

La humanidad, a través de toda su historia ha dependido para su supervivencia de los recursos que le son proporcionados por la naturaleza; por largos periodos de tiempo el hombre contó con recursos ilimitados para la satisfacción de sus necesidades primarias; sin embargo, a partir del siglo XX, se ha tomado plena conciencia que el crecimiento poblacional, los desastres naturales y los provocados por el hombre hacen indispensable un manejo y utilización racional de estos valiosos recursos, los que repentinamente se encuentran bajo amenaza por los factores mencionados.

Ya que los alimentos y otros productos de primera necesidad de origen vegetal, así como su producción, constituyen un componente esencial para la humanidad, la conservación y aprovechamiento juicioso de la aún amplia variedad de especies de plantas que persisten en la actualidad son conceptos vitales para los agricultores y científicos involucrados en las ciencias agrícolas.

En el presente la humanidad enfrenta serios retos, de los cuales quizás el más visible sea el crecimiento poblacional, con las implicaciones que tiene para la producción de alimentos, para consumidores cada vez más exigentes que demandan menor uso de agroquímicos y atributos específicos de calidad; además los alimentos frecuentemente se tienen que producir en condiciones ambientales difíciles y con insumos escasos.

Ante tal perspectiva, el mejoramiento genético puede ayudar a enfrentar estos retos adicionando características que mejoren la calidad, eleven la

tolerancia a condiciones climáticas adversas o proporcionen resistencia a plagas y enfermedades, con base en combinaciones específicas de genes más que en insumos químicos.

El mejoramiento genético de los cultivos depende completamente de los recursos genéticos disponibles; cualquier avance registrado en potencial de rendimiento, resistencia a plagas, calidad o características deseables en las variedades actuales proviene de cruzamiento o selección realizada por agricultores o fitomejoradores profesionales sobre la base de recursos genéticos, silvestres o mejorados de todo el planeta y sobre esta misma base, tanto los agricultores como los fitomejoradores han generado otros recursos fitogenéticos (Molina y Córdova, 2006).

Los logros del mejoramiento genético no son permanentes, pues siempre hay problemas por resolver en virtud de que la disponibilidad de insumos, las plagas, los patógenos, el clima están en constante cambio, por lo que los fitomejoradores necesitan rutinariamente nuevas fuentes de germoplasma (Molina y Córdova, 2006).

5.3.1 Mejoramiento in-situ

Desde el inicio de su existencia, los seres humanos, incapaces de elaborar por si mismos los alimentos que posibilitan su vida, han tenido que recurrir a diferentes organismos, tanto animales como vegetales para la satisfacción de sus más elementales necesidades. Sin embargo, son las plantas verdes, las que, por tener la capacidad de producir a través del proceso fotosintético sus propios substratos energéticos, constituyen el primer eslabón

en el flujo de energía de los ecosistemas en los que nuestra especie se encuentra involucrada.

A diferencia de las estrategias aplicadas a la conservación ex situ de los recursos fitogenéticos en las que suele prestarse mayor atención a los aspectos biológicos y técnicos involucrados en la prolongación de la viabilidad del germoplasma (tipo de semilla, temperatura y humedad de los cuartos fríos, etc.), en las opciones pertinentes a la conservación in situ es imprescindible considerar, además de estos últimos, los relacionados con los aspectos de la cultura de los grupos humanos que perciben a un determinado conjunto de taxa vegetales como recursos (incluidas las plantas silvestres), las manejan y aprovechan de maneras muy particulares, o bien han contribuido a su selección bajo domesticación (Cuevas y Gil, 2006).

La conservación de recursos genéticos in situ, de acuerdo a Otto Frankel citado por Cuevas y Gil (2006) se refiere “al mantenimiento continuo de una población en la comunidad a la cual pertenece, dentro del ambiente al que está adaptada”. Según la Convención de la Diversidad Biológica, por conservación in situ se debe entender “la conservación de ecosistemas y sus hábitats naturales, así como el mantenimiento y recuperación de poblaciones de especies en sus medios naturales”. En el caso de especies cultivadas o domesticadas, la conservación in situ se realiza en los hábitats donde esas especies cultivadas han desarrollado sus propiedades distintivas.

Al referirse a la conservación in-situ en un país como México, es necesario tener presente que, además de los aspectos vinculados a la conservación de la viabilidad del germoplasma vegetal, la continuidad de los conocimientos

empíricos y de algunas actitudes involucradas en la percepción, manejo, aprovechamiento, conservación y depuración de los recursos vegetales, evidencian la necesidad de considerar los múltiples aspectos culturales correlacionados (positiva o negativamente) con la evolución de los mismos.

5.3.2 Mejoramiento *ex situ*

La conservación *ex situ* es una forma un tanto artificial de mantener los recursos fitogenéticos y ha sido la manera como algunos países han compensado la carencia de recursos fitogenéticos propios, al grado que son los países con menor diversidad vegetal los que poseen los más grandes reservorios de recursos genéticos; así mismo, han generado diversas técnicas en adición a la conservación clásica de semillas como: conservación *in vitro*, almacenamiento de ADN, crioconservación, almacenamiento de polen, conservación en campo y jardines botánicos (Engels y Wood, 1999 citados por Molina y Córdova en 2006).

La selección de la mejor técnica depende fundamentalmente de la forma de reproducción (sexual o asexual) y del tipo de semilla botánica (ortodoxa o recalcitrante). Las semillas del tipo ortodoxas toleran grandes reducciones de su contenido de humedad sin perder la viabilidad, por lo que se denominan tolerantes a la desecación, en contraste las del tipo recalcitrante pierden rápidamente su viabilidad si su contenido de humedad es reducido al nivel de las ortodoxas y por ende se denominan intolerantes a la desecación. En general las semillas del tipo ortodoxas se conservan en bancos de germoplasma o cuartos

fríos y las recalcitrantes y de reproducción asexual en cualquiera de las otras técnicas o combinación de varias de ellas.

La conservación ex situ de semilla botánica en bancos o cuartos fríos se subdivide en dos formas: (1) colección base, referida al conjunto de accesiones, cada una distinta de las otras, conservado a largo plazo; (2) colecciones activas, conjunto de accesiones inmediatamente disponibles para su multiplicación y distribución. La colección base generalmente se mantienen a temperaturas inferiores a 0 °C, preferentemente a -18 °C, con una humedad de la semilla entre 3 y 7%, mientras que las colecciones activas se pueden conservar con temperaturas hasta de 5 °C (IPGRI, 1994 citado por Molina y Córdova en 2006). Aunque México posee una gran riqueza vegetal, la conservación ex situ es la forma más extendida de conservar sus recursos fitogenéticos.

5.4 Mejoramiento convencional

5.4.1 Selección masal

La selección masal es el método más antiguo y simple para llevar a cabo mejoramiento de maíz. Este consiste en seleccionar mazorcas deseables de las mejores plantas y seguida de la siembra en masa de la semilla seleccionada (W. Jugenheimer, 1990). El éxito de este tipo de selección depende en gran medida de las frecuencias genéticas y la presión de selección de los tipos deseados.

5.4.2 Selección recurrente

Es la selección sistemática de los individuos deseables de una población, seguida por una recombinación, para formar una nueva población (Chávez y López, 1987).

El objetivo de este método es incrementar la frecuencia de genes deseables en las poblaciones variables, seleccionando y recombinando generación tras generación las plantas que tengan los genes deseables.

