

Breve historia de la agricultura

Rosalía Virginia Ocampo Velázquez

Andrea Liliana Rojas Reséndiz

Ana Laura Villagómez Aranda

1.1. Inicios de la agricultura

El ser humano vivió durante miles de años como nómada dependiendo del clima y de la recolección de recursos naturales. En la última glaciación, conocida como estadio glacial Wisconsiniano que comenzó hace unos 70000 y acabó hace unos 10000 a 12000 años, ocurren una serie de cambios en el ambiente en donde grandes cantidades del agua del planeta se acumularon en los polos y los mares bajaron de nivel varias decenas de metros (Ezcurra, 1992). El medio se vuelve más árido; con los procesos de sucesión, hay evidentemente una transformación en los ecosistemas -como los bosques y pastizales- y desaparece una parte de la fauna mayor (Figura 1.1). Con el cambio ambiental y climatológico, los animales disponibles para cazar eran aquellos de menor tamaño. Estos eventos climáticos modificaron de tal manera el ambiente, que las poblaciones humanas junto con la fauna y la flora tuvieron que readaptarse a las nuevas condiciones (Uribe, 2015).

1.1.1. Periodo neolítico o nueva edad de piedra (9500-3000. aC)

Periodo que tuvo gran trascendencia, se le llamó la revolución neolítica, en donde se da la primera transformación radical en la forma de vida de la humanidad, pasando de actividad económica depredadora a productiva. La agricultura surge por la necesidad de alimento para las tribus, diversas hipótesis por sociólogos y antropólogos sugieren que la agricultura fue descubierta por las mujeres ya que pasaban más tiempo recolectando. Dan inicio las prácticas agrícolas y ganaderas, se mejoraron las herramientas del paleolítico en donde la principal diferencia fue que pasaron de golpear las piedras a pulirlas, obteniendo herramientas más afiladas y resistentes, lo que les permitió mejorar la caza y cultivar de manera más eficaz, favoreciendo una buena producción agrícola y

como consecuencia el sedentarismo, los asentamientos de comunidades grandes, la existencia de latifundios, minifundios y de la propiedad privada. Se creó la primera figura pública llamada Big Man o gran hombre, que se encargaba de poner orden y seguridad en la población. Lo primero que se domesticó fueron los granos, los ocho cultivos llamados fundadores del Neolítico de la agricultura fueron: trigo, cebada, lentejas, guisantes, farro o trigo trillado, yero o veza amarga, garbanzo y lino o linaza (Armstrong, 2021). En este periodo, también empieza la domesticación de animales como perros, ganado vacuno, ovejas, cabras, para la obtención de leche, carne y pieles para abrigarse

La agricultura se desarrolló de manera independiente en diferentes partes del mundo, como se describe a continuación (Figura 1.1):

HISTORIA DE LA AGRICULTURA

Inicios de la agricultura

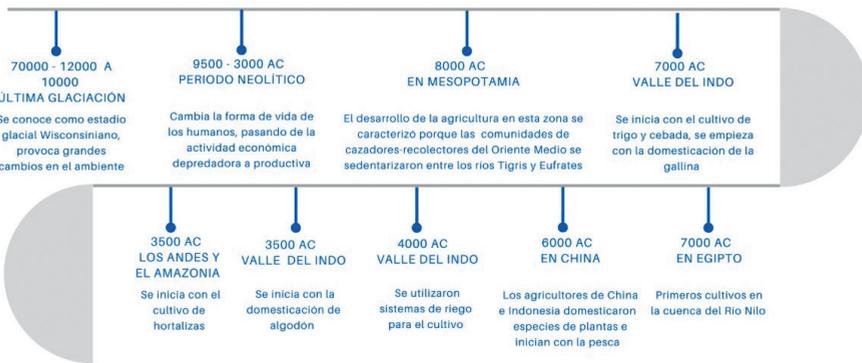


Figura 1.1. Inicios de la agricultura

1.1.2. Mesopotamia (8000. aC)

Las comunidades de cazadores-recolectores del Oriente Medio se sedentarizaron entre los ríos Tigris y Eufrates. Ésta zona era muy fértil, la variedad en el clima les permitió experimentar con el medio. Empezaron a domesticar animales y plantas salvajes de los que ya se alimentaban con el objetivo de proveerse de una fuente estable de alimento sin tener que viajar en su búsqueda. El caudal de estos ríos permitió a los habitantes el establecimiento de aldeas que luego se convirtieron en las primeras ciudades. Posteriormente, se desarrolló la agricultura

de riego y los grupos agrícolas se extendieron por el sur de la región. Hacia el año 4500 a 4000 aC, la agricultura se intensifica y se hace uso del arado con animales.

