

UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO

DIVISION DE CIENCIAS ECONOMICO-ADMINISTRATIVAS

Enseñar la Explotación de la Tierra,
No la del Hombre

GENERACIÓN DE TECNOLOGIAS EN LA PRODUCCIÓN
DE TRIGO EN MÉXICO DURANTE 1940-1995



DIRECCION ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS EN
ECONOMÍA DEL DESARROLLO RURAL

PRESENTA:
BENJAMÍN GALLARDO GALINDO

874681



Octubre de 1998
Chapingo, Estado de México

GENERACION DE TECNOLOGIAS EN LA PRODUCCION DE
TRIGO EN MEXICO DURANTE 1940-95

Tesis realizada por Benjamín Gallardo Galindo bajo la dirección del Comité Asesor
indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el
grado de:

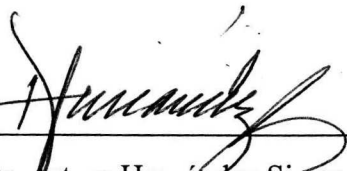
MAESTRO EN CIENCIAS EN ECONOMÍA DEL DESARROLLO RURAL

DIRECTOR:



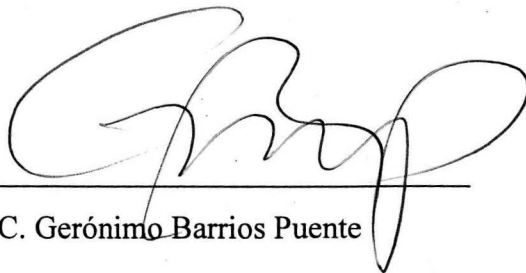
M. C. Gustavo García Delgado

ASESOR:



Dr. Arturo Hernández Sierra

ASESOR:



M.C. Gerónimo Barrios Puente

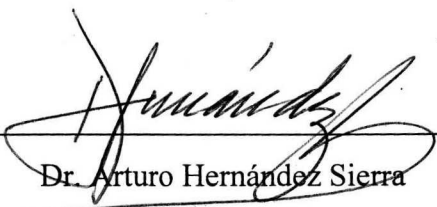
GENERACION DE TECNOLOGIAS EN LA PRODUCCION DE
TRIGO EN MEXICO DURANTE 1940-1995

El jurado que revisó y aprobó el exámen de grado de Benjamín Gallardo Galindo,
autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Economía del Desarrollo Rural
estuvo constituido por:

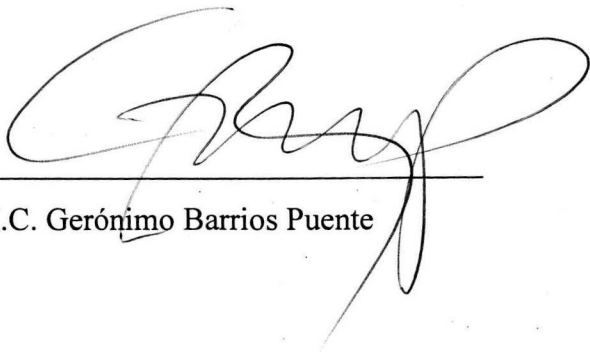
PRESIDENTE:


M. C. Gustavo García Delgado

ASESOR:


Dr. Arturo Hernández Sierra

ASESOR:


M.C. Gerónimo Barrios Puente

AGRADECIMIENTOS

A La Universidad Autónoma Chapingo por darme la oportunidad de aprender Economía Agrícola y la formación profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por proporcionarme el financiamiento necesario para los estudios de Maestría.

A los profesores de quienes recibí conocimientos, información y ejemplo para hacer bien las cosas.

DATOS BIOGRÁFICOS

Soy Benjamín Gallardo Galindo y nací el 27 de julio de 1950 en Charapan, Mich. Egrese de la Licenciatura en Economía Agrícola de la Escuela Nacional de Agricultura en 1976. Los estudios de Maestría los termine en 1985. He trabajado en enseñanza e investigación en temas afines y en actividades operativas del sector público.

RESUMEN

La eficiencia del programa de investigación en trigo de la Oficina de Estudios Especiales para generar tecnologías de producción de trigo en México (1943-1960) se explica por: a) el enfoque y diseño del programa de investigación y b) el modo de operar del equipo de investigación: esto es, un equipo interdisciplinario capacitado, asesores externos expertos, continuidad del personal científico, recursos suficientes, tiempo necesario para madurar avances e innovaciones de procedimiento en la experimentación. La adopción generalizada por el productor triguero de las nuevas tecnologías requirió del apoyo oficial concretado en medidas de política sectoriales ad hoc. La tecnología biológica ha sido el centro de cambios y el modo de crear flexibilidad de adaptación a diversos medioambientes de los nuevos insumos productivos; junto con la tecnología química y agronómica asociadas, son la fuente del mayor incremento en el potencial de producción de este siglo bajo condiciones óptimas. También estas mismas tecnologías, con diferentes enfoques, han mejorado el potencial de producción en una gama de medioambientes no óptimos.

Palabras clave: trigo, cambio tecnológico, innovaciones agrícolas.

ABSTRACT

Wheat research program effectiveness, by the Oficina de Estudios Especiales (1943-1960), in developing wheat production technologies for México is explained by: a) research program approach and design; and b) the way research staff operated: i.e., a qualified interdisciplinary staff, expert foreign advisers, working together a long time, a lot of funds, no time restrictions in getting progresses, and innovations in experimental procedures. Governmental support by means of sectorial policy instrument ad hoc, was required in order to get a wide acceptance by wheat producer of new technologies. Changes in growing flexibility of new inputs adaptation for different environments, have been the core in biological technology; under optimal conditions, this technology in combination to chemical and agronomic ones, have been the source of the great increase in potential production during this century. Also, in no optimal environments, these technologies have improved potential production by using different approaches.

Key words: Wheat, technological change, agricultural innovations.

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características principales de algunos trigos de México-----	46
Cuadro 2. Racción a las royas de los trigos mexicanos-----	46
Cuadro 3. Características de los trigos introducidos-----	52
Cuadro 4. Reacción a las royas de los trigos introducidos-----	53
Cuadro 5. Progenitores de las principales variedades comerciales de trigo más ampliamente sembradas en México: durante 1948-1960-----	54
Cuadro 6 Algunas fuentes de características deseables usadas hasta 1955 en el programa de trigo-----	51
Cuadro 7. Principales razas de roya del tallo prevalecientes en México-----	57
Cuadro 8. Reacción a doce razas de roya del tallo de algunas variedades liberadas hasta 1952-----	58
Cuadro 9. Reacción a quince razas de roya del tallo de las variedades liberadas durante 1953-1954 (en estado de plántula y adulto)-----	59
Cuadro 10. Precio nacional e internacional del trigo durante 1950-1995-----	62
Cuadro 11. Difusión de nuevas prácticas de cultivo del trigo en Sonora-----	70
Cuadro 12. Comportamiento de las mejores líneas enanas y algunas variedades comerciales de trigo en el Valle del Yaqui en 1958-1959-----	78

Cuadro 13. Comportamiento de las mejores líneas enanas y algunas variedades comerciales de trigo en El Bajío en 1958-1959-----	79
Cuadro 14. Progenitores de las principales variedades comerciales de trigo más ampliamente sembradas en México: de 1960 a la fecha-----	80
Cuadro 15. Respuesta al nitrógeno aplicado en variedades mexicanas representativas (cultivadas en ausencia de enfermedades y sin protección contra el acame. Ciclo 1971-1972 en el CIANO)-----	91
Cuadro 16. Rendimiento y utilización del nitrógeno por algunas VAR mexicanas. Experimentos del CIMMYT sobre fisiología del trigo, realizados bajo condiciones óptimas durante 1970-1971-----	91
Cuadro 17. Incremento en los rendimientos potenciales de algunas de las variedades comerciales de trigo más ampliamente sembradas en México (kg/ha obtenidos en el CIANO en ausencia de enfermedades y manejo óptimo)-----	95
Cuadro 18. Rendimientos medios y coeficientes de infección de las tres royas en las variedades mexicanas de trigo harinero-----	101
Cuadro 19. Rendimientos medios de las mejores líneas de triticales, comparados con los de trigo-----	112
Cuadro 20. Avances en el desarrollo de líneas de triticales en el CIMMYT, 1966-1967-----	112
Cuadro 21. Variedades distribuidas y superficie bajo cultivo de triticales a nivel mundial-----	114
Cuadro 22. Zonas potenciales para la producción de triticales en países en desarrollo (miles de ha)-----	115
Cuadro 23. Avance estimativo en rendimiento de trigo por décadas. Experimentos realizados en el CIANO bajo condiciones óptimas en 1970-1975-----	119

INDICE DE GRAFICAS Y DIAGRAMAS

Gráfica 1. Inducción de la innovaciones por el cambio de largo plazo en los precios relativos de los factores-----	16
Gráfica 2 y 3 Precio de los factores y cambio tecnológico inducido: tecnología mecánica y biológica-----	16
Gráfica 4. Comparación internacional del producto agrícola por trabajador masculino por hectárea de tierra agrícola-----	20
Gráfica 5. Comparación internacional de la potencia de los tractores por trabajador masculino y de fertilizantes químicos por hectárea de la tierra agrícola-----	21
Gráfica 6. Precios relativos de la maquinaria agrícola y de los fertilizante químicos, respecto al precio de la tierra arable para EE.UU. y Japón. Datos de 1880-1960 (1880=100, en logaritmos-----	23
Gráfica 7. Ruta de crecimiento agrícola en los Estados Unidos para 1880-1960, comparado con observaciones de sección cruzada de varios países para 1960-----	24
Gráfica 8. Ruta de crecimiento histórico de la productividad agrícola en Japón para 1880-1960, comparado con observaciones de sección cruzada de varios países para 1960-----	25
Gráfica 9. Ruta de crecimiento histórico de la productividad agrícola de Dinamarca, Francia y el Reino Unido para 1880-1960, comparado con observaciones de sección cruzada de varios países para 1960-----	26
Gráfica 10. Cambios en la productividad del trabajo, la relación de precios tierra/trabajo y la productividad de la tierra para EE.UU. y Japón durante 1880-1960 (1960=100, en logaritmos)-----	28
Gráfica 11. Precio nacional e internacional del trigo en términos reales (base 1975)-----	64

Gráfica 12. Porcentaje de la superficie de trigo sembrada con variedades mejoradas en diferentes regiones de México-----	65
Gráfica 13. Respuesta al nitrógeno de diversas variedades liberadas durante los últimos 30 años en México-----	90
Gráfica 14. Rendimientos potenciales de las variedades de trigo harinero más extensamente sembradas en México (rendimientos obtenidos en el CIANO en ausencia de enfermedades, buena fertilización y manejo)-----	92
Gráfica 15. Rendimientos potenciales y rendimiento medio rural del trigo harinero en México-----	97
Gráfica 16. Rendimiento del trigo harinero en el CIANO y en los ensayos internacionales durante 1960-1993 (promedio de las mejores cinco variedades en el CIANI y promedio general de todas las localidades participantes en el ISWYN)-----	98
Gráfica 17. Tendencias en el número de progenitores de líneas sobresalientes del CIMMYT-----	99
Diagrama 1. Origen de las principales variedades comerciales mexicanas de trigo harinero: 1940-1959. a) Variedades de altura normal liberadas durante los cuarenta y cincuenta-----	55
Diagrama 2. Origen de las principales variedades comerciales mexicanas de trigo harinero: 1960 a la fecha. a) Primeras variedades enanas liberadas durante los sesenta-----	83
Diagrama 2. Origen de las principales variedades comerciales mexicanas de trigo harinero: 1960 a la fecha b) Variedades doble y triplemente enanas liberadas durante los setenta-----	84
Diagrama 2. Origen de las principales variedades comerciales mexicanas de trigo harinero: 1960 a la fecha c) Variedades liberadas durante los ochenta-----	85
Diagrama 2. Origen de las principales variedades comerciales mexicanas de trigo harinero: 1960 a la fecha d) Variedades liberadas durante los noventa-----	86

CONTENIDO

Resumen-----	ii
Abstract-----	iii
Indice de Cuadros-----	iv-v
Indice de Gráficas y Diagramas-----	vi-vii

I. INTRODUCCION.....1

1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Objetivo general y objetivos particulares -----	3
1.3 Hipótesis-----	4
1.4 Metodología-----	4