La efectividad de la selección recurrente depende:

- De la variabilidad genética.
- De las frecuencias génicas de la población.
- De la heredabilidad de las características bajo selección.

El éxito de la selección recurrente dependerá de:

- La existencia de genes deseables en la población original.
- La efectividad del procedimiento de selección.
- El grado de recombinación.
- El número de ciclos de selección.

La selección recurrente se divide en:

- Selección recurrente Fenotípica. Esta se refiere cuando la selección es basada en el fenotipo de las plantas (selección masal).
- Selección recurrente Genotípica. Esta se lleva a cabo cuando las plantas son seleccionadas en base al comportamiento de su progenie (Selección de familias de MH, HC, progenies autofecundadas etc.)

El mejoramiento poblacional por selección se divide en:

- Mejoramiento intrapoblacional.
- Mejoramiento interpoblacional.

Mejoramiento Intrapoblacional. Se refiere al mejoramiento de una población Per-se incluye selección dentro, de una u otras poblaciones. La población mejorada puede ser usada como una nueva variedad, pueden derivarse líneas para comercializarse como variedades homocigotas, o bien para el uso en combinaciones híbridas.

Mejoramiento interpoblacional. Mejoramiento de dos o más poblaciones. Aquí una población sirve como probador de la otra o viceversa, en otros casos ambas pueden tener un probador común.

La elección del método a utilizar dependerá de las características que quieran mejorar, objetivos de la selección y en gran medida de los recursos humanos y económicos del programa de mejoramiento.

5.4.3 Hibridación

Hibridación. Es el acto de fecundar los gametos femeninos de un individuo (planta) con gametos masculinos procedentes de otro individuo (Chávez y López, 1987).

La hibridación en el mejoramiento de cultivos alógamos se realiza bajo los siguientes objetivos:

1. Explotar el vigor híbrido (heterosis).
2. Formación de ideotipos (arqueotipos) específicos para determinados ambientes.
3. Provocar variabilidad y selección de nuevos materiales.
4. Seleccionar los materiales que van a intervenir como progenitores en las cruzas.
5. Seleccionar la craza adecuada y deseable de acuerdo a las exigencias del consumidor.

Los procedimientos para lograr los objetivos es a través de cruzamientos intervarietales e interespecíficos y la utilización de líneas endogámicas de amplia aptitud combinatoria, los genotipos que intervienen en los diferentes cruzamientos híbridos pueden ser: líneas, híbridos, variedades, especies, razas, clones etc.

5.4.3.1 ¿Qué es el maíz híbrido?

El maíz híbrido puede ser la primera generación de una craza entre líneas autofecundadas; entre una línea por una craza simple o la craza entre dos híbridos simples.

¿Qué es la autofecundación?

Es el acto de fecundar los órganos femeninos de una planta con su propio polen (autopolinizar).

Para la formación de híbridos superiores en maíz se requiere:

- Obtención de líneas autofecundadas (polinización controlada).
- Determinación de cuáles de las líneas producen combinaciones superiores.
- Utilización comercial de las líneas y cruzas para la producción de semilla.

5.4.4 Variedades sintéticas

Se le conoce como variedades sintéticas (VS), a aquellas que se han formado por medio de la combinación de un grupo selecto de líneas autofecundadas, de tal forma que se les pueda propagar por tiempo indefinido a través polinización libre (Chávez y López, 1987).

Son llamadas variedades sintéticas, porque de cierta manera han sido sintetizadas artificialmente mediante variedades criollas o de cualquier otro material de amplia base genética.

Una variedad sintética se produce a partir de todos los entrecruzamientos posibles, con un cierto número de genotipos seleccionados por buena aptitud combinatoria; de esto se obtiene una población que se someterá a multiplicación a partir de semilla de polinización libre.

La formación de sintéticos puede darse desde simples mezclas de semilla cosechada de plantas seleccionadas, hasta una mezcla de diferentes líneas autofecundadas, seleccionadas entre sí, así como de clones, poblaciones en las que se ha realizado selección masal, o con buenas variedades criollas. Mientras un sintético sea formado correctamente será más rendidor que su fuente de procedencia.

5.5 Mejoramiento moderno

5.5.1 ADN recombinante

5.5.1.1 Aplicaciones de la Ingeniería Genética en la Agricultura

El desarrollo inicial de la tecnología del ADN recombinante (ADNr) implicó el uso de sistemas bacterianos y de levaduras, y posteriormente se expandió a los sistemas de mamíferos. Con estos logros que era sólo cuestión de tiempo antes de que los sistemas de plantas se hicieron susceptible a la ingeniería genética.

Es cada vez más evidente que la tecnología del ADN recombinante tiene el potencial de afectar a mejoras significativas en la producción agrícola mundial. Esta tecnología permite a los científicos modificar el germoplasma que los fitomejoradores utilizan, mientras que la producción del germoplasma es a un ritmo considerablemente más rápido que a través de fitomejoramiento clásico. A pesar de que los fitomejoradores tienen acceso a un gran banco de germoplasma, los biólogos moleculares tener fácil acceso a los genes que pueden o no estar disponibles a través de medios tradicionales. Por lo tanto, la combinación de herramientas moleculares y cultivo clásico constituye una fuerza potencialmente poderosa para mejorar el rendimiento de los cultivos.

La aplicación de la tecnología de transformación genética de plantas ha hecho posible investigación a fondo de desarrollo de las plantas y ha contribuido significativamente a nuestra comprensión de estos procesos.

Este aumento de la información básica brinda un mejor conocimiento de cómo funcionan los sistemas de plantas y contribuye al objetivo de mejorar el vigor y el rendimiento en plantas. Además, la relativa facilidad con que se pueden obtener plantas transgénicas de muchas especies de plantas pone en una posición ventajosa en relación con estudios similares con animales transgénicos. Ciertamente, hay límites a esta tecnología, pero las tecnologías están mejorando continuamente, haciendo de esta zona de la agricultura emocionante tanto para la investigación básica y aplicada.

5.5.1.2 Transformación Genética de Plantas

A principios de la década de 1980 el principal obstáculo para la ingeniería genética de las plantas era la falta de un sistema para la transferencia de genes en plantas. Esto fue obviada cuando un sistema natural que efectúa la transferencia génica en muchas especies de plantas fue explotada.

El sistema que se desarrolló implica una bacteria del suelo, *Agrobacterium tumefaciens*, que, naturalmente, induce la enfermedad de agalla de la corona en plantas dicotiledóneas. La bacteria alberga un gran plásmido, el plásmido Ti (inductor de tumores), que facilita la incorporación de una parte de su ADN (ADN transferido o ADN-T) en el ADN nuclear de la planta infectada. Los genes responsables de la transferencia del T-ADN están presentes en el plásmido Ti pero no se encuentran dentro del T-DNA.

Los genes responsables de la biosíntesis de fitohormonas son codificados en el ADN-T, y cuando los genes se expresan en la planta infectada, que causan tejido a proliferar, formando una vesícula. Además, el T-ADN contiene genes biosintéticos que conducen a la acumulación de opinas en tejido de la planta transformada. Opinas son metabolitos únicos que son fácilmente detectables en el tejido vegetal *Agrobacterium* transformado y sirven como marcadores para la transformación.