1.1.3. Valle del Indo (7000. aC)

En la India, se inicia con el cultivo de trigo y cebada, como lo demuestran excavaciones arqueológicas en Mehrgarh en Baluchistán, en lo que hoy es Pakistán. Se empiezan a domesticar animales como la gallina, se comienza con el cultivo de mijo en la zona del río Amarillo y los primeros cultivos de arroz en la cuenca del río Yangtsé. Para el año 4000 aC, se utilizaron sistemas de riego para el cultivo, aprovechando las aguas del Indo y el Saraswati, y en el 3500 aC se inicia con la domesticación del algodón.

1.1.4. Egipto (7000. aC)

Primeros cultivos en la cuenca del río Nilo. Cada año entre julio y octubre el río crecía e inundaba el valle, dejaba un sedimento que permitía una alta productividad agrícola. Desde los tiempos del Imperio Antiguo se hacían obras para controlar el caudal del río e irrigar los campos. Egipto e India fueron los lugares donde se desarrollaron inicialmente la siembra y cosecha hidráulica de plantas que habían sido recogidas previamente en la naturaleza.

1.1.5. China (6000. aC)

Los agricultores de China e Indonesia lograron domesticar el taro o papa china (*Colocasia esculenta*), el frijol mung (*Vigna radiata*), la soja (*Glycine max*), el azuki (*Vigna angularis*) y el arroz (*Oryza sativa*). Como complemento a estas nuevas fuentes de hidratos de carbono, una red de pesca altamente organizada en los ríos, lagos y las costas del océano, trajo consigo grandes volúmenes de proteínas esenciales. En conjunto, estos nuevos métodos agrícolas y de pesca originaron un auge de la población humana que empujó todas las expansiones anteriores y que continúa en la actualidad.

1.1.6. Mesoamérica (5000. a 2500. aC)

Entre las regiones en donde se encuentra evidencia botánica asociada a la domesticación de maíz, calabaza, frijol y otras especies están el Valle de Tehuacán, Puebla y los Valles Centrales de Oaxaca (Hernández-López et al., 2013). En Mesoamérica, se cultivó el tomate, aguacate, chile o ají, calabaza y cacao; se domesticaron animales como perros, patos, pavos, guajolotes, e insectos como los chapulines. Además se empezaron a utilizar técnicas de siembra como las chinampas, en la cual se basó la agricultura azteca, siendo un sistema de agricultura intensiva altamente productivo formado por una sucesión de campos

elevados dentro de una red de canales dragados sobre el lecho del lago. El sistema chinampero reciclaba de una manera muy eficiente los nutrientes acarreados por las lluvias de los campos agrícolas a través de la cosecha de productos acuáticos de los canales. Así, se obtenían cosechas abundantes que abastecían de alimentos a la población de la cuenca estimada por muchos investigadores en varios millones de personas (Ezcurra, 1996).

1.1.7. Los Andes y Amazonia (3500. aC)

En Sudamérica se empieza con el cultivo de papas, maíz, hortalizas y la domesticación de animales como patos, llamas y alpacas. La agricultura y la dedicación de las mujeres a una maternidad intensiva permitieron una mayor densidad de población que la economía de caza y recolección por la disponibilidad de alimento para un mayor número de individuos. A pesar de sus ventajas, según algunos antropólogos, la agricultura significó una reducción de la variedad en la dieta, creando un cambio en la evolución de la especie humana hacia individuos más vulnerables y dependientes de un enclave que sus predecesores. Con la agricultura las sociedades van sedentarizándose y la propiedad deja de ser un derecho solo sobre objetos móviles para trasladarse también a los bienes inmuebles, se amplía la división del trabajo y surge una sociedad más compleja con actividades artesanales y comerciales especializadas. Los asentamientos agrícolas y los conflictos por la interpretación de linderos de propiedad dan origen a los primeros sistemas jurídicos y gubernamentales.