II. EL MARCO TEORICO-----6

2.1 El cambio tecnológico y las teorías del desarrollo-----	6
2.2 Investigación y tecnología agrícola-----	9
2.2.1 Innovaciones y cambio tecnológico-----	11
2.3 Una clasificación de las tecnologías agrícolas-----	13
2.4 El cambio tecnológico inducido-----	15
2.4.1. El planteamiento teórico-----	15
2.4.2 Algunas evidencias empíricas-----	19
2.4.3 Algunas extensiones al modelo-----	27
2.4.4 Algunas críticas y limitaciones del modelo-----	29
2.5 El paradigma científico agrícola-----	30
2.5.1 El planteamiento teórico-----	31

2.5.2 El paradigma de la ciencia del suelo-----	33
2.5.3 El paradigma de la herencia-----	36
2.5.4 El paradigma de la mecanización-----	40
2.5.5..El paradigma de la fisiología vegetal-----	42

III. GENERACION DE TECNOLOGIA EN LA

PRODUCCION DE TRIGO EN MEXICO-----44

3.1 Antecedentes-----	44
3.2 Programa de cooperación agrícola Fundación Rockefeller-México-----	47
3.3 El programa de trigo durante 1943-60-----	49
3.3.1 Mejoramiento genético-----	50
3.3.1.1 Resistencia a las royas-----	56
3.3.1.2 Variedades compuestas-----	61
3.3.1.3 Calidad de trigo-----	67
3.3.2 Fertilización y otras prácticas de manejo-----	68
3.3.3 Control de malezas y plagas-----	71
3.3.4 Riego-----	71
3.3.5 Mecanización-----	73
3.3.6. Resultados del IIA-----	76
3.4. El programa de trigo de 1960 a la fecha-----	76
3.4.1 Estrategia en el mejoramiento genético del trigo-----	77
3.4.1.1 Ampliación de la base genética para resis- tencia a enfermedades en los trigos harineros-----	100
3.4.1.2 Estudios de fisiología del trigo-----	102
3.4.1.3 Cruzas entre trigos harineros de primavera e invierno-----	104
3.4.1.4 Cruzas intergenéricas-----	106
3.4.1.5 Trigos híbridos-----	107
3.4.1.6 Trigos cristalinos-----	108

3.4.1.6 Triticale-----	111
3.4.2 Agronomía del trigo después de 1960-----	117
3.4.3 Estimación de los incrementos en el potencial de rendimiento del trigo en México-----	118
3.4.4 Beneficios económicos del cambio tecnológico-----	119
IV. RESULTADOS -----	121
V. CONCLUSIONES-----	131
VI. BIBLIOGRAFÍA-----	133

I. INTRODUCCION

1.1 Planteamiento del problema.

En lo que va del siglo, en México se han planteado, y en cierto modo practicado, dos enfoques viables pero contrapuestos de desarrollo agrícola (la vía campesina y la vía latifundista), aunque sólo la segunda ha predominado en el panorama agrícola del país desde la década de los cuarentas¹

El Instituto de Investigaciones Agrícolas (IIA, 1947-1960), bajo la dirección del Ing. Edmundo Taboada, planteó orientar la investigación agrícola al desarrollo de un paquete tecnológico acorde con los recursos y el entorno del pequeño productor entonces predominante: la tecnología biológica y agronómica debía prevalecer sobre la tecnología química y mecánica. Un paquete tecnológico similar había contribuido a elevar los rendimientos por hectárea en otros países, durante períodos en que su agricultura tuvo condiciones similares a las existentes en México durante los años cuarentas. Sin embargo, los planteamientos del IIA fueron opacados por los de la Oficina de Estudios Especiales (OEE, 1943-1960)²

¹ La vía campesina de desarrollo, con una agricultura viable, con acceso a la tierra, al crédito, la ayuda técnica y los servicios sociales; y la vía latifundista con la estrategia de concentrar toda clase de apoyos en zonas de agricultura de riego, bien dotadas para desarrollar una agricultura intensiva en capital con ahorro de mano de obra [78]

² Cuando la Fundación Rockefeller estaba en proceso de definir los lineamientos generales que debería seguir su programa de investigación agrícola a desarrollar en México, recibió sugerencias -como las del geógrafo Carl Sauer- para orientar la investigación en un sentido diferente al que finalmente se impuso: "...la agricultura mexicana no puede orientarse hacia la estandarización de unos cuantos tipos comerciales sin perturbar irremediabilmente la economía y la cultura del lugar. El ejemplo de Iowa es quizá el más peligroso de todos para México. Si los norteamericanos no entienden eso, sería preferible que no viniesen a ese país para nada. Debe entenderse que las economías nacionales son básicamente sensatas" (1941) [citado por 107].

El contexto que dió origen y finalmente predominio de uno de los enfoques de desarrollo agrícola en México tiene raíces históricas. Los cambios estructurales en la economía mexicana ocurridos durante el período presidencial de Cárdenas y el inicio de la II Guerra Mundial, formaron una excepcional coyuntura para una rápida industrialización en el país, apoyados en el modelo de sustitución de importaciones. En un ambiente de alto crecimiento económico se demandaban productos agrícolas adicionales, que no siempre se satisfacían en su totalidad, debido a que el aumento de la producción en pequeñas explotaciones campesinas no necesariamente devenía en un excedente comercializable. En este ambiente se planteó que el papel de la agricultura mexicana era servir de base al desarrollo industrial. Había que aumentar lo más rápido posible la producción y la productividad agrícolas, para cumplir con las conocidas funciones de la agricultura en el desarrollo. La estrategia fue desarrollar un conjunto de tecnologías que elevaran significativamente la productividad en áreas de riego y de buen temporal con acceso a insumos, donde la reutilización de las inversiones y de la investigación, se esperaba, sería mayor. Por esta misma razón se pospuso la investigación en la agricultura con limitantes medio-ambientales. Con variantes, esta situación se repitió en varios países en desarrollo.

Desde los años setentas ha surgido una corriente internacional que busca, con diferentes enfoques, definir criterios nuevos para desarrollar y evaluar tecnologías destinadas a productores con limitantes de tierra, capital y ecológicas [26]. En México, esta corriente existe debido a que en los últimos años los incrementos marginales en la productividad por área de cultivos de riego parecen tener tasas de crecimiento cada vez menores, y al rezago de la agricultura de temporal.

En la agricultura de riego de México, el trigo ocupa un lugar especial. Es su símbolo. Las innovaciones que aquí ocurren, y la orientación de estas, pueden considerarse representativas de lo que acontece en la agricultura de riego. Para definir esto se revisan los logros acumulados en la generación de tecnologías en la producción de trigo y el estado de las artes en agronomía que las hizo posibles. La revisión, sin

embargo, se queda en un nivel general, aunque busca ser sistemática y cubrir los aspectos esenciales.

1.2 Objetivo general y objetivos particulares.

El objetivo general que pretende cubrir este trabajo es precisar la orientación que siguió la investigación agrícola sobre trigo en México durante la presencia de la Fundación Rockefeller (1943-1960) y después con el INIA, ahora INIFAP. Así como los alcances, logros y perspectivas.

Más específicamente se plantean los objetivos particulares siguientes:

1. Precisar la secuencia de innovaciones en la producción de trigo en México durante las cinco últimas décadas;
2. Precisar el papel de las diferentes tecnologías que han contribuido a mejorar, de manera significativa, los rendimientos potenciales por área del trigo;
3. Identificar ejemplos donde diferentes “cócteles” tecnológicos han logrado resultados similares en la producción y en la productividad agrícolas;
4. Identificar políticas de investigación que hayan contribuido a hacer más eficientes los esfuerzos de la investigación; e
5. Identificar líneas de investigación que puedan contribuir a seguir mejorando los rendimientos del trigo en México.

1.3 Hipótesis.

El estilo y aún el ritmo de desarrollo agrícola está estrechamente relacionado con las tecnologías agrícolas que se desarrollan y usan. La tecnología biológica, química o agronómica introduce cambios específicos, pequeños y, en general, graduales; no introducen cambios significativos en el proceso global de producción. En cambio, la tecnología mecánica transforma las relaciones de producción, estimula el uso de innovaciones no mecánicas y magnifica sus efectos, conduciendo a reorganizaciones globales de los sistemas agrícolas de producción. Se supone entonces que:

1. Las tecnologías no-mecánicas son las que han contribuido a formar las características más sobresalientes de la alta productividad por área en el cultivo del trigo.
2. En la producción de trigo se dió un temprano y excesivo énfasis a la tecnología mecánica, cuando la mano de obra no era el factor relativamente más caro.
3. La investigación agrícola sobre trigo del programa mexicano se ha concentrado en resultados de aplicación inmediata, provocando rezagos en la investigación básica, y en las posibilidades prácticas de seguir mejorando los rendimientos unitarios del trigo
4. Cuando la inversión en investigación agrícola inicia, la redituabilidad es alta y segura; puede fluctuar en el mediano plazo, pero en el largo plazo tiende a decrecer. Solo avances fundamentales en la ciencia (paradigmas agrícolas) pueden volver a elevar la redituabilidad.

1.4 Metodología.

El trabajo que sigue se propone reunir, seleccionar y ordenar los resultados de investigación que, se reconoce, han contribuido de manera significativa al desarrollo de tecnologías en la producción de trigo en México, disperso en diversos informes técnicos.

La ordenación, ponderación e interpretación de las numerosas innovaciones se hace aceptando que hay patrones generales alternativos de cambio tecnológico agrícola para una sociedad, según el esquema conceptual del modelo de desarrollo inducido, formulado por Hayami y Ruttan [73,74,127], y considerando el papel que juega un paradigma científico en la fase normal de desarrollo de una área del conocimiento, planteada por el filósofo de la ciencia T.S. Khun [90, 91]. El método usado es el abstracto deductivo de la economía. El análisis que se hace se queda en un nivel cualitativo, aunque pretende ser global y señalar los aspectos principales del tema.

II. MARCO TEORICO

2.1 El cambio tecnológico y las teorías del desarrollo

Para A. Smith [132], la división del trabajo incrementa la productividad y el uso de nuevas tecnologías. Pero la naturaleza de la agricultura (sujeta a la biología de las plantas, a las condiciones ambientales, y a la dispersión de la producción, entre otros factores) no permiten su modernización de manera equivalente a la industria³.

Para la tradición marxista los cambios tecnológicos son endógenos al sistema económico, generados por impersonales fuerzas económicas, y adoptadas por el empresario para obtener una ganancia extraordinaria, en tanto se generaliza la innovación. Plantea que el cambio tecnológico, en la industria y en la agricultura, tiende siempre a ser intensivo en capital y ahorrador de mano de obra. Este enfoque, sin embargo, no precisa **cómo se generan las innovaciones mismas** y si se pueden inducir.

Por otra parte, en la mayoría de los modelos de desarrollo agrícola [87, 88,93, 114,124] la tecnología juega un papel importante para explicar el atraso y para promover los cambios que induzcan a la modernización, tanto en la agricultura como en la industria.

Hasta la II Guerra Mundial, la agricultura de los países latinoamericanos (con excepción de algunos enclaves de agricultura comercial de exportación) se venía

³ Smith [132, p.9]:“...la agricultura por su propia naturaleza, no admite tantas subdivisiones del trabajo, ni hay división tan completa de sus operaciones como en las manufacturas...esta imposibilidad de hacer una separación tan completa de los diferentes ramos de labor de la agricultura es quizá la razón de porqué el progreso de las aptitudes productivas del trabajo en dicha ocupación no siempre corre pareja con los adelantos registrados en las manufacturas”.

desarrollando según un sistema autosuficiente, donde los insumos agrícolas eran suministrados esencialmente por el mismo sector agrícola. Su crecimiento era lento: se supone no mayor al 1% en el largo plazo. Los proyectos de industrialización en países como Argentina, Brasil y México requerían de un crecimiento agrícola superior: "...visto en un contexto histórico el problema del desarrollo agrícola no es el de transformar un sector agrícola estático en un sector moderno dinámico, sino de acelerar la tasa de crecimiento del producto y de la productividad agrícola, consistente con el crecimiento de los otros sectores de una economía en vías de modernización" [73, p.27, traducción de BGG]. La pregunta que surge es: ¿cómo concretamente acelerar el crecimiento del producto agrícola?. Las respuestas han variado en el tiempo. Una síntesis teórica de la economía de la producción y de la administración agrícola, formulada a principios de los años cincuentas, lleva a que la fuente de crecimiento de la empresa agrícola individual y del sector agrícola, era reasignar los insumos de la producción de manera que se lograran los mayores incrementos del producto por unidad de insumo usado. Acorde con esto se iniciaron programas de transferencia de materiales y asistencia técnica en varios países latinoamericanos, patrocinados por EE.UU. y con énfasis en la extensión. El supuesto era que el know-how norteamericano se podía usar de manera directa para "incrementar la productividad (agrícola) de todo el mundo" [99, p.58] .