Los investigadores han extraído los elementos esenciales de este sistema de transferencia de ADN natural y han desarrollado sistemas de transporte de plásmidos que permiten la propagación de genes extraños en *Escherichia coli* y su transferencia posterior a través de *A. tumefaciens* en plantas. Los primeros informes de los sistemas de transformación de plantas que describen plásmidos de expresión de plantas-lanzadera que combinan varios componentes:

1. Un gen de resistencia a antibiótico (para la selección en *A. tumefaciens* y en *E. coli*).
2. Un gen marcador que se expresa en las plantas (por lo general un gen de sintasa de opina).
3. origen coli Un E. de replicación para la replicación estable en *E. coli*.
4. Un segundo gen de resistencia a antibiótico que sirvió como un marcador seleccionable para células de plantas transgénicas y que estaba flanqueado por el ADN-T de un plásmido Ti.

5.5.1.3 Ingeniería para Resistencia a Herbicidas

Uno de los primeros objetivos de investigación aplicada alcanzados a través de la tecnología de transformación de la planta fue la construcción de plantas transgénicas tolerantes a herbicidas. Varios grupos han informado parte de la tolerancia genética a varios herbicidas, incluyendo sulfonilureas, phosphinothricins, atrazina, y bromoxinil, pero nos vamos a centrar en la tolerancia al glifosato. El glifosato es conocido como un herbicida que dificulta la biosíntesis de aminoácidos aromáticos mediante la inhibición de la enzima EPSP sintasa.

La investigación se inició a la empresa Monsanto para aislar a una planta alterada EPSP sintasa que era resistente a la inhibición por glifosato o una línea de células de planta que produce en exceso EPSP sintasa. Tal gen sería utilizado para desarrollar plantas resistentes al glifosato. Por lo tanto, un cultivo celular de petunia se cultivó para aumentar continuamente las concentraciones de glifosato y luego seleccionar las células tolerantes.

Cuando se estudió la línea celular resistente, se encontró que los EPSP sintasa se produce en exceso de 15 a 20 veces en comparación con las células sensibles. La base molecular para la sobreproducción era debido a la amplificación del gen de la EPSP sintasa. Se aisló el gen de la sintasa EPSP para formar esta línea, y un gen quimérico se construyó para unir la región de codificación del gen de la EPSP sintasa con el promotor 35S del CaMV. Las plantas de petunia transgénicas que expresan este gen fueron significativamente más tolerante a glifosato que las plantas de control.

Un gen de la sintasa EPSP modificado ha sido transferido a las plantas de soja utilizando el sistema de transformación de *Agrobacterium*, y la resistencia al glifosato se ha obtenido en plantas regeneradas. Aunque las mejoras adicionales se están haciendo en las construcciones génicas, estos resultados demuestran el valor de la tecnología de transformación para producir plantas tolerantes a herbicidas.

5.5.1.4 Ingeniería para resistencia a plagas

Otra área de la agricultura que ha sido afectado por el desarrollo de la tecnología de la ingeniería genética de las plantas es el control de plagas y enfermedades de las plantas. Muchas de las predicciones para el uso de la ingeniería genética para la mejora de los cultivos están centradas alrededor de resistencia de las plantas a las plagas. Debido a que muchos rasgos de resistencia naturales se rigen por los genes individuales, estos rasgos parecían ser objetivos accesibles.

En general, los biólogos moleculares no están tratando de diseñar completamente nuevos métodos de resistencia a las plagas, pero se están adaptando y extendiendo los métodos existentes mediante la introducción de genes específicos directamente en las bases genéticas que no son accesibles por los métodos tradicionales de cultivo. En este sentido, es importante reconocer que se pueden obtener todos los beneficios de la biotecnología vegetal en la agricultura, en colaboración con los mejoradores de plantas. Por lo tanto, esta tecnología debe ser vista como una herramienta adicional para los mejoradores en lugar de un reemplazo potencial para sus prácticas.

5.5.1.5 Resistencia inducida

Las plantas muestran una variedad de respuestas cuando es invadida por patógenos o expuesto a determinados productos químicos o físicos. En algunos casos, la infección de una planta por un patógeno puede causar que la planta se vuelven resistentes a la infección posterior por el mismo o diferentes agentes patógenos. De hecho, la exposición de una planta a los extractos de algunos patógenos y no patógenos puede dar lugar a resistencia a la enfermedad subsiguiente. Este fenómeno se ha denominado resistencia inducida.

El descubrimiento de la resistencia inducida condujo a la especulación de que puede ser posible "inmunizar" plantas similares a la forma en que uno inmuniza animales. Además de la protección cruzada contra la infección por virus, las respuestas menos específicas a la invasión de patógenos incluyen la resistencia sistémica inducida.

5.5.1.6 Resistencia específica

A pesar de que sólo ahora se está estudiando la ingeniería genética de la resistencia inducida, su aplicación para conferir resistencia a patógenos específicos en las plantas transgénicas es mera avanzada. Esto se debe en gran parte a la relativa simplicidad de la resistencia específica en comparación con la resistencia inducida general. Por ejemplo, muchas bacterias y hongos producen toxinas que son activas contra otras especies de bacterias u hongos, y muchas de estas toxinas son codificadas por genes individuales.

Dos enfoques básicos están siendo considerados para su uso derivada de la biotecnología de estas toxinas. Un enfoque alternativo consiste en modificar genéticamente un microorganismo no patógeno que normalmente coloniza la planta huésped con el gen de la toxina de manera que el microorganismo podría secretar la toxina. Su presencia en la superficie de la planta limitaría el crecimiento del patógeno.

Mientras que esta alternativa puede ser menos deseable, sí permite el uso de ingeniería genética para la resistencia a las plagas en las especies de plantas para las que la transformación y regeneración todavía no son factibles.

5.5.2 Producción de dobles haploides

Un doble haploide (DH) es un genotipo que se forma cuando las células (n) de un haploide experimentan un proceso, espontáneo o inducido artificialmente de duplicación cromosómica (Prasanna, 2013).

La tecnología DH hace posible la creación de líneas con un 100% de homocigosis acortando el ciclo de mejoramiento (en 2 o 3 generaciones), en comparación con el proceso convencional para el desarrollo de líneas endogámicas (6 u 8 generaciones).

Diversas instituciones han producido líneas DH con métodos *in vitro* o *in vivo*, el método *in vivo* ha resultado el más sencillo gracias a que los genetistas de maíz Coe, 1959; Coe y Sarkar, 1964 identificaron “materiales genéticos inductores de haploidía”, además incorporaron un marcador de color a base de antocianina en la configuración genética de los inductores, esto con el fin de facilitar la identificación de haploides tanto en la semilla como en etapa de

plántula. La tecnología DH es reconocida a nivel mundial como un medio importante para aumentar la eficiencia en el mejoramiento.

El marcador a base de antocianina denominado *R1-Navajo (R1-nj)* es marcador que se utiliza en muchos programas de mejoramiento *in vivo* para inducir haploidía en progenitores maternos.

El marcador R1-nj se expresa en la aleurona (capa externa del endospermo del maíz) y en el embrión (escutelo) del inductor de haploidía, a diferencia de las poblaciones fuente, que no suelen tener coloración de antocianina ni en el embrión ni en el endospermo. Por tanto, R1 nj como marcador de color dominante ayuda a diferenciar los granos haploides (n) (sin expresión de antocianina de color morado o rojo en el escutelo, pero con la típica coloración de la corona en el endospermo) de los granos diploides ($2n$) (con expresión de antocianina tanto en el endospermo como en el escutelo) (Nanda y Chase, 1966; Greenblatt y Bock, 1967; Chase, 1969; Citados por Prasanna, 2013).