1.2. La revolución verde

En la actualidad, el crecimiento exponencial de la población es un tema relevante en todos los sectores. Sin embargo, este tipo de crecimiento poblacional se dio a mediados del siglo XX. En 1900 la población mundial era de aproximadamente 1.65 mil millones de habitantes, para 1950 había incrementado a 2.54 mil millones, pero en tan solo unas décadas la población se había duplicado, tal que para el año 2000 la población ya había superado los 6.06 mil millones de habitantes (Roser et al., 2013). Este crecimiento sin precedentes en la población fue posible gracias a la revolución agrícola, conocida como «La Revolución Verde», que se caracteriza por la implementación de nuevas tecnologías agrícolas, que permitieron un cambio a gran escala en la producción agrícola, cambiando de prácticas tradicionales a prácticas industriales, como son el uso de variedades mejoradas, el uso de fertilizantes químicos y pesticidas, así como la implementación de maquinaria para manejar los cultivos (Klush, 2001; Pingali, 2012) (Figura 1.2).

HISTORIA DE LA AGRICULTURA

Revolución Verde

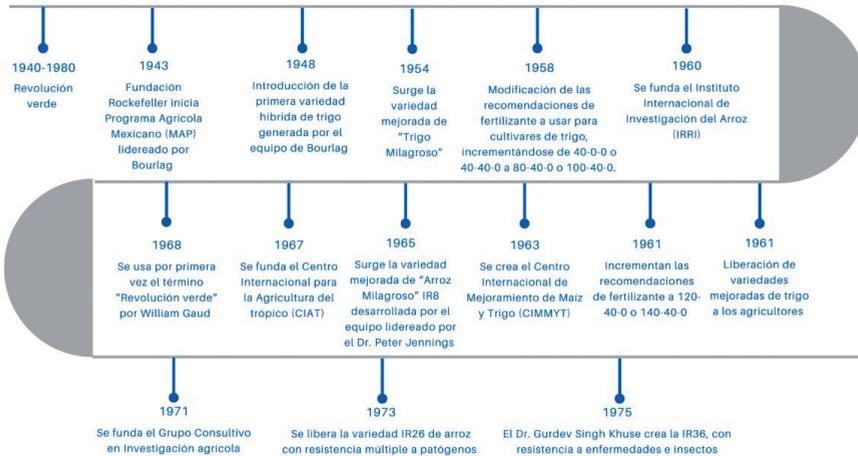


Figura 1.2. La Revolución verde

1.2.1. ¿Qué es la revolución verde?

El término «Revolución Verde» es atribuido a William Gaud, quien siendo administrador de la Agencia para Desarrollo Internacional de Estados Unidos (USAID) uso ese término en una junta de la Sociedad para el Desarrollo Internacional en 1968: «...estos y otros desarrollos en el campo de la agricultura contienen todos los componentes de una nueva revolución...yo lo llamé la Revolución Verde» (Gaud, 1968; Midgley et al., 2019). El periodo de tiempo que abarca la Revolución Verde es considerado de 1960 a 1980 (Pingali, 2012). Sin embargo, debido a que las raíces que dieron origen a esta revolución agrícola tuvieron lugar años antes, algunos autores consideran sus inicios desde 1940 (Patel, 2013). Inclusive, y dado que los cambios, beneficios y efectos tuvieron un efecto prolongado durante las siguientes décadas, varios autores consideran un periodo tardío o postrevolución verde de 1980 hasta inicios de los años 2000 (Pingali, 2012). Aún hoy en día, nuestro sistema agrícola se basa en muchas de las bases establecidas en la revolución verde. Sin embargo, se ha comentado sobre la importancia de una nueva revolución, donde es importante conocer y comprender los aciertos y errores acontecidos en la Revolución Verde y aprender de ellos (Figura 1.3).