Lo inadecuado de los materiales y prácticas de las zonas templadas a las condiciones de la agricultura tropical, produjo escasos resultados en la producción. Se obtuvo, sin embargo, la experiencia de que la tecnología agrícola es altamente dependiente de las condiciones específicas locales, ecológicas y económicas; que se requiere capacidad local de investigación para adoptar tecnologías y/o generar tecnologías propias [73,99] .

En una nueva perspectiva a inicios de los sesentas, Schultz [129] plantea que el campesino tradicional de los países en desarrollo es eficiente y racional en la asignación de recursos; y si a pesar de eso permanece pobre, ello se debe a que el "estado de las artes" en agronomía en esos países, permanece estacionario, con escasas oportunidades

técnicas y económicas, i.e., la productividad de los factores tradicionales es baja (o lo que es lo mismo, el precio de estos factores es alto en términos productivos) y son fuentes caras de crecimiento económico. Si la pobreza no es consecuencia de alguna ineficiencia apreciable, entonces solo escasos incrementos en la productividad agrícola se pueden obtener reasignando los factores de la agricultura campesina. La alternativa es la búsqueda y generación de nuevos factores agrícolas, altamente productivos. En palabras de Schultz, [129, p.125]:

“El crecimiento económico del sector agrícola de un país pobre depende predominantemente de la disponibilidad y del precio de factores agrícolas modernos (no tradicionales)...Las principales fuentes de alta productividad en la moderna agricultura son fuentes reproducibles, que consisten en insumos materiales y habilidades o conocimientos para usar fructíferamente tales insumos...pero esos insumos materiales modernos no suelen estar ya hechos a la medida; pocas veces se les podrá tomar en su forma actual y aplicarlos directamente a la agricultura de la comunidad pobre. Son pocos los factores agrícolas reproducibles que se emplean en los países técnicamente avanzados que se puedan aplicar, sin más, en la mayoría de las comunidades pobres. En general, lo que existe es un conjunto de conocimientos útiles que han permitido a los países avanzados producir, para su propio uso, unos factores que son técnicamente superiores a los empleados en otras partes. Este conjunto de conocimientos permite desarrollos similares en nuevos factores que se adaptan a las condiciones biológicas u otras que son específicas a la agricultura de comunidades pobres”

El planteamiento lleva implícito realizar inversiones y cambios en los rubros siguientes: a) crear y mejorar la capacidad de investigación agrícola en los países en desarrollo de manera que generen nuevos conocimientos y tecnologías, adaptadas a las condiciones locales⁴; b) puesto que varias de las modernas tecnologías se integran a los insumos, se debe estimular la capacidad del sector industrial para desarrollar, producir y comercializar los nuevos insumos técnicos; y c) estimular a los agricultores a usar

⁴ “Realmente los problemas de investigación en prácticamente todos los campos - mejoramiento de plantas, protección vegetal, manejo de suelos, uso del agua mejoramiento del ganado y pasturas- son cuando menos tan complejos en regiones tropicales y áridas, como en las regiones templadas...” [5, p.109]

eficazmente los nuevos factores agrícolas. La deficiencia del modelo de Shultz es que no explica **cómo** las condiciones económicas **inducen el desarrollo y adaptación** de un conjunto particular de tecnologías y no cualquier otro.

Estos planteamientos se han convertido en una doctrina con aceptación y práctica generalizadas. En México, este modelo ha estado vigente desde los trabajos iniciales de la OEE en 1943.

2.2 Investigación y tecnología agrícola [5,50]

Hay acuerdo en clasificar el quehacer científico de la manera siguiente:

- a) Investigación pura o académica: carece de límites; es la búsqueda del conocimiento por sí mismo. Generalmente la realizan individuos o pequeños equipos y no es costosa: “el científico es el hacedor de lo posible”;
- b) Investigación básica (teórica) orientada: está motivada por la curiosidad intelectual e interés en el conocimiento de la naturaleza, sin preocuparse por posibles aplicaciones inmediatas. Se buscan nuevos conceptos y principios; pero, a diferencia de la anterior, el investigador está restringido por un marco de referencia. Se compilan datos o elaboran teorías en un campo general: “el investigador es un hacedor de lo probable”;
- c) Investigación aplicada: aplicación práctica de conocimientos fundamentales; con objetivos específicos en productos o procesos, donde los resultados son esperados. Es la investigación programada; generalmente organizada a partir de un equipo multidisciplinario y altamente costoso. Se generan tecnologías: “el investigador es el hacedor de lo que acontece”;
- d) Investigación y desarrollo: es la secuencia de actividades técnicas en un nivel de detalle, que permiten transferir los resultados de laboratorio, a través de una planta piloto, a la línea de producción. Es la creación de una nueva tecnología, en estrecha

relación con la investigación básica: “el científico de investigación y desarrollo es el hacedor de un trabajo”;

La investigación académica y la básica no siempre obtienen resultados predecibles ni necesariamente tangibles. La calidad de los resultados se juzga por su valor explicativo y originalidad de la solución. En ocasiones, el único valor es ser insumo de nuevos proyectos que acaso generen resultados prácticos. Por ello se ha estimulado la libre y amplia difusión de estos resultados de investigación en revistas especializadas, libros de texto y memorias de congresos.

La tecnologías agrícolas de uso más generalizado, típicamente la biológica y la agronómica, son el resultado de la investigación aplicada o adaptativa y, frecuentemente, requieren de cambios importantes en los procedimientos estándar de investigación y/o la adición de nuevos conocimientos básicos, según características específicas de cultivos y regiones⁵

Debe observarse[95,103, 109] que, hablando en general, la tecnología no es la aplicación inmediata y directa de elementos del conocimiento existentes en cierto momento. En sí misma requiere de altas dosis de talento y creatividad, y parece tener una dinámica propia, con pocos nexos con la ciencia básica. En un extremo, las innovaciones tecnológicas no necesariamente requieren de la aplicación de nuevos principios fundamentales; más generalmente ocurren a partir del “estado de las artes” en cierto momento, y aún sin ningún conocimiento formal: por ejemplo, en diferentes países los

⁵ “La investigación agrícola tiene como objetivo aplicar (conocimientos de) una gran variedad de disciplinas... particularmente las biológicas... al desarrollo de nuevos métodos de producción agrícola y a la solución de problemas que rodean al agricultor y es por tanto, esencialmente investigación aplicada en el más amplio sentido” [5, p.119]

mejores agricultores han desarrollado variedades rendidoras por procedimientos empíricos⁶

En otro extremo, la ciencia básica en su búsqueda de una mayor comprensión de la naturaleza y la creación de nuevos principios fundamentales, siguiendo o no claros objetivos, puede dar origen a imprevisibles aplicaciones prácticas: los experimentos de Mendel y la creación del maíz híbrido por G.H.Shull, en el pasado, y la biotecnología actualmente, son ejemplos relevantes⁷. La mayoría de las grandes aportaciones teóricas que han dado origen a novedosos usos prácticos, se han generado en una búsqueda de frontera sin fines precisos y además por individuos .

2.2.1 Innovación y cambio tecnológico

Existe cierta superposición en las definiciones de invención, innovación, tecnología y cambio tecnológico. Para nuestros propósitos tomamos aquellas que han llegado a predominar en la literatura sobre el tema. Según Nelson [102, p. 103]:

“Una **invención** puede ser definida como una combinación de elementos viejos o nuevos, sea de cosas o ideas... concediendo que el término puede ser usado para incluir toda la actividad humana creativa, desde la composición de un poema hasta el desarrollo de un nuevo proceso químico; para nuestros propósitos estaría bien en definirlo de manera más estrecha, para incluir solo los inventos patentables”⁸.

⁶ Los mejores agricultores del Japón desarrollaron VAR de arroz por métodos empíricos a finales del siglo pasado. Biológicamente esas VAR tenían una respuesta a las altas fertilizaciones, similar a lo que después tuvieron los trigos enanos. Un caso excepcional es el de Luther Burbank (1848-1926) quien desarrolló numerosas variedades de frutales y hortalizas en EE.UU., algunas actualmente usadas, por métodos empíricos e intuitivos no aclarados aún.

⁷ “...George Harrison Shull, un genetista que trabajaba con plantas de maíz y se interesaba en las variedades puras para sus experimentos de genética, no por su valor económico, produjo diversos maíces mejorados que se desarrollaron bien y luego los cruzó. La descendencia híbrida de las endebles líneas puras fue vigoroso y predecible. De pronto, un económico e ideal maíz mejorado resultaba de un proyecto puramente motivado por el avance de la ciencia” [102, p. 116, traducción de BGG]

⁸ “ Toda invención es (a) una nueva combinación de (b) conocimientos preexistentes, lo cual satisface algo que queremos” [95, p. 35]

El concepto de innovación de Schumpeter [128, p.87, trad. de BGG] es:

“...si en lugar de las cantidades de los factores variamos la forma de la función, tendremos una **innovación**...simplemente definiremos la innovación como la creación de una nueva función de producción. Esto abarca el uso de un producto, una nueva forma de organización o la apertura de nuevos mercados”

En cambio Ruttan [127] define la innovación así: “...sugiero que extendamos el concepto de innovación para abarcar...el proceso mediante el cual surgen “cosas nuevas” en la ciencia, la organización, la tecnología y el arte”.

Parker [109, p.26] ha mostrado que es difícil precisar dónde termina la invención y empieza la innovación, debido a que muy “frecuentemente están inextricablemente ligadas: cada una es en parte causa y en parte efecto de la otra”.

Desde el fin de la II Guerra Mundial ha predominado el enfoque neoclásico en el análisis del cambio tecnológico y de la productividad, definiéndose así:

“Consideramos el **cambio técnico**, como cualquier cambio en los coeficientes de producción resultantes del propósito de usar nuevos recursos en una actividad dirigida al desarrollo de un nuevo conocimiento integrado en el diseño, los materiales, o la organización”[73, p. 56, traducción de BGG].

Schultz[129,p.113] tiene un planteamiento similar:

“Una técnica de producción forma parte integrante de uno o más factores...el concepto de **cambio técnico (o tecnológico)** es, en esencia, consecuencia de añadir, restar o cambiar (la calidad de) por lo menos uno de los factores de la producción”⁹.

El objetivo y/o resultado del cambio tecnológico es reducir los costos medios por unidad de producto y/o mejorar la calidad de los bienes. Incrementar la redituabilidad de los factores de la producción es una fuente del crecimiento económico.

2.3. Una clasificación de las tecnologías agrícolas [46,73]

De Janvry [46] clasifica la tecnología en: a) mecánica (tractores, cosechadoras y molinos de viento); b) biológica (semilla híbrida y razas de ganado); c) químicas (fertilizantes, insecticidas y herbicidas); y d) agronómicas (técnicas de manejo del cultivo y administración). La clasificación se basa en el papel que juegan en el proceso productivo y su efecto en la sustitución de factores.

Las tecnologías biológica, química y agronómica son más fundamentales en la agricultura que la mecánica, debido sencillamente a que las plantas son los productores primarios del ecosistema, i.e., involucran mejoras en uno o más de los elementos siguientes: a) el manejo de los recursos agua y tierra de manera que proporcionen un ambiente más satisfactorio para el crecimiento de la planta; b) modificaciones al medio ambiente, por adiciones de fuentes orgánicas e inorgánicas de nutrientes al suelo para estimular el crecimiento, y el uso de medios químicos y biológicos para proteger a las plantas; y c) selección y creación de variedades biológicamente más eficientes,

⁹ Para Blaug [12, p. 78], cambio técnico e innovación son sinónimos “...todo cambio de la función de producción implica cambio técnico.. definiremos una innovación de procesos como todo mejoramiento de la técnica que disminuya los costos medios por unidad de producto, a pesar de que los precios de los insumos permanezcan constantes. La nueva técnica puede implicar modificaciones fundamentales en el equipo, pero esto no es un elemento necesario de la definición: la mera reorganización de una planta puede ser tan ahorradora de factores como la introducción de máquinas nuevas”.

específicamente adaptadas para responder a los elementos del medio ambiente controlados por el hombre.