Los inductores de haploidía son sepas genéticas especializadas que, cuando se les cruza con una planta diploide (normal) de maíz, produce granos en una mazorca con segregación de granos diploides ($2n$) y una cierta fracción de granos haploides (n), a causa de la fertilización anómala (Prasanna, 2013).

5.5.2.1 Identificación de haploides

La utilización de marcador R1-nj en general es bastante eficaz, aunque este no está exento de algunas fallas. La presencia de genes dominantes que inhiben la acción de antocianina (C1-I, C2-idf e In1-D) en la población fuente o en

el genoma donador, o los efectos de las dosis aplicadas pueden ser la causa de una mala identificación de semillas haploides.

5.5.2.2 Duplicación cromosómica

El tratamiento con colchicina (obtenida de bulbos de *colchicum autumnale*) es uno de los más usados como agente de duplicación cromosómica (o inhibidor mitótico) en la producción de DH, ya que de manera natural la duplicación de cromosomas es a tasas muy bajas.

El tratamiento con este químico se les da a las plántulas las cuales deben tener un manejo muy especial y cuidadoso, ya que se está trabajando con un producto muy peligroso además de que las plántulas son muy sensibles a la manipulación. En algunas ocasiones el tratamiento no es muy efectivo lo que puede ocasionar diploidización sectorial de las inflorescencias masculinas y/o femeninas.

5.5.3 Selección asistida por marcadores moleculares

Las técnicas para elaborar mapas genéticos se crearon en la década de 1920, después de descubrir que los genes residen en los cromosomas, siendo la mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*) uno de los primeros organismos utilizados.

5.5.3.1 Mapeo genético

Los mapas genéticos se elaboraron a partir de las observaciones de que los genes que determinan caracteres morfológicos particulares se heredaban en grupos y que no ocurría la distribución independiente entre ellos. En la actualidad se cuenta con mapas genéticos detallados sobre la localización de genes

(elaborados a partir de caracteres visibles de plantas, *marcadores morfológicos*) de muchos cultivos hortícolas y extensivos.

Para los fitomejoradores conocer la localización de los genes en los cromosomas individuales es una información muy importante, ya que esta determinará el esfuerzo necesario para realizar la selección de individuos con genes favorables. También es interesante conocer en las especies poliploides el genoma específico en el que se localiza un gen deseable. Sin el alelo deseable no está presente el poliploide cultivado, podría ser necesario buscar este alelo en la especie progenitora.

5.5.3.2 Mapeo molecular

Los marcadores moleculares utilizados incluyen las isozimas, el polimorfismo de la longitud de los fragmentos de restricción (RFLP por sus siglas en inglés) y el DNA polimorfo amplificado al azar (RAPD, por sus siglas en inglés). Las isozimas son formas múltiples de una sola enzima, desde el punto de vista químico son proteínas complejas. Las isozimas fueron los primeros marcadores genéticos moleculares que se usaron en fitogenética y fitomejoramiento.

5.5.3.3 Polimorfismo de la longitud de los fragmentos de restricción (RFLP)

El RFLP se define como las diferentes longitudes de los fragmentos de DNA digerido por la endonucleasa de restricción detectada mediante una sonda definida entre individuos (Poehlman, 2003). Los diferentes fragmentos de DNA son producidos por enzimas de restricción que reconocen y rompen el DNA en secuencias específicas de nucleótidos. Después de ser cortado el DNA se

producen muchos fragmentos cuya longitud varía de cientos a más de miles de pares de bases.

No todos los fragmentos se analizan, en lugar de ello, para obtener el patrón de restricción de una planta particular se analizan secuencias específicas de DNA que están distribuidas por todo el genoma y que son complementarias del DNA clonado.

El DNA clonado representa un segmento corto de DNA de la planta que se incorporó a un vector; por ejemplo, un plásmido bacteriano. El vector multiplicará infinidad de veces estos segmentos, de manera que se contará con bastante DNA clonado para que se hibride con segmentos de DNA complementarios producidos por las enzimas de restricción. El DNA clonado se hibridará con el fragmento de DNA genómico de la planta que se va a analizar donde existan tramos de nucleótidos complementarios.

El DNA clonado se marca con un isótopo radio activo o un compuesto no radioactivo, como la biotina, lo que hace posible detectar la hibridación mediante autorradiografía, de ahí que al DNA clonado se le conoce como *sonda*.

5.5.3.4 Como se utiliza el RFLP

El RFLP es útil para identificar variedades, elaborar mapas genéticos, evaluar germoplasma y como criterio de selección indirecto. Debido a que es posible obtener varios patrones de bandas únicos en muchas especies cultivadas, la tecnología de RFLP puede utilizarse potencialmente para distinguir entre diferentes variedades. El grado de polimorfismo le da también a los

fitomejoradores una idea de que tanta variación genética potencial podría haber en una población que se esté reproduciendo.

5.5.3.5 DNA polimorfo amplificado al azar (RAPD)

Esta técnica se creó en 1990 para detectar rápidamente el polimorfismo entre individuos utilizando un solo cebador (en inglés *primer*, secuencia corta de nucleótidos con un 3'-OH reactivo capaz de iniciar síntesis de DNA a lo largo de una plantilla o molde) de secuencia arbitraria (por lo regular 10 nucleótidos) y la amplificación de fragmentos aleatorios de DNA genómico mediada por la PCR (reacción en cadena de la polimerasa) (Poehlman, 2003).

El procedimiento es rápido, requiere pequeñas cantidades de DNA y no requiere utilizar radiactividad. Los marcadores RAPD son a menudo dominantes ya que los polimorfismos se detectan con base en la presencia o ausencia de bandas sobre geles de agarosa teñidos con bromuro de etidio.

5.5.4 Uso de Transgénicos

En términos generales, la opinión científica se divide entre los que sostienen que las semillas transgénicas de maíz no representan ningún riesgo para la salud humana y el ambiente y que por el contrario son muchos los beneficios potenciales, y aquéllos que señalan que los riesgos, incertidumbres e ignorancia en torno a esta nueva tecnología todavía son muy altos (Escobar M., 2006).

Los argumentos a favor de los cultivos transgénicos son: que posibilitarán el incremento de los rendimientos en condiciones productivas restrictivas, facilitando la independencia de los insumos químicos; que se tendrán plantas resistentes a plagas y enfermedades; que se inducirán cualidades específicas en los alimentos tales como maíces con alto contenido de fibra u otros compuestos nutritivos, y que se tendrán beneficios ambientales, como tolerancia a la sequía y reducción de la erosión.

Los argumentos en contra señalan que: se pueden presentar cambios impredecibles en el comportamiento genético de las plantas modificadas; los ecosistemas se pueden poner en peligro, por ejemplo, a través de la posibilidad de que los genes modificados de una especie pasen a otra con consecuencias impredecibles o bien mediante el desarrollo de superplagas; que se produciría una mayor dependencia de insumos químicos específicos; pérdida de biodiversidad, riesgos a la salud humana y que los beneficios económicos estarían muy concentrados.