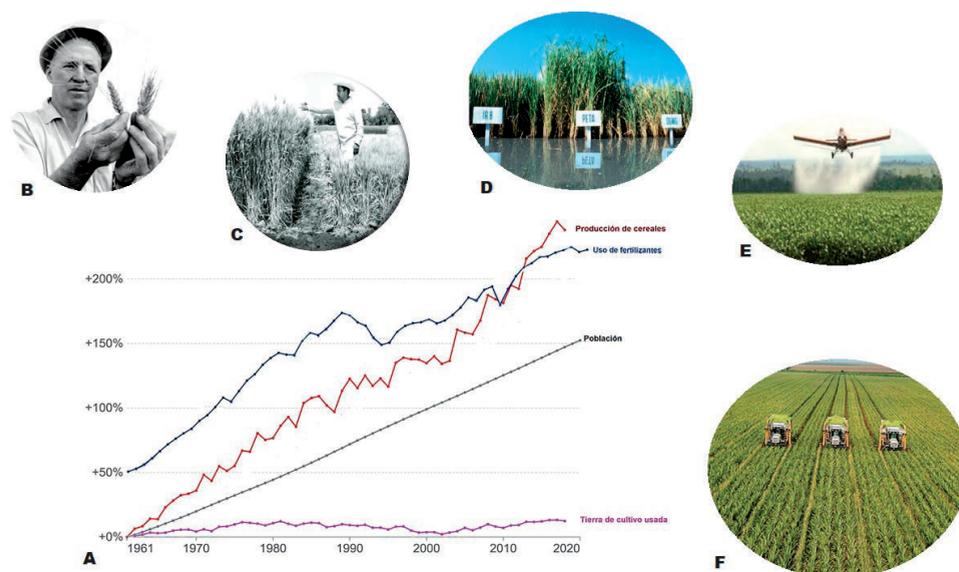


Figura 1.3. La Revolución Verde. La revolución verde se caracterizó por el incremento en la producción de cereales, así como del uso de fertilizantes y pesticidas prácticamente usando la misma cantidad de tierra cultivable, que permitió el crecimiento poblacional en la misma medida (A). Elementos claves de esta etapa fueron en primer lugar Norman Borlaug, denominado el padre de la Revolución Verde (B), quien participó en el desarrollo de variedades de trigo «milagroso» en el CIMMYT (C). Otra de las variedades características es la variedad de arroz milagroso desarrollada en el IRRI (D). Además de las variedades el incremento en el uso de fertilizantes y pesticidas a gran escala (E) permitieron el surgimiento de la agricultura intensiva (F)

1.2.2. Centros Internacionales de Investigación agrícola

En los inicios de 1940, en respuesta a las preocupaciones por una crisis alimentaria venidera, la comunidad científica comenzó a realizar pruebas para implementar las nuevas herramientas de fitomejoramiento en los cultivos agrícolas, con el fin de expandir la producción de alimentos a nivel global (Evenson y Gollin, 2001). Por lo que se dio una serie de programas de cooperación internacional en agricultura, tanto de inversión pública como privada, que contribuyeron a la Revolución Verde (Thompson, 1972). Los iniciadores del movimiento fueron la Fundación Rockefeller, apoyada por la Fundación Ford entre otras, y poco después por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). En 1941, por invitación del Gobierno de México, la Fundación Rockefeller envió un equipo científico a Chapingo, liderado por

George Harrar, que incluía a Norman Borlaug, para ayudar en la severa escasez de maíz, trigo y frijol que enfrentaba el país (Patel, 2013; Thompson, 1972). Para 1943, el equipo de trabajo había determinado que el principal problema residía en las variedades usadas, que eran de bajo rendimiento, genéticamente impuras, y susceptibles a plagas, por lo que se puso énfasis en encontrar una solución. Lo anterior resultó en el desarrollo del Programa Agrícola Mexicano (MAP) en 1944, el cual estuvo liderado por Bourlag quien es considerado por muchos como «el padre de la Revolución verde», debido a que su trabajo y dedicación llevó a la creación de las primeras variedades mejoradas de cultivo de alto rendimiento, entre ellas una variedad de «Trigo Milagroso» en 1954 y hasta 1961 (Evenson y Gollin, 2001; Thompson, 1972). Su trabajo le llevó a ser acreedor del Premio Nobel de la Paz en 1970 (Patel, 2013). El éxito del MAP, llevó a otros países a solicitar asistencia agrícola. Por lo que se originaron programas similares en Colombia, Chile e India, que demostraron el éxito y potencial del mejoramiento de cultivos para los problemas de la producción de alimentos. Esto llevó a la creación de diferentes centros de investigación agrícola internacionales, como el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) en México, el Instituto Internacional de Investigación del Arroz (IRRI) en Filipinas, El Centro Internacional para la Agricultura del trópico (CIAT) en Colombia, y el Instituto Internacional para la Agricultura del trópico (IITA) en Nigeria. Posteriormente, en 1971 fue establecido el Grupo Consultivo en Investigación agrícola Internacional (CGIAR). Juntas, estas instituciones, con organizaciones públicas y privadas, promovieron la investigación, extensión, y difusión tecnológica, crearon un ambiente conductivo para la adopción de estas tecnologías mediante la generación de inversiones, conocimiento y productos que fueron adaptados al hacer de dominio público los avances generados (Patel, 2013; Thompson, 1972).