Un sistema agrícola basado predominantemente en las tecnologías biológica y química, se caracteriza por ser autosuficiente y estable en alto grado, aunque tiene tasas de crecimiento relativamente bajas: en el rango del uno por ciento en el largo plazo. Además "...típicamente los avances en la tecnología biológica y química no plantean, ni prometen, una reorganización radical de los sistemas de producción agrícola, que en cambio, ha caracterizado a la mecanización" [73, p.51].

Se considera a la tecnología mecánica como ahorradora de trabajo, que al permitir trabajar una superficie mayor por trabajador ocupado, incrementa la productividad del trabajo. Permite un uso intensivo de insumos industriales¹⁰.

La tecnología biológica y química permite sustituir la tierra por trabajo y/o insumos industriales. Por su naturaleza puede ser poco usadora de capital; también puede ser usadora o ahorradora de trabajo¹¹.

La tecnología agronómica, generalmente, es usadora de trabajo y ahorradora de tierra, incrementa los rendimientos de la tierra. El uso aislado de parte de la tecnología biológica o agronómica, aumenta muy poco los rendimientos por unidad de área.

¹⁰ Esta clasificación considera la perspectiva histórica y los resultados, no las motivaciones de las innovaciones. Aún así debe considerarse que hay innovaciones mecánicas que no desplazan trabajo: por ejemplo, las mejoras iniciales del arado solo mejoró el barbecho y los rendimientos, sin desplazar mano de obra.

¹¹ Las primeras variedades de alto rendimiento de arroz del Japón requerían de mayores cuidados, además de mayor fertilización: como ésta se realizaba en la forma de estiércol, abono verde o composta, ello significaba incrementar los días de trabajo por unidad de superficie. En general, el uso de semillas mejoradas, altas dosis de fertilización y control del agua, cuando la mecanización no es alta, puede requerir de mayor trabajo. El uso de mayor cantidad de trabajo puede, después, ser sustituida -y quedar oculta- en la forma de una alta mecanización [73, cap. 7]

2.4 El cambio tecnológico inducido

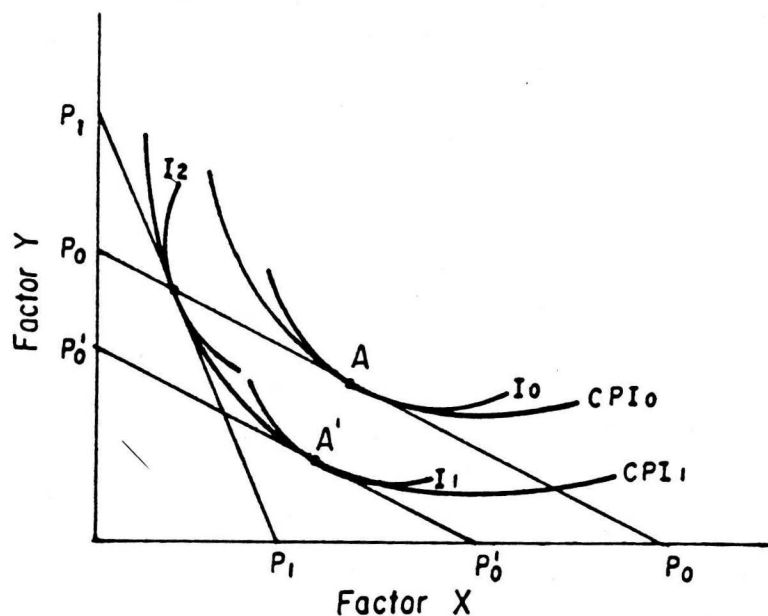
2.4.1 El planteamiento teórico.

Hicks [79] planteó que un cambio en el precio relativo de los factores puede influir en la naturaleza de la innovación. Sin embargo, no precisa el mecanismo de **cómo** ocurre o puede ocurrir ese proceso.

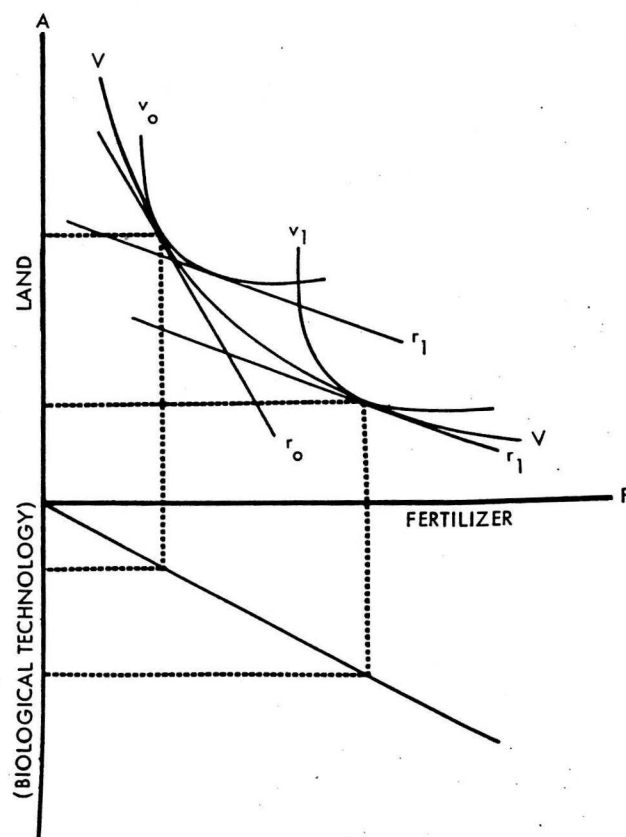
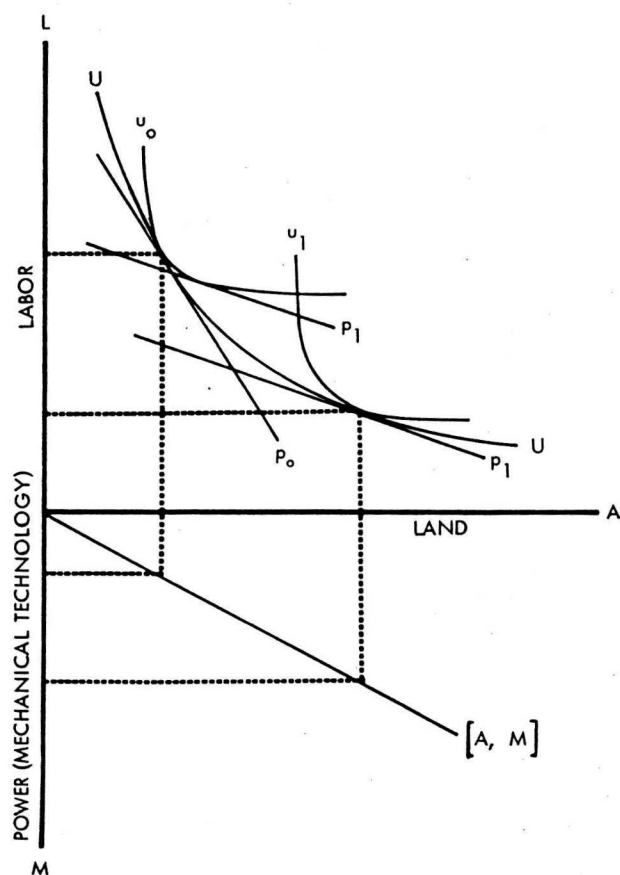
Ahmad [3] propone el concepto de curva de posibilidades de innovación histórica (CPI), que viene a ser la envolvente de todas las isocuantas o tecnologías alternativas, posibles de desarrollar en el mediano plazo. El mecanismo de inducción de las innovaciones puede exponerse con el apoyo de la Gráfica 1. Las curvas de posibilidades de innovación CPI_0 y CPI_1 son neutrales¹². Supongamos que una empresa esta operando en A, en la isocuanta I_0 , donde minimiza costos, dada la relación de precios de los factores P_0P_0 . La empresa puede generar o usar innovaciones alternativas para operar en I_1 o I_2 , que requiere de iguales costos de investigación. Si la relación de precios de los factores no cambia, la investigación desarrollará tecnologías dadas por la isocuanta I_1 . Si el precio del factor X se incrementa en relación al factor Y, representada por la línea de presupuesto P_1P_1 , se elegirá desarrollar la tecnología dada por la isocuanta I_2 , que ahorra el uso del factor caro.

Ahmad deriva el corolario de que no generar innovaciones según necesidades propias y/o la adopción de innovaciones tecnológicas de otras economías, puede tener sus costos adicionales, si tales innovaciones no corresponden a la dotación y precios de los factores propios.

¹² Una innovación es neutral si, para algún nivel de producción dado, las isocuantas original y con innovación, dan la misma relación de combinaciones de factores, para cada relación de precios de los factores, cuando los costos son minimizados.



Gráfica 1. Inducción a las innovaciones por el cambio de largo plazo en los precios relativos de los factores. Fuente :[3].



Gráficas 2 y 3. Precio de los factores y cambio tecnológico inducido: tecnología mecánica y biológica. Fuente [73, p.126].

Fuente [73, p.126].

La aplicación de este análisis a la generación de tecnologías en el sector agrícola requiere de integrar a su aparato conceptual nuevos elementos que han estado presentes en el desarrollo agrícola (investigación del sector público, precio de los insumos, etc.)

En esta línea de análisis Hayami y Ruttan [73] , plantean su modelo de desarrollo inducido (MDI), donde explícitamente integran al modelo: la dotación de recursos de un país, las inversiones agrícolas del sector público, los cambios institucionales en el sector agrícola, el comportamiento del sector industrial productor de agrofactores y, desde luego, su interacción dinámica.

El proceso operativo de la inducción de innovaciones tecnológicas puede ilustrarse con las Gráficas 2 y 3. Las isocuantas U_0 y U_1 corresponden a tipos diferentes de maquinaria, con sucesivas mejoras en el tiempo. El paso de una isocuanta a otra requiere de cierto período de tiempo y, en si mismo, constituye un cambio tecnológico de corto plazo. Conceptualmente puede generarse una curva envolvente de todas las posibles isocuantas para una "época tecnológica". A la isocuanta UU le llaman función de metaproducción, a lo largo de la cual ocurre la sustitución de factores en el largo plazo, ante tendencias de cambio de largo plazo en los precios relativos de factores. El proceso dinámico de sustitución de factores se inicia cuando, al estar produciendo en U_0 , la relación de precios del trabajo/tierra cambia de P_0 a P_1 (i.e., el precio del trabajo se incrementa relativamente más que el precio de la tierra) induciendo la generación y uso de maquinaria que ahorra trabajo, generalmente incrementando la fuerza de tracción manejada por trabajador, lo que se representa por U_1 . El resultado de producir en U_1 , es que la tierra y la tecnología mecánica sustituyen al trabajo, lo que se ilustra por la línea (A,M).

En el mismo orden de ideas se ilustra la generación de tecnología biológica y química; V representa la isocuanta de la función de mataproducción; V_0 y V son isocuantas que corresponden a variedades con diferente respuesta a niveles diferentes de fertilización. El descenso en la relación de precios de fertilizante/tierra, al pasar de r_0 a r_1 ,

plantea a las estaciones agrícolas experimentales como promisorias a las variedades que tengan una mayor respuesta productiva a altas dosis de fertilización.

Una situación común a ambas gráficas es que, para una época, la función de metaproducción o sucesivas innovaciones está dada por las posibilidades que ofrece el “estado de las artes” en agronomía; solo nuevos conocimientos fundamentales podrían desplazarla, inaugurando una nueva “época tecnológica”.

El modelo supone la existencia de una economía o agricultura comercial, sin distorsión en los precios de los factores y productos, donde el productor agrícola busca maximizar su ingreso neto y el industrial productor de agroinsumos, tiene capacidad de generar innovaciones que secularmente abaratan sus productos.