6 ASPECTOS SOCIALES, ECONÓMICOS Y POLÍTICOS DE LAS TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN

México es centro de origen y de diversificación continua del maíz, siendo además un país mega-diverso biológica y culturalmente. La diversidad de maíz en México está sustentada en alrededor de 59 razas y cientos de miles de variedades que resguardan, recrean, conservan y usan principalmente los pueblos originarios, pero también las comunidades campesinas (Cárcamo et al. , 2011). El cultivo del maíz en México es la base de la alimentación nacional y sobre todo forma parte de la dieta popular.

Con la aparición del maíz transgénico se han generado diversas opiniones y controversias que se resumen en dos posiciones. La primera que destaca la falta de estudios sobre las consecuencias que podría tener en términos económicos, sociales y culturales. Uno de los aspectos de mayor preocupación es si este tipo de maíz responde a las necesidades de los diversos productores en México, ya que la tecnología pudiera estar diseñada para productores que cumplen con ciertos requerimientos y características.

Otro aspecto importante es la experiencia que se tiene en relación a las prácticas agrícolas tradicionales aplicadas al maíz donde los pequeños agricultores experimentan nuevos materiales genéticos y practican el intercambio de semillas, por lo que el riesgo de introducción accidental de materiales genéticamente modificados de maíz no permitidos para su siembra deberá considerarse de manera especial (CIBIOGEN, 2011).

Es necesario rescatar la importancia del maíz en México, la situación en que se encuentra el cultivo en determinadas zonas maiceras y el impacto social, económico y cultural por la introducción amplia de cultivos GM a nuestro país.

6.1 Repercusiones económicas del uso de germoplasma mejorado vs variedades no mejoradas

A mediados del siglo XX se puso en práctica la Revolución Verde, ideada por científicos estadounidenses que sondeaban las posibilidades del desarrollo agrícola en países como el nuestro y auspiciada por la Fundación Rockefeller e instancias gubernamentales de Estados Unidos.

Dicha Revolución se presentó al mundo con la promesa de dar fin al hambre, elevando los rendimientos agrícolas y la producción de alimentos. Si bien en ciertas condiciones se incrementaron las cosechas en una quinta parte con el empleo de las nuevas semillas híbridas y la aplicación de las tecnologías asociadas, a largo plazo se revelaron saldos negativos en aspectos sociales, económicos y ambientales en los países en que operó (Marielle C. y Peralta L., 2007).

En nuestro país y en muchas naciones latinoamericanas, la brecha entre dos modelos agrícolas se profundizó. Por un lado, la agricultura tradicional campesina (arraigada en la milpa, el policultivo y las semillas criollas, y heredera de saberes comunitarios acumulados por tradición oral de generación en generación) resistió en zonas cada vez más marginales. En el otro extremo, la agricultura industrializada condujo a la especialización productiva de alta rentabilidad por medio de la difusión y la imposición del paquete tecnológico de

la Revolución Verde (mecanización, fertilización, productos fitosanitarios, semillas híbridas de alta homogeneidad, monocultivos y concentración de la tierra), funcional para la lógica del modelo económico de expansión capitalista.

Los beneficios únicamente recayeron en manos de grandes productores y complejos agroindustriales. Este desarrollo tecnológico no lo han podido adoptar hasta el momento la mayoría de los agricultores de bajos recursos que producen maíz para autoconsumo, ya que esta tecnología implica una inversión muy alta para realizar de manera eficiente un paquete tecnológico, además es tradición y herencias de años sembrar semilla nativa de los pueblos , Mexicanos.

La llegada de la Revolución verde dejó un rastro de exclusión social, de destrucción ambiental (compactación, esterilización y contaminación de suelos; polución de cuerpos de agua; multiplicación de plagas y generación de resistencia a plaguicidas; devastación de bosques; reducción de la biodiversidad y la agrobiodiversidad) y de altos riesgos para la salud humana y animal (contaminación y pérdida de calidad de alimentos; envenenamiento de trabajadores rurales, especialmente indígenas, mujeres y niños, que de ordinario no cuentan con información ni con medidas de protección) (Marielle C. y Peralta L., 2007).

La promesa de resolver el hambre no podía ser cumplida. El hambre proviene de modelos económicos injustos en que prevalecen la inequidad social, la falta de acceso a la tierra, los recursos y los alimentos, y la ausencia de políticas de redistribución de la riqueza, de manera que no se soluciona con un paquete tecnológico.

Adicionalmente, la Revolución Verde no estaba diseñada para las condiciones ambientales, culturales y económicas de la mayor parte del territorio nacional. Es importante poner de relieve que a pesar de los apoyos gubernamentales para la adopción de las semillas híbridas en la República Mexicana, a la fecha éstas se ocupan en sólo 25% de la superficie cultivada con maíz mientras que el resto se siembra con semillas criollas o nativas, y que sólo una de cada diez razas de maíz ha sido incorporada en programas de mejoramiento de variedades.

La autosuficiencia alimentaria que se había logrado en granos básicos fue perdiéndose progresivamente. México, que hasta los años sesenta incluso exportaba maíz, pasó a depender del exterior a pesar de mecanismos de política pública como la Compañía Nacional de Subsistencias Populares (conasupo), instituida en 1961.

Evidentemente, la emigración obedece a la pobreza y la falta de oportunidades para sostener una vida digna en el país, sobre todo en el campo: entre 1994 y 2005 se perdieron 2 millones de empleos rurales. El Banco Mundial registraba 45 millones de pobres en México en 2002, y hoy en día más de 19 millones de personas padecen pobreza alimentaria, es decir, hambre. La desnutrición afecta a más de 30% del total de los niños menores de 5 años y al 56% de los niños indígenas.

6.2 Repercusiones sociales del uso de germoplasma mejorado vs variedades no mejoradas

En 2001 los científicos Ignacio Chapela y David Quist, ambos de la Universidad de Berkeley, California, realizan muestreos en la Sierra Norte de Oaxaca y encuentran transgenes en parcelas campesinas. Publican el hallazgo en la revista Nature (2001), la cual después se desdice y descalifica la investigación de Chapela y Quist. Sin embargo, ellos ya habían notificado al Instituto Nacional de Ecología (INE) y estaba en curso otra investigación hecha por científicos de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav).

El hallazgo de transgenes en parcelas campesinas de Oaxaca, la dependencia alimentaria y la política económica adversa a los campesinos han desatado mayor movilización social. Actualmente hay Campañas por la Soberanía Alimentaria que, además de pedir que se renegocien maíz y frijol en el TLCAN, demanda que no se permita la siembra de maíz transgénico en el país. Paralelamente la industria biotecnológica, organizada en México en el Consorcio AgroBio, presiona constantemente para que se liberalice la siembra, argumentando que es la solución a los problemas de la agricultura y la alimentación en México.

La polémica muestra una arena de disputa donde se confrontan diversos intereses y fuerzas políticas y tiene repercusiones internacionales, por ser México centro de origen del maíz. Existe creciente interés de analistas y

académicos tanto en México como en el extranjero por estudiar el caso (Massieu T., 2009).

A partir de que en 2001 se supo sobre la presencia de transgenes en el maíz nativo de México, organizaciones campesinas, indígenas y de la sociedad civil han multiplicado acciones para estudiarla, denunciarla, detenerla y prevenirla. Asimismo, frente al desdén histórico de los derechos y las demandas de los pueblos de México por parte del Estado, han surgido luchas de reivindicación de la autonomía y de defensa integral de los territorios; algunas de ellas incorporan decididamente la salvaguardia de las semillas nativas.