1.2.3. Cultivos de alto rendimiento

Así como la agricultura es la base de la civilización, el mejoramiento de cultivos es uno de los pilares principales. De hecho, la creación de las variedades de alto rendimiento (VAR) permitió llegar a nuestra forma de vida actual. La clave del mejoramiento de cultivos es la selección de los mejores fenotipos entre diferentes variantes, de acuerdo con las características agronómicas deseables del producto, como son: un gran rendimiento y calidad de las partes comestibles, facilidad de cultivo, cosecha y procesamiento; así como tolerancia a estrés ambiental y resistencia a plagas (Bresseghele, 2013). Debido a la importancia del arroz, maíz y trigo en la dieta del hombre, los primeros esfuerzos se centraron en la producción de estas tres especies (Klush, 2001). Antes de la Revolución

Verde, las variedades cultivadas eran altas, con mucho follaje, tallo débil, y bajo rendimiento. Aun con el uso de altas dosis de fertilizantes nitrogenados, el rendimiento era bajo y las plantas crecían excesivamente, por lo que era de gran urgencia aumentar el índice de cosecha. Durante la Revolución Verde, las variedades utilizadas en cultivos cambiaron a variedades semi-enanas, con menor desarrollo de follaje y un alto rendimiento de grano (Klush, 1995; 2001).

En general, las características en que se enfocaron los programas de mejoramiento incluían: 1) alto potencial de rendimiento; 2) corta duración de crecimiento del cultivo; 3) resistencia a múltiples enfermedades e insecto; 4) calidad de grano superior; y 5) tolerancia a suelos problemáticos (Pingali, 2012; Khush, 1995). El enfoque de mejoramiento utilizado como estrategia se basó principalmente en una crianza de ideotipos, que se enfocaba en promover rasgos cuantitativos como el rendimiento. Se basaba en la hipótesis de que es posible mejorar rasgos complejos al cambiar rasgos simples a los cuales se relacionaba positivamente (Breseghello, 2013).

Caso del arroz. Variedades de arroz semi-enano habían sido reportadas desde 1870 en Japón. Sin embargo, la variedad que sirvió de parental para los programas de mejoramiento durante la Revolución Verde fue la Dee-geo-woogen (DGWG), la cual fue encontrada en Taiwán a inicios de siglo (Dalrymple, 1985). En 1962, en el IRRI un equipo de mejoradores liderado por Peter Jennings desarrolló variedades de arroz de alto rendimiento. Se utilizaron como parentales la variedad DGWG y Peta, una variedad alta de Indonesia. Se hicieron 38 cruces entre estas variedades, que produjeron únicamente 130 semillas, de las cuales se siguieron propagando (F1), y estas resultaron en su totalidad plantas altas. En 1963, en la segunda generación (F2), un cuarto, de alrededor de 10'000 plantas, resultaron enanas. Por lo que se descubrió que el gen que controlaba el enanismo era único en la variedad DGWG, el cual se denominó gen *sd-1*. El mejorador Hank Beachell se hizo cargo del equipo. Las plantas enanas se seleccionaron para continuar con la propagación (F3), y de estas Beachell seleccionó 298 plantas para producir la siguiente generación (F4). De este trabajo, resultó la variedad mejorada IR8-288-3, la cual se dio a conocer en 1965 en una cooperativa de pruebas de campo de esta y otras variedades en Filipinas, Hong Kong, Malasia, Tailandia y Taiwan. Debido al éxito, el nombre se acortó y la variedad se denominó simplemente IR8. Mientras que las mejores variedades producían alrededor de 6 tons/ha, el potencial de la variedad IR8 alcanzaba 10 tons/ha, consistentemente en todos los campos de prueba al variar entre 9.5 y 10.5 tons/ha, demostrando su adaptación a amplias condiciones, así como una mejor respuesta a los fertilizantes para potenciar el rendimiento de grano. De

esta manera, el 28 de noviembre de 1966 el IRRI anunció la liberación de la variedad IR8 (Dalrymple, 1985; Peng, 2010). Debido a sus características de doble rendimiento y menor tiempo de maduración con 130 días, frente a los 160- 170 días de las variedades comunes, fue denominado como «arroz milagroso», y rápidamente comenzó a reemplazar a las variedades de arroz comerciales utilizadas en ese momento, y al ser la primera variedad de alto rendimiento, marcó el inicio de la Revolución Verde (Klush, 2001).