El mecanismo de innovación inducida en las instituciones de investigación financiadas con fondos públicos, opera de manera indirecta: son los científicos y administradores de la investigación quienes con criterios de mercado o de necesidades sociales¹³, asignan los esfuerzos de investigación y evalúan resultados. El resultado deberá ser crear tecnologías que sustituyan a los factores relativamente escasos y caros, disminuyan los costos totales e incrementen el ingreso neto del productor. De esta manera no solo el agricultor ahorra recursos, sino también el país.

La innovación institucional comprende cambios en la creación, administración, financiamiento y funcionamiento de las instituciones, agrícolas y no-agrícolas, que inciden en el comportamiento del sector primario.

La creación de un sistema de estaciones experimentales permite, en una primera etapa, desarrollar la capacidad de adaptar a la ecología y economía, tecnología agrícola

¹³ Los cambios de largo plazo en los precios relativos de los factores y productos aporta información necesaria para definir las prioridades de las metas de investigación de una sociedad.

generada en otros países, y después, producir y mejorar tecnología propia. La consolidación de equipos de investigación puede reducir el retraso entre la inversión y/o oportunidades económicas y la disposición de tecnologías económicamente aprovechables por el productor¹⁴.

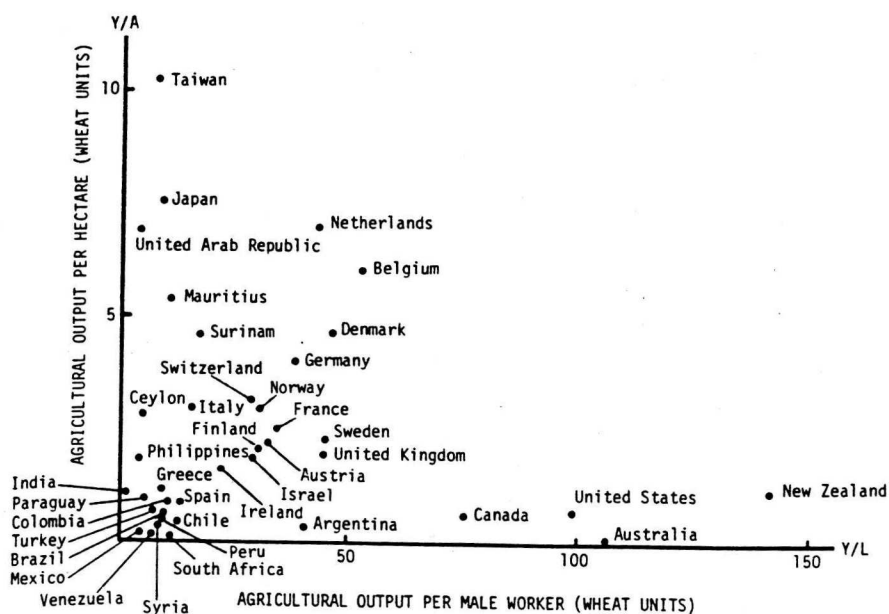
2.4.2. Algunas evidencias empíricas

Lo relevante del MDI es que analiza el comportamiento de la productividad de la tierra y el trabajo entre países y en el tiempo. Parte de la consideración de que hay múltiples patrones alternativos de cambio tecnológico disponibles a la sociedad. En una primera aproximación encuentra que existen tres grandes vías de cambio tecnológico (Gráficas 4 y 5): a) países que históricamente han tenido limitaciones de tierra (Japón, Holanda, etc.), han tendido a sustituir a esta por insumos relativamente más baratos y abundantes, como fertilizantes o tecnología biológica, incrementando

fuertemente la productividad por hectárea; b) grandes países (Canadá, EE.UU., Nueva Zelanda, etc.), donde la tierra agrícola ha sido relativamente abundante y escasa la mano de obra, han tendido a desarrollar la tecnología mecánica, incrementando la productividad por trabajador agrícola; c) países que han dispuesto de una dotación más o menos balanceada de tierra y trabajo, y que han seguido una vía de cambio técnico intermedia.

Una medición en las diferencias de las fuentes de la productividad agrícola, centrada en 1960, junto con los datos históricos del crecimiento agrícola, lleva a coleccionar

¹⁴ El tiempo del retraso varía naturalmente entre países y cultivos. Evenson [citado por 73, p. 150] ha encontrado que en la agricultura de EE.UU. hay un retraso promedio, entre las inversiones en investigación y el impacto en la producción, de 5 a 8 años. Promedio que incluye: a) el retraso entre los gastos de investigación y el descubrimiento de conocimientos económicamente relevantes; b) el retraso entre el descubrimiento y la adopción por el productor de las nuevas técnicas o insumos que integran al nuevo conocimiento; c) el efecto obsolescencia o depreciación.

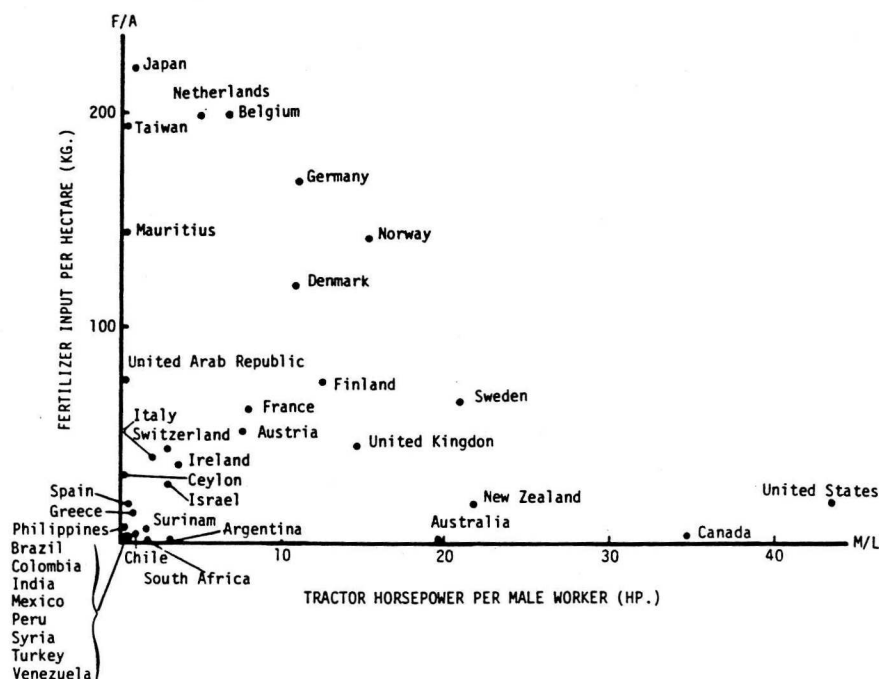


Gráfica 4. Comparación internacional del producto agrícola por trabajador masculino por hectárea de tierra agrícola.

N. B. Los datos del producto son promedios de 1957-1962; los datos de trabajo y tierra corresponden a 1960.

La noción de producto agrícola usada por los autores tiene las características siguientes: a) solo considera productos agrícolas, i.e., excluye productos forestales y pesca; b) las cantidades de cada producto son medidos en la forma que lo vende el productor (caña de azúcar en lugar de azúcar, etc.) c) se descuentan productos intermedios (semillas, etc.); d) se suponen tres estructuras de precios representados por los EE.UU., Japón y la India; e) la agregación de productos es una media geométrica de las tres estructuras de precios.

Fuente: [73, p. 71]



Gráfica 5. Comparación internacional de la potencia de los tractores por por trabajador masculino y de fertilizantes químicos por hectárea de tierra agrícola.

N.B. Los datos de fertilizantes son promedios de 1957-1962; los datos de tierra, trabajo y tractores, corresponden a 1960.

- las series de cantidad de caballos de fuerza de tractor y cantidad de fertilizantes se consideran variables proxy de la tecnología mecánica y biológica.
- El número de trabajadores agrícolas masculinos se estimó a partir de datos de población económicamente activa masculina en ocupaciones primarias. El método supone igualdad de productividad del trabajo entre ocupaciones agrícolas.
- La superficie agrícola es la superficie arable y la de pastos. El procedimiento, sin embargo, sobrestima la dotación de tierra agrícola en países ganaderos como Australia, y subestima la productividad de la tierra.

Fuente: [73, p. 72]

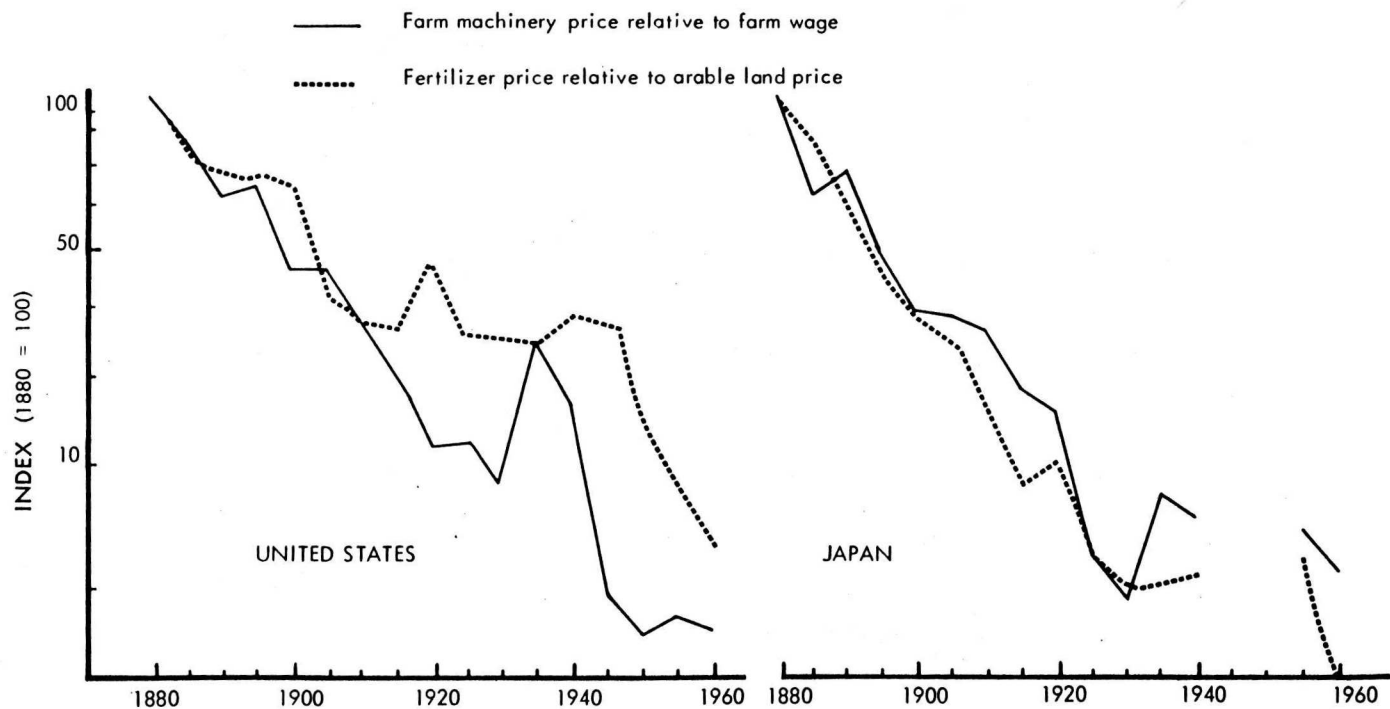
que las grandes diferencias en la productividad de la tierra y del trabajo entre países (a pesar de una gran heterogeneidad en tamaño, clima, composición del producto agrícola y tecnologías) está asociado a diferencias en la dotación de recursos primarios, la oferta de agroinsumos de origen industrial a precios relativos secularmente decrecientes y a la capacidad de generar una secuencia de tecnologías agrícolas apropiadas, lo que disminuye la oferta inelástica de esos factores (Gráfica 6).

Los tres patrones de cambio tecnológico pueden observarse también en el comportamiento temporal de la productividad, de la tierra y del trabajo, en países seleccionados representativos, durante 1880-1960. Las Gráficas 7, 8 y 9 ilustran que las situaciones caracterizadas por severas restricciones en la oferta de tierra o trabajo, pueden superarse por una secuencia de innovaciones que permita la sustitución de esos factores por insumos técnicos de origen industrial. La revisión de la experiencia histórica de EE.UU. y Japón aclara mejor este proceso.