Hasta la fecha se han creado diversas organizaciones por parte de campesinos e indígenas para evitar la entrada y uso de maíces mejorados, a partir de las amenazas que para el maíz nativo representa la agricultura industrial, los monocultivos y especialmente el maíz mejorado, amplios sectores de la sociedad se han movilizado en defensa del maíz y de la milpa, base de la alimentación familiar y elemento esencial de la cultura y de la identidad de México.

En México se ha establecido una disputa por el maíz. Por un lado están las poblaciones campesinas e indígenas de Mesoamérica, que reivindican su derecho legítimo a sembrarlo, comerlo y reproducirlo libremente, junto con las cuales científicos, organizaciones ambientalistas y de derechos humanos han levantado la voz de alarma, tanto por las implicaciones que tendría la producción de maíz mejorado en la alimentación y el ambiente, como por el despojo que significa para las comunidades indígenas y campesinas la introducción de esta tecnología en manos de unas cuantas empresas (Morales, 2014).

6.3 Aspectos políticos del uso de germoplasma mejorado vs variedades no mejoradas

La situación actual del maíz en México es contradictoria: por un lado, se tiene la suficiente capacidad productiva para satisfacer gran parte de la enorme demanda nacional, seguimos siendo el país del maíz; por otro lado, las políticas públicas han golpeado a la mayoría de los productores y a los consumidores, mientras que han favorecido los intereses privados y la creciente dependencia alimentaria (Marielle C. y Peralta L., 2007).

En diciembre de 2005 se aprueba la Ley de Bioseguridad, con una serie de irregularidades y contradicciones. Hay protestas y ésta es apodada Ley Monsanto. Se realiza el ciclo: “Sin maíz no hay país” en el Museo de Culturas Populares, en el que se presentan conferencias, exposiciones y eventos culturales (Massieu T., 2009).

De acuerdo con la jerarquía del orden jurídico mexicano, el Reglamento de la Ley de Bioseguridad lejos de proteger y desarrollar el Régimen de Protección Especial para el Maíz, lo viola flagrantemente. En segundo lugar la propia ley viola los tratados internacionales en la materia, especialmente el Convenio de la Diversidad Biológica (<https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>) y el Protocolo de Cartagena <https://www.cbd.int/doc/legal/cartagena-protocol-es.pdf>), lo que da por resultado que el Estado mexicano incurra en responsabilidad internacional. En pocas palabras, el Reglamento es ilegal y la Ley inconstitucional y contraria al derecho internacional. La Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente

Modificados de nuestro país, intenta introducir la división entre centros de Origen (CO) y Centros de Diversidad (CD) en su Artículo 86, que a la letra dice:

TÍTULO CUARTO

Zonas Restringidas

CAPÍTULO I

Centros de Origen y de Diversidad Genética

ARTÍCULO 86.- Las especies de las que los Estados Unidos Mexicanos sea centro de origen y de diversidad genética así como las áreas geográficas en las que se localicen, serán determinadas conjuntamente mediante acuerdos por la SEMARNAT y la SAGARPA, con base en la información con la que cuenten en sus archivos o en sus bases de datos, incluyendo la que proporcione, entre otros, el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, el Instituto Nacional de Ecología, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y la Comisión Nacional Forestal, así como los acuerdos y tratados internacionales relativos a estas materias. La SEMARNAT y la SAGARPA establecerán en los acuerdos que expidan, las medidas necesarias para la protección de dichas especies y áreas geográficas (Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados: Art: 86, 2005.).

ARTÍCULO 87.- Para la determinación de los centros de origen y de diversidad genética se tomarán en cuenta los siguientes criterios:

I. Que se consideren centros de diversidad genética, entendiendo por éstos las regiones que actualmente albergan poblaciones de los parientes silvestres del

OGM de que se trate, incluyendo diferentes razas o variedades del mismo, las cuales constituyen una reserva genética del material, y

II. En el caso de cultivos, las regiones geográficas en donde el organismo de que se trate fue domesticado, siempre y cuando estas regiones sean centros de diversidad genética (Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados: Art: 87, 2005.)

Esta división pretende justificar la imposición del maíz transgénico, “liberando” zonas o regiones para dichos cultivos, segregando el país en Zona permitidas y Zonas restringidas; impone, en el debate actual, la posible coexistencia de cultivos OGM y cultivos nativos, criollos o híbridos convencionales no transgénicos.

Este sistema crea así un estado de indefensión para las comunidades indígenas, campesinas y los agricultores que utilizan sus propias semillas, siendo una simulación de la bioseguridad e ignorando los compromisos adquiridos por México que incorporan el Principio Precautorio, estos son:

I. La Declaración de Río (Ver en línea <http://historico.juridicas.unam.mx/publica/librev/rev/derhum/cont/13/pr/pr24.pdf>)

II. El Convenio sobre Diversidad Biológica

III. El Protocolo de Cartagena

El Principio de Precaución señala que cuando haya peligro de daño grave o irreversible, el Estado queda obligado a adoptar medidas eficaces para impedir

la degradación del medio ambiente (y también salud). No es necesario que exista certeza científica absoluta; pues el principio de precaución protege frente a la duda razonable.

Puesto que México es el centro de origen del maíz y de diferentes plantas cultivadas de gran relevancia productiva y económica (frijol, algodón, tomates, chiles, aguacates, agaves, etc.), y que además ocupa un lugar privilegiado como país poseedor de un enorme patrimonio biológico, es urgente que nuestras instituciones se aboquen a generar los mecanismos más adecuados para dar protección legal a la riqueza biológica y agrícola que conforma nuestro patrimonio natural y cultural, como objetos de protección agraria y no sólo como objetos de protección mercantil (Escobar M., 2006).

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

La problemática de la implementación del uso de maíz transgénico en México es un tema muy discutido desde hace algunos años, ya que dentro de este se

contrastan temas como los daños que puede causar el uso de material transgénico a nivel alimenticio y las repercusiones que puede tener a nivel político, social y económico. El uso de semilla de maíz transgénico ha acarreado movimientos de campesinos e indígenas desde el año 2001, dado por el descubrimiento de material transgénicos en maíces criollos en el estado de Oaxaca por David Quist e Ignacio Chapela.

Dentro de la problemática actual sobre el uso de maíces transgénicos existen dos posturas, los que están en contra del uso de este material transgénico debido a las consecuencias que esta nueva tecnología puede representar a nivel social, político, cultural, económico, alimenticio, entre otros, y por otro lado los que argumentan que esta tecnología trae consigo múltiples beneficios principalmente el incremento de rendimientos.

Cabe mencionar que el uso de material transgénico proporciona a la agricultura múltiples beneficios, ya que con ello se pueden introducir material genético de otros organismos vivos para asignar ciertas características a los cultivos las cuales les permiten aumentar los rendimientos en los mismos y junto con ello el aumento en producción de alimentos, lo cual hoy en día es un tema de relativa importancia.