Sin embargo, a pesar de su alto rendimiento de grano, la variedad IR8 tenía algunos detalles, como calidad pobre de grano, susceptibilidad a enfermedades y ataque por insectos. Por ello, fueron surgiendo en las siguientes 2 décadas variedades con énfasis en resolver estas problemáticas (Klush, 2001; Mackill y Khush, 2018). Entre ellas, la primera variedad de arroz con resistencia múltiple a patógenos fue la IR26. Posteriormente surgió la IR36, que logró una resistencia a enfermedades e insectos por la selección de genes como: Xa4 (resistencia a bacterias), Piz, Pib1 y Pib2, y Pik-S (resistencia al tizón), Gs (resistencia a la acrobacia herbácea), bph2 (resistencia al saltahojas pardo), y glh10 (resistencia al saltahojas verde). Además, poseía una tolerancia a deficiencias nutricionales y toxicidades como condiciones salinas, alcalinas, presencia de hierro y boro. Así como un periodo de maduración más corto de 111 días (Klush, 2001; Dalrymple, 1979). Posteriormente surgieron las variedades IR42 que tenía un amplio espectro de tolerancias a deficiencias del suelo, y la IR64 que se convirtió en una variedad de arroz con resistencia múltiple, y alta calidad (Klush, 2001). La variedad IR64 fue liberada en primer lugar en Filipinas en 1985, para después pasar a países en el sureste y sur de Asia, y posteriormente al oeste de África al ver que podía adaptarse a las condiciones climáticas de estas regiones (Khush, 1995; Mackill y Khush, 2018).

El IRRI, en alianza con varios gobiernos para establecer Sistemas de Investigación Agrícola Nacionales (NARS), llevó a la creación y liberación de más de 300 variedades mejoradas con rasgos adaptativos. A partir de esto diversos programas nacionales trabajaron en desarrollar más variedades mejoradas por las cruces selectivas de diferentes parentales, logrando más de 1000 variedades. La adopción a gran escala de variedades con múltiples resistencias y alto rendimiento logró estabilizar la producción de arroz alrededor del mundo (Khush, 1995; Mackill y Khush, 2018).

Caso del trigo. El trigo es a la fecha uno de los principales cultivos básicos para la alimentación. Por ello a inicios de 1943 fue uno de los seleccionados. México fue uno de los primeros países en estar ligado a la Revolución Verde, por el trabajo del CIMMYT y Borlaug (Dalrymple, 1985; Borlaug, 1968). En México en

ese periodo, alrededor del 55 % del trigo usado para consumo era importado, lo cual representaba un gran costo; además, la mayoría de las variedades usadas en el país eran de origen desconocido, y susceptibles a patologías como la roya. Adicionalmente, las prácticas agrícolas culturales eran primitivas, con la excepción de Sonora, donde estaba en parte mecanizada (Borlaug, 1968).

La primera mejora a las variedades comerciales desarrolladas fue a partir de 3 variedades llamadas Mentana, Marroqui y Gabo. El programa pionero que se realizó fue con base a una crianza de lanzadera (Shuttle-breeding), que se basa en la selección de individuos adaptados a diversos ambientes al crecer generaciones alternadas de poblaciones segregantes en diferentes locaciones. En el caso de México, se seleccionaron 2 sitios diferentes a 2 estaciones: el primero en Ciudad Obregón en Sonora, a una latitud de 28° casi a nivel del mar durante invierno; la segunda en Toluca, ubicada a una latitud de 18° a una elevación de 2'600 m sobre el nivel del mar, durante verano, caracterizado por una época de lluvias fuertes, bajas temperaturas y presencia severa de patologías como la roya (Klush, 2001; Borlaug, 1968). Al crecer dos generaciones cada año, en estos dos ambientes contrastantes, fue posible desarrollar una nueva variedad en un periodo de cuatro años. Las mejores variedades resultantes fueron Nainari 60, Lerma Rojo y Huamantla Rojo, cuya producción era aproximadamente de 4.5 tons/ha (Borlaug, 1968).