Estados Unidos y Japón se han caracterizado por diferencias extremas en la dotación de tierra y trabajo¹⁵; diferencias que no han impedido tener altas y similares tasas de crecimiento en el largo plazo¹⁶. Las fuentes de crecimiento en la productividad agrícola, sin embargo, son diferentes. En un período de 80 años la productividad de la tierra creció en 300 por ciento en Japón, en tanto que en EE.UU. solo creció un 60 por ciento. A su vez, el incremento de la superficie agrícola por trabajador en este último país, explica más del 80 por ciento del crecimiento en la productividad del trabajo

¹⁵ En 1880 el área agrícola por trabajador en EE.UU. era 36 veces mayor que en el Japón; la superficie cultivada era 10 veces más grande. Con el tiempo las diferencias se ampliaron: para 1960 el área agrícola por trabajador fue 97 veces más grande en EE.UU., y la superficie cultivada 47 veces. En cambio, una hectárea de tierra arable en 1880 en Japón era nueve veces más cara que en EE.UU.; en 1960 la diferencia había aumentado a 30 veces [73,p. 113].

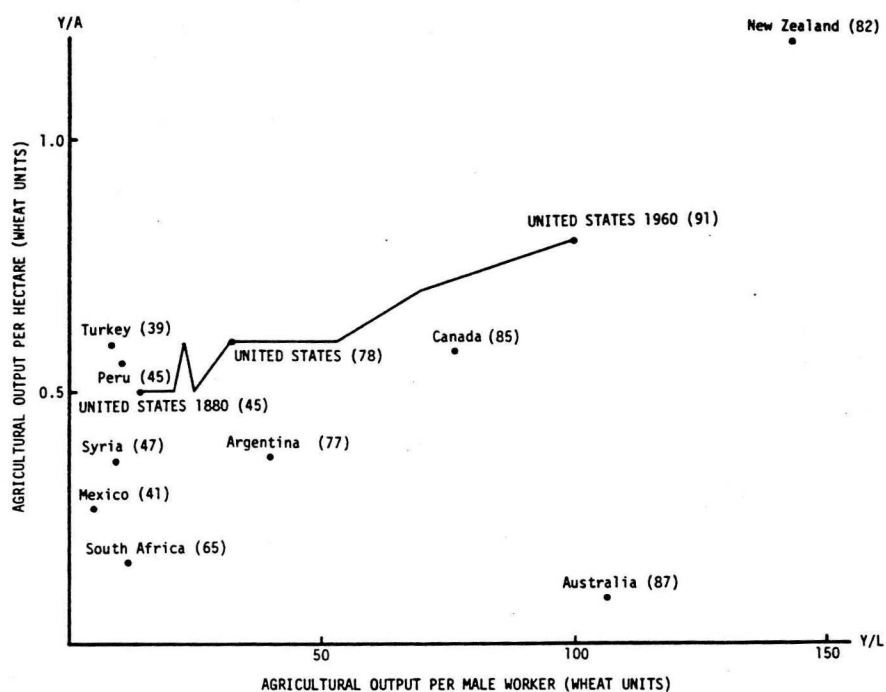
¹⁶ Durante el período 1880-1960 el producto agrícola creció a una tasa anual compuesta de 1.5 y 1.6% en EE.UU. y Japón, respectivamente. El incremento agregado de insumos convencionales crecieron, a su vez, en 0.8 y 0.6 por ciento; y el factor total de productividad (producto/total de insumos) creció en 0.7 y 1.0 por ciento, respectivamente [73, p. 114].



Gráfica 6. Precios relativos de la maquinaria agrícola y los precios relativos de los fertilizante químicos respecto al precio de la tierra arable.

N.B. Datos de 1880-1960 (1880=100, en logaritmos) para EE.UU. y Japón. Los precios son promedio de los cinco años precedentes al anotado.

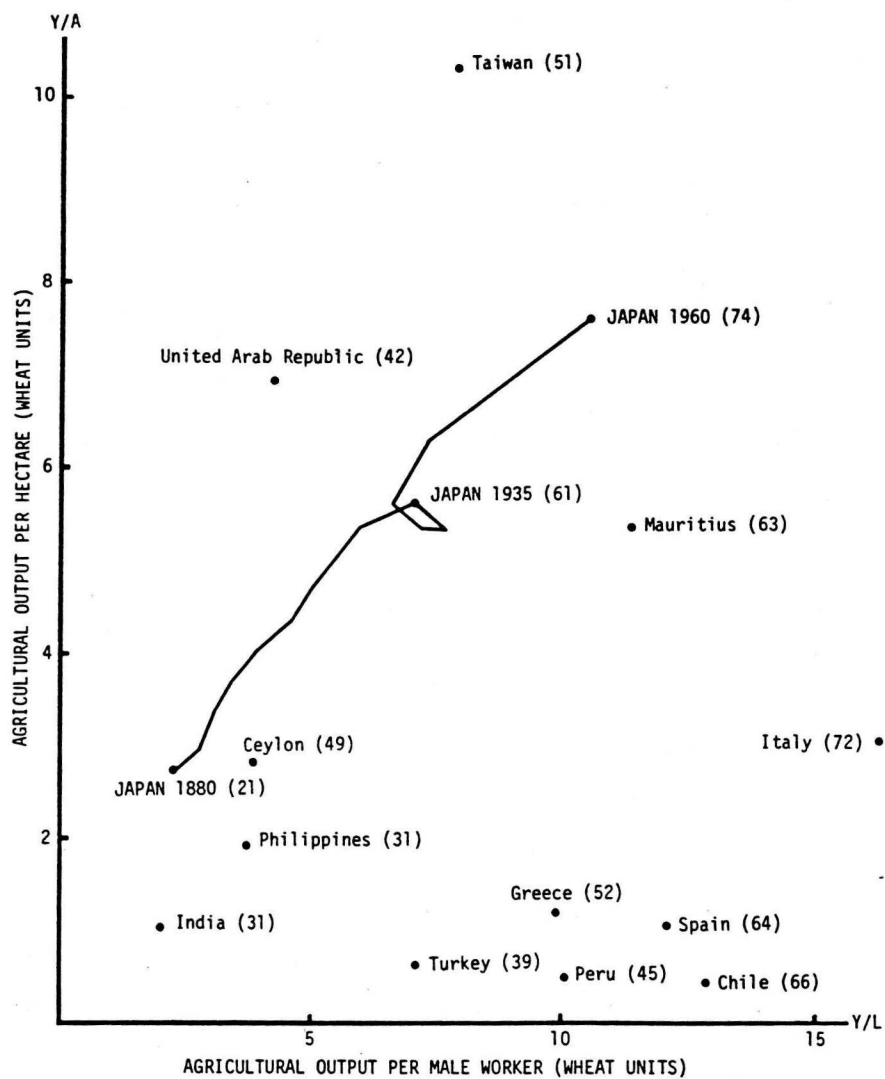
Fuente: [73, p. 123]



Gráfica 7. Ruta de crecimiento en los Estados Unidos para 1880-1960, comparando observaciones de sección cruzada de varios países para 1960.

N.B. Los valores en paréntesis son porcentajes de trabajadores masculinos empleados en actividades no agrícolas.

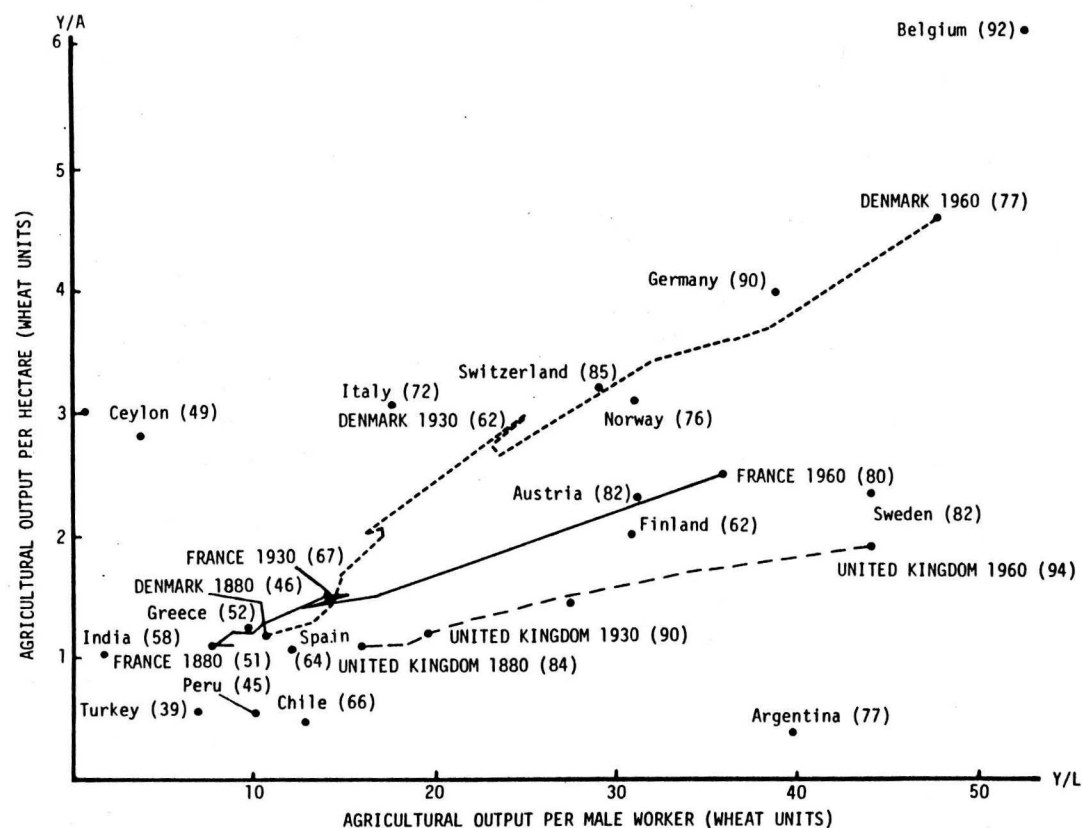
Fuente : [73, p.78].



Gráfica 8. Ruta de crecimiento histórico de la productividad agrícola en Japón para 1880-1960, comparado con observaciones de sección cruzada de varios países para 1960.

N.B. Los valores en paréntesis son porcentajes de trabajadores masculinos empleados en actividades no-agrícolas.

Fuente : [71, p.79].



Gráfica 9. Ruta de crecimiento histórico de la productividad agrícola de Dinamarca, Francia y el Reino Unido para 1880-1960, comparado con observaciones de sección cruzada de varios países para 1960.

N.B. Los valores en paréntesis son porcentajes de trabajadores masculinos empleados en actividades no-agrícolas.

Fuente: [73, p.80].

agrícola, mientras que en el Japón solo explica el 40 por ciento (Gráfica 10). Tales diferencias se explican por la generación y uso de tecnologías agrícolas diferentes.

En Japón, el uso de variedades de altos rendimientos (en arroz, cultivo predominante) y fertilizantes en altas dosis, se inicia en el siglo pasado¹⁷, llegando en 1910 a niveles que EE.UU. solo alcanzaría por 1940. Las continuas mejoras en la tecnología biológica y química fue la fuente principal del crecimiento en la productividad agrícola. La tecnología mecánica empezó a ser importante sólo en la década de los sesentas. En cambio, en EE.UU. el uso de fertilizantes en bajas dosis se inicia en el siglo pasado con el propósito de contrarrestar descensos en los rendimientos debidos a reducciones en la fertilidad del suelo en cultivos extensivos. La introducción del maíz híbrido (y de otras variedades de altos rendimientos) en los años treintas, se asocia al uso de altas dosis de fertilizantes químicos. Desde entonces, la tecnología biológica ha contribuido a mejorar la productividad de la tierra, aunque la fuente principal del crecimiento del producto es la tecnología mecánica.