Las ventajas de usar semillas de maíz transgénico son múltiples, estas confieren a la planta resistencia a plagas, enfermedades, factores adversos, entre otras, lo que da como resultado aumentar los rendimientos de las cosechas y producir mayor cantidad de alimentos en menor superficie. Se han mencionado muchas desventajas en contra de las semillas transgénicas, en las que recae principalmente la adopción de nuevos sistemas de producción por parte de

pequeños agricultores, principalmente indígenas, los cuales han cuidado y preservado la semilla nativa desde muchos años atrás y que les ha permitido su supervivencia, además de que es parte de la cultura de sus pueblos y de sus tradiciones.

Si bien no se ha demostrado que la contaminación por material transgénico a maíces criollos tenga repercusiones, sería de mucha utilidad la implementación de políticas que permitieran el cuidado del material genético nativo de los maíces mexicanos, ya que como se sabe es la fuente de reserva genética para realizar investigaciones y programas de mejoramiento.

7.2 Recomendaciones

La implementación del uso de la biotecnología en el cultivo de maíz debe ser evaluada y adaptada para cada contexto específico: En el caso de México, los

hábitos alimentarios y los factores socioculturales tienen una influencia fundamental en la introducción del cultivo de maíz transgénico.

Es importante considerar la creación de políticas en torno a este tema; así como normas y reglas bien cimentadas que puedan enmarcar de manera positiva la aceptación de la nueva biotecnología, que bien utilizada podría ser de gran beneficio para la humanidad.

Es necesario que se lleven a cabo, investigaciones de mayor profundidad en cuanto a los efectos nocivos que sobre la salud pueda ocasionar el maíz transgénico.

Que los gobiernos se responsabilicen de hacer respetar las normas y reglas que se dicten en función de este tipo de tecnologías.

México puede alcanzar su seguridad alimentaria de maíz sin recurrir a la tecnología de transgénicos ni a la irreversible pérdida de la soberanía tecnológica y los riesgos y peligros implicados en la siembra de cultivos transgénicos, ya que el campo mexicano cuenta con un potencial para llevar a cabo la producción de Maíz, que aunque la producción no ha sido la suficiente para cubrir la demanda de nuestro país, la superficie cultivable cuenta con la capacidad productiva para hacerlo.

8 BIBLIOGRAFIA

- Aguilar J., C. Illsley., y C. Marielle. 2003. El sistema agrícola de maíz y sus procesos técnicos. Esteva G. y C. Marielle (Coordinadores). Sin Maíz no hay País. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Dirección General de Culturas Populares e Indígenas. México, D. F. pp.83-122.
- AgroEs.es. Maíz clima y suelo para su cultivo [en línea].
<http://www.agroes.es/cultivos-agricultura/cultivos-herbaceos-extensivos/maiz/264-maiz-clima-y-suelo-para-su-cultivo> [fecha de consulta 20/10/16].
- AgroSíntesis. 2015. Producción de maíz nacional y estatal [en línea].
<http://agrosintesis.com/produccion-de-maiz-nacional-y-estatal/> [fecha de consulta 05/03/16].
- Aragón C. F. 2006. Nueva población de teocintle en Oaxaca. Resúmenes del XXII Congreso Nacional y I Internacional de Fitogenética, Sociedad Mexicana de Fitogenética. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. p. 115.
- Augusto V. C. 2010. "Taxonomía y Botánica de los Cultivos de Grano". Universidad nacional autónoma de honduras. Sección 10:01. Serie lecturas obligatorias. 27 p.
- Bartolini R. 1990. El maíz. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. p 17.
- Bedoya A.C. 2010. "Teocintle: El ancestro del maíz." Claridades Agropecuarias 201: 32-42.
- Borbón G. A., D. González G., J. Macías C., J. Pérez M., E. Cortez M., J., Ureta T., H. Astengo C., y J. Valdez A. 2011. Recomendaciones para el cultivo de maíz durante el ciclo otoño-invierno en el estado de Sinaloa. Folleto técnico No 56. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Culiacán, Sinaloa. pp 27-31.
- Botta G. 2003. Guía de clases maquinaria agrícola: Licenciatura en negocios agropecuarios. Universidad de la Pampa. Argentina. 59 p.

- Bye, R. 1993. The role of humans in the diversification of plants in Mexico. In: T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot and J. Fa. Biological Diversity of Mexico: Origins and Distribution. pp. 707-735.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Secretaría General. Secretaría de Servicios Parlamentarios. 2005. Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados.
- Cárcamo M. I., M. García., M. I. Manzur., Y. Montoro., W. Pengue., A. Salgado., H. Velásquez., y G. Vélez. 2011. Biodiversidad erosión y contaminación genética del maíz nativo en América Latina. p. 18.
- Centro de Investigaciones Agrarias. 1980. El cultivo del maíz en México. ed. del 25 aniversario 1954-1979. México. pp. 11,17.
- Chávez A., J. L. y P. E. López. 1987. Apuntes de Mejoramiento de Plantas II. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro . Saltillo, Coahuila, México. 157 p.
- Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM). 2011. Impactos económicos, sociales y culturales de la posible introducción de maíz y otras especies genéticamente modificadas en México. Convocatoria para la exposición de propuestas a las demandas de bioseguridad. México D.F. 8 p.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2011. Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México: Resultados de proyectos relativos a la determinación de centros de origen y diversidad genética de maíz en México. Informe de gestión y resultados. 75 p.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2008. Documento de trabajo para el taller: Agrobiodiversidad en México: el caso del Maíz.
- Cruz L .A. y T. Martínez S. 2001. La tradición tecnológica de la tracción animal. UACH. Chapingo, México. 23 p.

- Cuevas S., J. A. y A. Gil M. 2006. Plan de Acción Nacional para la Conservación de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura en México. Capítulo 1. Conservación y Mejoramiento in situ. Chapingo, México.
- Delgado C., M. S., M. M. Gómez. V., M. E. Ortiz P., A. M. Entzana T., C. Y. Suárez H., y V. Santillán M. 2012. Situación Actual y perspectivas del maíz en México 1992-2012. SIAP. México, D.F. 131 p.
- Doebley J. 1990. Molecular evidence and the evolution of maize. *Econ. Bot.* 44 (3 supplement): 6- 27.
- Doolittle, E. W. and J. B Mabry. 2006. Environmental mosaic, agricultural diversity, and the evolutionary adoption of maize in the American Southwest. En: Staller, J. E., R. H. Tykot., and B. Benz (eds.) *Histories of maize multidisciplinary approaches to the prehistory, linguistics, biogeography, domestication and evolution of maize.* Academic Press. San Diego. pp. 109-121.
- Durán P. N., J. A. Ruíz., J. J. Sánchez., J. Ron., y D. R. González. 2007. Adaptación climática y distribución geográfica potencial del grupo racial Cónico (*Zea mays* L.) en la República Mexicana. *SCIENTIA-CUCBA* 9(1): 57-67.
- EcuRed. Banco de Germoplasma [en línea]. https://www.ecured.cu/Banco_de_Germoplasma [fecha de consulta 18/09/16].
- Escobar M., D. A. 2006. Plantas y semillas, nuevos recursos de protección legal agraria para los ejidos y comunidades de México (el caso del maíz). *Estudios Agrarios.* UACH. Zacatecas, México. 52 p.
- Fernández S., R., L. A. Morales C. y A. Gálvez M. 2013. "Importancia de los Maíces nativos de México en la dieta nacional. Una revisión indispensable " *Rev. Fitotec. Mex.* 36: 275-283.

- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). 2015. Panorama Agroalimentario, Maíz 2015. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. 36 p.
- Gallardo J., F.S. 1977. La Industria del Tractor Agrícola y el Mercado Nacional. Tesis. Licenciatura. Facultad de Economía. UNAM México D.F.
- Goodman, M.M. and Brown, W.L. 1988. Races of corn. In: Sprague, G.F and Dudley, J.W. (Eds.) Corn and corn improvement. Agronomy Monographs N°.18; pp. 33-79. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.
- Jugenheimer W., R. 1990. Variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de Semilla. Limusa. México D.F. p. 42,113,114.
- León., Coord C., M. Rodríguez., y R. Coord. 2008. El cultivo del maíz, temas selectos. Colegio de Postgraduados. Mundi-Prensa. México, DF. p. 3.
- Marielle C. y L. Peralta. 2007. La contaminación transgénica del maíz en México: Luchas civiles en defensa del maíz y de la soberanía alimentaria. Estudio de caso. Grupo de estudios ambientales. México D.F. p. 10, 21,22, 35.
- Masera C. O. 1990. Crisis y Mecanización de la Agricultura Campesina. El Colegio De México. México. D.F.
- Massieu T., Y. C. 2009. Cultivos y alimentos transgénicos en México: El debate, los actores y las fuerzas sociopolíticas. Argumentos UAM-X. Nueva época. México D.F. 243 p.
- Matsuoka, Y., Y. Vigouroux., M. M. Goodman., J. J. Sánchez G., E. Buckler and J. Doebley. 2002. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. PNAS 99(9): 6080-6084.
- Molina M., J. C. y L. Córdova T. 2006. Plan de Acción Nacional para la Conservación de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura en México. Capítulo 2. Conservación y Mejoramiento ex situ. Chapingo, México. 52 p.
- Molina M., J. C. y L. Córdova T. (eds.). 2006. Recursos Fitogenéticos de México para la Alimentación y la Agricultura: Informe Nacional 2006. Secretaría

de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. Chapingo, México. 172 p.

Morales H. J. 2014. El cuidado y defensa del maíz nativo en México: resistencias y acciones ciudadanas ante los transgénicos. *Análisis Plural*. ITESO. Tlaquepaque, Jalisco. pp. 243-255.

Olsen, K. M. and B. L. Gross. 2008. Detecting multiple origins of domesticated crops. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 105(37): 13701-13702.

Ortas L. 2008. El cultivo del maíz: fisiología y aspectos generales. Comercial de Servicios, Agrigan, S.A. Boletín N° 7. p 4.

Ortega P. R. 2003. La diversidad del maíz en México. In Esteva G. y C. Marielle (Coordinadores). *Sin Maíz no hay País*. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Dirección General de Culturas Populares e Indígenas, México, D. F. pp. 123-154.

Perales R. H., B. F. Benz and S. B. Brush. 2005. Maize diversity and ethnolinguistic diversity in Chiapas, México. *PNAS* 102 (3): 249-254.

Poehlman, J. M. 2003. *Mejoramiento genético de las Cosechas*. 2 ed. Limusa Noriega. pp. 164-167.

Prasanna B. M., V. Chaikam., y G. Mahuku. 2013. Tecnología de dobles haploides en el mejoramiento del maíz: teoría y práctica. CIMMYT. México D.F. 52 p.

Pressoir, G. y J. Berthaud. 2004. Population structure and strong divergent selection shape phenotypic diversification in maize landraces. *Heredity* 92: 95-101.

ProducciónMundialMaíz.com. 2016. Maíz Producción Mundial 2016/2017. Proyección Noviembre 2016 [en línea]. <https://www.produccionmundialmaiz.com/> [fecha de consulta 23/03/16].

Ramos R. A. y E. Hernández X. 1987. Variación morfológica de los maíces de la zona oriental del estado de México y Centro de Puebla, México. *Revista de geografía agrícola*. 2: 757-758.

- Ranere, J. A., D. R. Piperno., I. Holst., R. Dickau and J. Iriarte. 2009. The cultural and chronological context of early Holocene maize and squash domestication in the Central Balsas River Valley, Mexico. PNAS 106(13): 5014 –5018.
- Ruíz, C., J. A., N. Durán., J. J. Sánchez., J. Ron., D. R. González and J. B. Holland. 2008. Climatic adaptation and ecological descriptors of 42 Mexican races. Crop. Sci. 48: 1502-1512.
- SAG (Secretaría de Agricultura y Ganadería). 1999. El cultivo del maíz. Guía para uso de empresas privadas, consultores individuales, y productores. http://www.sag.gob.hn/dicta/Paginas/guia_cultivo_maiz.htm
- Salvador J. R. 2001. MAÍZ. UACH. Publicaciones del Programa Nacional de Etnobotánica Serie traducciones N° 15. Chapingo, México. 14 p.
- Sánchez, G. J., M. M. Goodman and C. W. Stuber. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. Econ. Bot. 54(1): 43-59.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2015. El maíz, fuente de inspiración y orgullo de México [en línea]. <http://www.gob.mx/sagarpa/articulos/el-maiz-fuente-de-inspiracion-y-orgullodemexico> [fecha de consulta 29/04/16].
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2016. PIMAF, un enfoque con vocación y potencial [en línea]. <http://www.gob.mx/sagarpa/articulos/pimaf-un-enfoque-con-vocacion-y-potencial> [fecha de consulta 28/04/16].
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2014. Descripción del maíz [en línea]. <http://www.siap.gob.mx/maiz-grano/> (fecha de consulta 05/05/16).
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). 2015. ¿Qué son los Recursos Fitogenéticos? [en línea]. <http://snics.sagarpa.gob.mx/rfaa/Paginas/recursos-fitogeneticos.aspx> [Fecha de consulta 03/09/16].

- Shuster, R. and R. Bye. 1983. Patterns of variation in exotic races of maize (*Zea mays*, Gramineae) in a new geographic area. *J. Ethnobiol.* 3(2): 157-174.
- Toledo, V. M. and M. J. Ordoñez. 1993. The Biodiversity Scenario of Mexico: A review of Terrestrial Habitats. In: Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot and J. Fa (eds.) *Biological Diversity of Mexico: Origins and distribution*. Oxford University Press. pp. 757-777.
- Valdez G. M., H. L., Vallejo D., y F. Caballero H. Manual técnico del cultivo del maíz: Apropriado al estado de Michoacán. SAGARPA-INIFAP.
- Varón A. F. y G. A., Sarria V. 2007. *Enfermedades del Maíz y su Manejo*. ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). Grupo Transferencia de Tecnología. Palmira, Colombia. 55 p.
- Vigouroux, Y., J. C. Glaubitz., Y. Matsuoka., M. M. Goodman., J. Sánchez G. and J. Doebley. 2008. Population structure and genetic diversity of new world maize races assessed by DNA microsatellites. *Amer. J. Bot.* 95(10):1240-1253.
- Wellhausen, E. J. M. Roberts., y E. Hernández X., en colaboración con P. C. Mangelsdorf. 1951. Razas de maíz en México, su origen, características y distribución. Programa de agricultura cooperativo de la secretaria de la secretaria de agricultura y Ganadería de México y fundación Rockefeller. México, DF. pp 24-35.
- Wilkes, H. G. 1979. Mexico and Central America as a centre for the origin of agriculture and the evolution of maize. *Crop Improv.* 6(1): 1-18.