Una segunda fase de mejoramiento se logró con las variedades de trigo enano, producto de mutaciones naturales, que fueron reportadas en Japón desde inicios de 1900s. En 1930, la variedad más utilizada para mejoramiento fue la Norin 10, la cual llegó a Estados Unidos después de la segunda Guerra Mundial (Dalrymple, 1985). Semillas de la variedad Norin 10 fueron enviadas por el genetista S.C. Salmon y el General D. MacArthur desde una estación agrícola experimental en Japón a la Universidad de Washington, al Dr. O. Vogel (IRRI, 2016). En 1953, semillas de la selección F2 de cruces de la variedad Norin 10 y Brevor, fueron enviadas a Borlaug en México para usarse en los programas de mejoramiento (Dalrymple, 1985; IRRI, 2016). El primer intento de incorporar estas semillas en los trigos mexicanos fracasó; sin embargo, fue exitoso en 1955, con plantas enanas que además tuvieron un grupo de genes que incrementaba el número de floretes fértiles por espiguilla y el número de macollos por planta. De tal manera que se originaron las variedades mexicanas de trigo semi-enano y enano Pitic 62, Penjamo 62, Sonora 63, Sonora 64, Mayo 64, Lerma Rojo 64, Inia 66, T.obarí 66, Ciano 67, Norteno 67, Siete Cerros, y la variedad de trigo duro Oviachic 65. En 1961 se liberaron a los agricultores las primeras variedades mejoradas (IRRI, 2016; Borlaug, 1968).

A mediados de 1960, con el uso de estas variedades, México se convirtió en un país autosuficiente respecto a la producción de trigo. Y debido al éxito, fue rápidamente expandida a Pakistán (donde se denominó «MexiPak»), Turquía, Irán e India (IRRI, 2016; Borlaug, 1968). El incremento en el índice de rendimiento fue de aproximadamente un 60 % debido al desarrollo de las variedades enanas. Además, tuvo una mejor respuesta a fertilizantes nitrogenados, tal que la producción se potenciaba a cerca de 9 tons/ha (Klush, 2001).

Diseminación de variedades de alto rendimiento. La adopción de variedades mejoradas incremento rápidamente, alcanzando la mayoría de los cultivos para 1998. La producción de cereales a partir de los años 60's experimentó una tendencia de crecimiento exponencial a largo plazo, ya que la producción de cereal durante ese periodo se quintuplico, con tan solo un 30 % de incremento en el área cultivada (Patel, 2013; Pingali, 2012). Para 1990s cerca del 75 % del arroz cultivado en Asia y más del 50 % del trigo en América Latina y Asia pertenecían a las variedades de alto rendimiento (Patel, 2013). Para 1998 las variedades mejoradas representaban el 82 % del área cultivada en Asia, mientras que en África solo se utilizaba un 27 %. Esta diferencia se debió principalmente a que los programas de investigación entraron de forma tardía a África. El primer programa de maíz del CIMMYT en África ocurrió en la década de 1980's. A pesar de que el Instituto Internacional para la Agricultura del trópico inició investigaciones con el cultivo de cassava en 1967, su impacto fue percibido después de los 80s. Sin embargo, la adopción de variedades mejoradas en África alcanzó el 70 % para trigo, 45 % para maíz, 26 % para arroz, 19 % para cassava y 15 % para sorgo en 2005 (Pingali, 2012).

1.2.4. Fertilizantes y pesticidas al por mayor

Los fertilizantes son uno de los insumos más relevantes en la producción agrícola. Estos están compuestos por nutrientes requeridos por las plantas, siendo los principales N:P:K. Las cantidades de cada nutriente se basan en las necesidades de los cultivos, y generalmente se tienen recomendaciones regionales con base a los requerimientos de nutrientes del suelo. Un aspecto crucial en el uso de fertilizantes es que tienen un impacto en el ambiente y la salud humana a largo plazo (Khush, 1999).

En el periodo de 1960 a 1990, la producción mundial de granos de cereal incrementó de 847 millones de tons a 1'780 millones de tons, logró que fue obtenido tanto por las variedades mejoradas de cultivo de alto rendimiento, cuya característica de ser más responsivos a fertilizantes propicio un incremento en el uso de estos. De ser cultivados sin fertilizantes, las variedades mejoradas