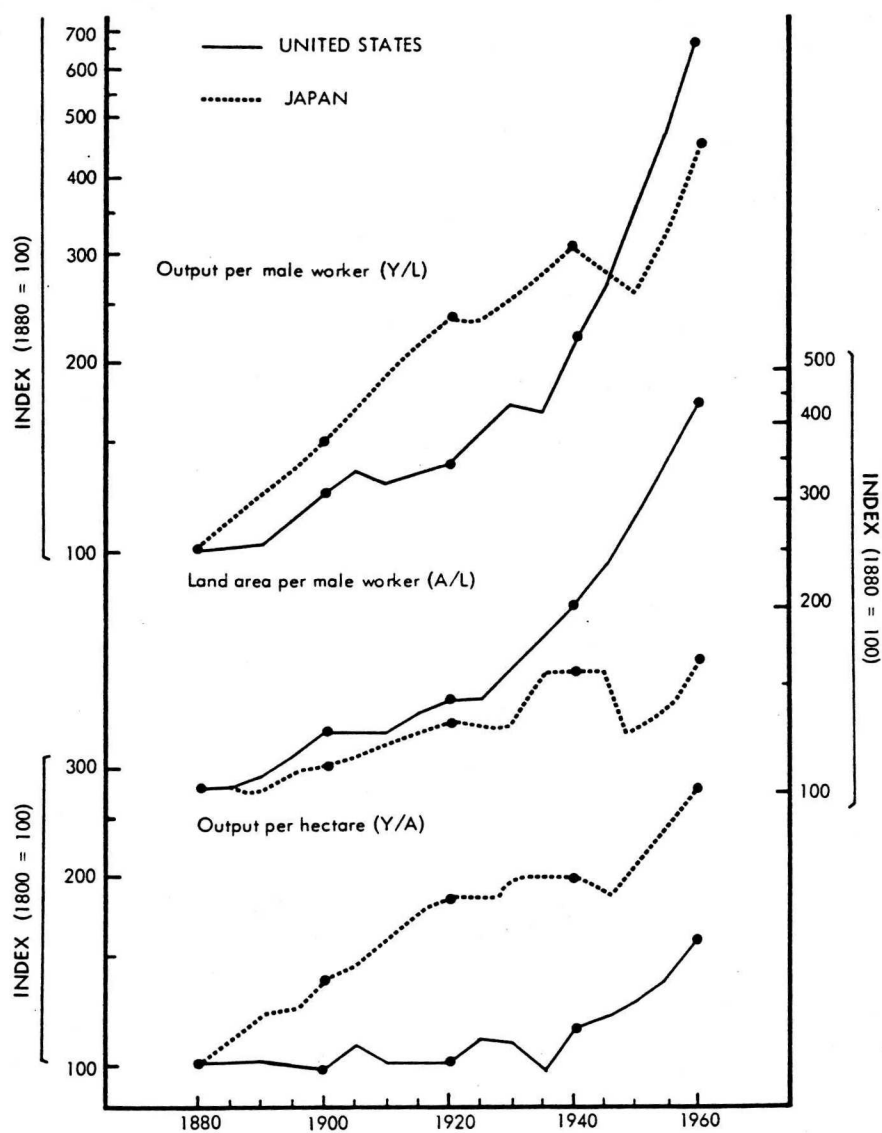
2.4.3 Algunas extensiones al modelo.

Binswanger[10] reporta la aplicación de pruebas estadísticas para el Reino Unido, Francia, Dinamarca y Alemania. Los resultados permiten generalizar las conclusiones anotadas antes. Los coeficientes de las regresiones en tecnología biológica son muy similares entre países¹⁸. Lo mismo ocurre en el uso de concentrados para el ganado.

También encuentra que el sesgo tecnológico ocurre con un retraso de 5 a 8 años. Una modificación de los precios de los factores en sentido contrario al que estimuló el sesgo, si se mantiene por cierto tiempo, disminuye la magnitud del sesgo.

¹⁷ La creación de variedades de altos rendimientos, en el sentido que hoy se da (mayor eficiencia de uso de nutrientes, suministrados en altas dosis) se inicia en el Japón en el siglo pasado [73, p. 155].

¹⁸ Se estimó la relación de cantidad fertilizante/tierra y mano de obra/tierra, respecto a la relación de sus respectivos precios.



Gráfica 10. Cambios en la productividad del trabajo, la relación de precios tierra/trabajo y la productividad de la tierra para Estados Unidos y Japón durante 1880-1960 (1960=100, en logaritmos).

Fuente: [73, p.117]

2.4.4 Algunas críticas y limitaciones del modelo.

De Janvry [46] plantea que varios factores estructurales e institucionales distorsionan los precios de los factores¹⁹ y modifican los efectos en la intensidad y sesgo del cambio tecnológico, al no permitir alcanzar el óptimo económico y social²⁰.

Lynam[94] señala que la desigual distribución de la tierra y la mano de obra en el agro latinoamericano, genera las consecuencias siguientes: a) las proporciones relativas de los factores en la economía no corresponden con las proporciones al nivel de la unidad productiva; b) una dualidad de respuesta de los agricultores a los precios de los factores, lo cual refleja que la productividad marginal de los factores difiere, de acuerdo con el tamaño de la explotación²¹; c) la rentabilidad de distintas innovaciones tecnológicas varía también de acuerdo con el tamaño de la explotación²².

Esto lleva a que las isocuantas correspondientes a las grandes explotaciones sean totalmente distintas de las correspondientes a las pequeñas explotaciones; las posibilidades de sustitución en ambos casos son limitadas, porque cada tipo de explotación enfrenta diferentes costos de oportunidad de los factores.

¹⁹ Esos factores son: a) distorsión en los precios de los factores y productos, debido, por ejemplo, a que un país en desarrollo práctica una industrialización vía sustitución de importaciones, protegiendo su economía: lo que incrementa los precios relativos de los nuevos insumos de capital agrícola, desestimulando su adopción. La sobrevaluación de la moneda, entre otras cosas, tiende a abaratar los precios de los productos agrícolas; b) el riesgo asociado a los altos precios de nuevos insumos; c) restricciones del presupuesto a la investigación; y d) el bajo stock de conocimientos científicos [46]

²⁰ El óptimo social se alcanza cuando la oferta de innovaciones generadas corresponden a la dotación relativa de recursos (demanda), impulsando el crecimiento agrícola, i.e., cuando las innovaciones son consistentes con las condiciones económicas y posibilidades científicas prevalentes [3]

²¹ Por lo general, en las grandes explotaciones el producto marginal de la mano de obra estará por encima del salario; en las pequeñas, por debajo del salario.

²² Generalizando, las grandes y pequeñas explotaciones se han especializado en cultivos diferentes: las grandes explotaciones producen cultivos de alta densidad económica; las pequeñas producen cultivos básicos.

Finalmente, el punto de vista de la economía política para explicar el cambio técnico en el agro latinoamericano, a partir de estudios de caso representativos, lo realizan Piñeiro y Trigo[111,p.168] planteando que hay cierta "...dificultad metodológica de vincular la cuestión tecnológica a los procesos sociales más amplios que la contienen y determinan", y aún cuando no logran explicar **cómo** ocurre el proceso de generación tecnológica, encuentran que: a) en Latinoamérica opera, de manera modificada, los mecanismos del MDI; y b) en todos los estudios de caso el cambio tecnológico es intensivo en capital, a pesar de que su precio se incrementó más rápidamente que los salarios.

La explicación de este segundo resultado se hace considerando: a) existencia de imperfecciones en los mercados de factores. A partir de esto , los dos grandes grupos de unidades de producción, adoptaron tecnologías de acuerdo a los precios reales relativos de los factores; b) restricciones derivadas de la tecnología disponible a nivel internacional, en relación con las decisiones de la unidad productiva²³; y c) el sistema de investigación nacional no siempre ha respondido a la disponibilidad relativa de factores. En varios casos la tecnología biológica ha sido transferencia de los organismos internacionales de investigación.

2.5 El paradigma científico agrícola

Las tecnologías agrícolas -y los avances en los conocimientos básicos que las hacen posibles- parecen seguir en el largo plazo ciclos definidos. En el apartado que sigue se intenta respaldar este planteamiento.

²³ En los países desarrollados la función de metaproducción dominante ha sido la tecnología mecánica ahorradora de mano de obra: repercute en la oferta disponible en el mercado para los países en desarrollo. Además, normalmente, estos no realizan investigación sobre tecnología mecánica para generarla o adaptarla a sus condiciones.

2.5.1 El planteamiento teórico .

El filósofo de la ciencia T.S. Khun [90, 91] plantea que en las diferentes áreas de las ciencias físicas y biológicas los progresos transcurren en una alternancia de (a) períodos más o menos cortos en que surgen cambios radicales en la manera de abordar y resolver problemas, i.e., la inauguración de una ciencia nueva o la reestructuración de un campo de estudio ya establecido; y (b) largos períodos de acumulación gradual de hechos, teorías y métodos.

Un nuevo campo de estudio se inicia con la formulación de un paradigma: “...realizaciones científicas universalmente reconocidas que, durante cierto tiempo, proporcionan modelos de problemas y de soluciones a una comunidad científica”, i.e., proporcionan la teoría y el método para encuadrar y explicar nuevos hechos. Y es que, como se sabe, “...no puede interpretarse ninguna historia natural sin, al menos, cierto caudal implícito de creencias metodológicas y teóricas entrelazadas, que permita la selección, la evaluación y la crítica (de hechos y resultados)” [90, p.13]²⁴.

Se acepta como paradigma a la teoría que **parece** el mejor sistema explicativo disponible, aunque nunca explica **todos** los hechos relacionados con la naturaleza de problemas que aborda. Al principio, el paradigma solo es una promesa de “éxito discernible”, suficientemente incompleto como para dejar muchos problemas sin resolver. Su papel esencial es que guía futuras investigaciones. Se abre entonces una larga época para la ciencia normal: la investigación en áreas restringidas -definidas por el paradigma-, donde no se busca realizar novedades teóricas, sino ante todo: (a) aplicar el sistema explicativo a una diversidad de hechos claramente sugeridos en su formulación y aumentar la precisión en las explicaciones; (b) aplicaciones a hechos que parecen

²⁴ “A falta de un paradigma o de algún candidato a paradigma, todos los hechos que pudieran ser pertinentes para el desarrollo de una ciencia dada tienen probabilidades de parecer igualmente importantes ...no puede concebirse ningún experimento sin algún tipo de teoría... la adquisición de un paradigma y del tipo más esotérico de investigación que dicho paradigma permite es un signo de madurez en el desarrollo de cualquier campo dado” [90, p. 35]

comportarse de acuerdo a las predicciones del paradigma, pero donde se requiere de algunas modificaciones **ad hoc** de la teoría; y (c) articular la teoría del paradigma resolviendo problemas residuales, de manera que mejore la concordancia entre el paradigma y la realidad. De hecho, estos tres tipos de actividades ocupan la mayor parte del tiempo de la mayoría de los científicos, así como buena parte de la literatura científica.

Mientras el paradigma se aplica con éxito -en tanto no surgen anomalías o ejemplos en contrario que no se puedan soslayar- se resolverán enigmas, que de otro modo no habría sido posible ni quisiera plantear; transcurre entonces el período de acumulación gradual de conocimientos científicos²⁵. Pero la naturaleza misma de la investigación normal hace que las innovaciones no puedan suprimirse por mucho tiempo:

“...la ciencia normal conduce a una información tan detallada y a una precisión tal en la coincidencia de la teoría y de la observación como no podrían lograrse de ninguna otra forma...(sin resultados previstos y mediciones precisas) los resultados que conducen eventualmente a la novedad no podrían obtenerse. La anomalía solo resalta contra el fondo proporcionado por el paradigma. Cuanto más preciso sea un paradigma y mayor sea su alcance, tanto más sensible será como indicador de la anomalía” [90, p.110].

Las anomalías importantes llevan a parte de una comunidad científica a cuestionar la operatividad del paradigma en la exploración de algún aspecto de la naturaleza. Al debilitarse la solución normal de enigmas, se entra en un período de crisis; período en que se plantea la realización de investigaciones extraordinarias que, eventualmente, después de un período que puede durar años, se reformulan y ajustan las categorías conceptuales, de modo que lo anormal se convierte en previsto. Generalmente ello significa una reconstrucción del campo a partir de fundamentos diferentes. En ese momento se ha creado un nuevo paradigma, i.e., una revolución científica, una manera diferente de ver la

²⁵ “...ninguna parte del objetivo de la ciencia normal está encaminada a provocar nuevos tipos de fenómenos; en realidad a los fenómenos que no encajarían dentro de los límites (establecidos) frecuentemente ni siquiera se les ve ” [90, p.53].

naturaleza. La aceptación generalizada de este dependerá, principalmente, de que resuelva los problemas que condujeron a la crisis y de su alcance potencial.

2.5.2. El paradigma de la ciencia del suelo [28,104, 108,125,137,139, 140,145].

Como ha planteado Usher [140] : "...la demostración de la relación de los minerales y el crecimiento de las plantas no fue el trabajo de un solo hombre; los elementos de la nueva doctrina fueron acumulados lentamente por cierto número de estudiosos"²⁶. Sin embargo, correspondió a Liebig, 1840, cristalizar el conocimiento conocido en la teoría de la nutrición mineral de las plantas. Específicamente planteó:

"...(a) que el nitrógeno necesario por las plantas era derivado del aire (en la forma de NH_3); (b) que las plantas utilizaban los elementos minerales en forma inorgánica; (c) que los elementos minerales requeridos por las plantas podían ser determinadas por el análisis de las cenizas de las plantas; (d) que el crecimiento de las plantas sería directamente proporcional a la oferta del mineral menos abundante disponible en el suelo" [140, p. 389].

Sus planteamientos representaron la superación de la teoría del humus, que argumentaba que las plantas obtienen su nutrición exclusivamente de la materia orgánica presente en el suelo. La aportación más relevante de su teoría es la de cualquier paradigma científico: plantear nuevos problemas y definir la orientación de nuevas investigaciones. A partir de aquí, se dedicaron esfuerzos a entender **cómo** obtenían las

²⁶ Tull, 1700, planteó que las plantas se alimentaban de finas partículas del suelo, de manera que las labores de cultivo debían tender a la formación de estas. Priestley, 1772, mostró que las plantas expuestas al sol desprendían oxígeno. Por esos mismos años Senebier mostró que el carbón de las plantas provenía del CO_2 del aire. El botánico de Sassure probó en 1804 - a partir del análisis de cenizas derivadas de las plantas, donde encontró los mismos elementos que en el suelo- la necesidad de siete elementos en la nutrición de las plantas, además del carbono, oxígeno e hidrógeno: N, P, S, K, Ca, Mg, Fe. Análisis más refinados a finales del siglo pasado y más recientemente, han confirmado estos resultados y agregado nuevos elementos [125, 137, 145].

plantas los elementos minerales y **cómo** podrían corregirse las deficiencias de minerales disponibles a las plantas.

J.T.Way, 1850, en Inglaterra, realizó el primer estudio importante de intercambio de cationes, planteando -citado por Thomas[139]- que "...los cationes comunes (Na, K, NH₄) agregados como sales de ácidos fuertes, son retenidos por el suelo....la arcilla y materia orgánica absorben cationes"²⁷. S. Jhonson, 1859, discípulo de Liebig, encontró que "...los nutrientes pueden volver a entrar en solución después de que son absorbidos por las partículas de arcilla y humus (el intercambio de cationes es reversible) y en esa forma son tomados por las plantas".

De todos estos planteamientos se desprende que varios de los nutrientes necesarios para el crecimiento normal de las plantas pueden suministrarse en la forma de sales inorgánicas: fertilizantes químicos y/o humus. Como, además, las plantas absorben tal nutriente en forma de iones, los fertilizantes deben tener una forma química que permita una fácil transformación en iones por los procesos que ocurren en el suelo²⁸.

Con propósitos de conocer los efectos de la fertilización en las plantas cultivadas, la primera estación agrícola experimental en el mundo, establecida en 1843 en Rothamsted, Inglaterra, inició experimentos sobre fertilización. J. B. Lawes patenta ese año, en Inglaterra, la producción de "superfosfato", tratando huesos con ácido sulfúrico,

²⁷ Los procesos físico-químicos básicos del suelo no pueden entenderse al margen del intercambio de cationes; esto tiene que ver con las formas químicas que adoptan los nutrientes de las plantas; con la lixiviación, conservación y fijación de nutrientes; con los procesos que dan origen a la acidez-alcalinidad del suelo y los problemas derivados de ellos. Por ello se ha planteado que: "la reacción de intercambio de cationes es la segunda por su importancia en la Naturaleza y solamente es superada por el proceso de fotosíntesis.." [86, p. 91].

²⁸ Actualmente se usa el análisis de nutrientes disponibles para las plantas en el suelo, junto a experimentos de fertilización, como base para la determinación de las necesidades de fertilización. Se parte del principio que "el rendimiento de los cultivos depende de las cantidades de nutrientes vegetales disponibles en el terreno", aunque los análisis por si solos no son base segura de una buena fertilización, debido a que en la producción influyen varios otros factores.

para hacer asimilable el fósforo por las plantas, y que vendría a ser el primer fertilizante de origen industrial²⁹.

J.B.Lawes y H.Gilbert plantearon que las plantas obtienen el nitrógeno esencialmente del suelo. Explicaron en 1891 que hay fijación del N por la actividad de la bacteria **Rhizobia** y por la lluvia. Desde entonces se ha aceptado que la fuente de N en las plantas provienen del suelo³⁰.

La llamada Ley del Mínimo de Liebig fue complementada por la Ley de la Interacción o de relaciones fisiológicas, planteada por Mitscherlich (1912), que señala: cuando se hacen variar dos o más factores, la producción puede variar en una magnitud mayor a la suma de los efectos de los factores cuando se usan de manera separada. Ese incremento adicional se debe al efecto interacción. La importancia de esta formulación es que se colige que la modificación de las condiciones de producción deben realizarse como un todo, porque sus elementos componentes tienen interacciones. Ambas leyes han sido la base de la experimentación actual sobre fertilización.

Los avances de la ciencia del suelo -en su fase de ciencia normal- han dependido fuertemente de los progresos en química, física, microbiología y fisiología de las plantas. La comprensión de la fertilidad del suelo y en **cómo** mantenerla ha ocurrido en los últimos 55 años. Se ha progresado en la cuantificación de los elementos necesarios para las plantas, en la diagnosis de la deficiencia de nutrientes y se han creado procedimientos más eficientes en el uso y aplicación de los nutrientes de los fertilizantes. Uno de los

²⁹ Todas estas observaciones llevan a la conclusión de que a mediados del siglo pasado se disponía de los conocimientos básicos para la producción de fertilizantes químicos, tal como hoy los conocemos. Sin embargo, habían de pasar varios años para que la investigación aplicada lograra la síntesis química de los fertilizantes en escala industrial y de manera económica.

A finales del siglo pasado se usaron como fertilizantes al guano, la pasta de semilla de algodón, la pasta de huesos y desechos de pescado [50].

³⁰ “Sin embargo, recientes investigaciones han mostrado la gran capacidad de las hojas para absorber gas amonio del aire y que la cantidad no es insignificante, aún cuando el aire no se considere contaminado” [145, p. 244].

resultados más significativos ha sido la producción, en diversas presentaciones, de fertilizantes sintéticos a precios relativamente baratos. Los altos rendimientos unitarios por área de los países desarrollados no pueden explicarse ni sostenerse, debido a la fuerte extracción de nutrientes esenciales mayores en cada ciclo de cultivo, sin las altas dosis de aplicación de fertilizantes, que alcanzan niveles de 4-6 veces el uso promedio de los países en desarrollo [108,145] .

El impulso al creciente y generalizado uso de fertilizantes se debe a dos factores: a) el N de fuentes inorgánicas llegó a ser más barato que el N de fuentes orgánicas; y b) la oferta insuficiente de nutrientes esenciales (N, P, K) en formas orgánicas, para sostener e incrementar rendimientos de manera económica.

El abaratamiento relativo de los fertilizantes (respecto al precio de los cultivos) se debe a varias innovaciones secundarias de la industria: economías de escala, uso más eficiente del calor en varias etapas del proceso y el uso de compresores de centrifugación, al uso de gas natural (en vez del agua) como fuente del H, y otras similares. Recientemente, sin embargo, no ha habido innovaciones fundamentales en los procesos y no parece que algunas estén a la vista. Por ejemplo, el proceso Harber-Bosch (1904-1911) para la síntesis del nitrógeno del aire en amoníaco anhidro, materia prima de todos los fertilizantes nitrogenados, se sigue usando en ausencia de otro proceso que use menos energía. De otra parte, no se ha logrado la fijación bacteriana del nitrógeno en plantas no-leguminosas; el uso del gas natural como fuente de H no puede prolongarse indefinidamente. En general, en materia de nutrición vegetal parece haber llegado a una fase de casi estancamiento. Como plantea un estudioso del tema: "...aventuro la predicción que los futuros avances en la comprensión de la fertilidad del suelo y de nuevas oportunidades para mejorar esta, ocurrirán más lentamente" [145, p.248] .

2.5.3 El paradigma de la herencia [60,98]

Hacia mediados del siglo pasado se conocía la reproducción sexual de las plantas y se habían obtenido numerosos híbridos, artificialmente, con objetivos prácticos y de

observación. El mismo Darwin analizó los efectos de la autopolinización y de la polinización cruzada en plantas. Pero ninguno de estos estudiosos intentó explicar el mecanismo mismo de la herencia. G. Mendel realizó esta tarea en 1865, aunque su influencia en el mundo académico solo ocurre hacia 1900, con el redescubrimiento de su trabajo.

En el trabajo de Mendel se conjugan una aguda intuición y un claro razonamiento; por la metodología empleada y por sus resultados (leyes de la herencia), constituye un paradigma clásico. El éxito se debe a una afortunada combinación de circunstancias: (a) material usado y ejemplos seleccionados; (b) supuestos considerados; (c) interpretación de resultados. Más específicamente debido a que:

(a) Usó una planta que posee estructuras florales que impiden el cruzamiento natural, pero una producción sexual normal. Realizó la emasculación y la polinización entre plantas de caracteres contrastantes³¹; (b) usó pares de caracteres de órganos de la planta que son fáciles de distinguir, i.e., caracteres cualitativos y contrastados, que claramente eran dominantes o recesivos³². Todo esto asegura obtener datos precisos; (c) intuitivamente supuso la presencia, en las células somáticas, de un “factor hereditario”, en dosis doble de factores³³. Enseguida consideró que los gametos eran portadores de un solo factor (dominante o recesivo), debido a que ocurría una reducción en el proceso de gametogénesis; además supuso que el número de gametos con factores diferentes, eran igualmente numerosos. Finalmente, la unión de gametos diferentes ocurriría al azar,

³¹ Esto supone que Mendel conocía suficientemente bien la botánica del chícharo. En sí mismo esto es una indicación al fitomejorador: necesita conocer las plantas con que trabaja.

³² Casualmente los siete caracteres que estudió ¡corresponden a los siete pares de cromosomas homólogos de la especie! y, por tanto, se transmiten de manera independiente.

³³ Decimos “intuitivamente”, porque en tiempos de Mendel no se conocían las diferencias entre la mitosis y la meiosis.. para Usher [141] el “acto de intuición” es el elemento clave de la gestación de una invención. Lo relevante de este caso es que se trata de una intuición confirmada por los hechos: en 1909 T.H. Morgan demostró que el “factor hereditario” de Mendel se localiza en los cromosomas.

formando combinaciones diferentes de factores, pero proporcionales al número original³⁴; (d) estudió varias generaciones filiales para conocer y probar la segregación de caracteres; (e) redujo los datos cuantitativos a relaciones básicas simples, usando el análisis estadístico (específicamente usó combinaciones, teoría de la probabilidad y frecuencias): una condición analítica necesaria para establecer generalizaciones; (f) conociendo el mecanismo de transmisión de un par de caracteres, inició el estudio de la herencia simultánea de dos y tres pares de caracteres.

Visto en perspectiva, el trabajo de Mendel se centra claramente en hechos seleccionados y sencillos. Pero su importancia radica en que funda la época de desarrollo “normal” de la genética, en que su teoría sugiere el tipo de experimentos a realizar y el alcance esperado.

La aplicación práctica de las leyes de la herencia no fue directa; se requería conocer otros procesos involucrados en la herencia de las plantas cultivadas. Se necesitó de la acumulación de nuevos conocimientos “normales”. Esta fase puede ilustrarse con el origen del maíz híbrido.

La producción del maíz híbrido, en los años veinte del presente siglo, tiene el mérito de ser la primera aplicación práctica de la teoría genética, de ser el “invento de un método nuevo de hacer innovaciones (agrícolas)”³⁵, y requirió de la aplicación conjunta

³⁴ Según Garay [60,p. 50], en ausencia de suficientes conocimientos en la biología de los mecanismos de la herencia -en época de Mendel- la teoría genética se apoyó en evidencias estadísticas: “el mendelismo se desarrolló como un aspecto de la teoría de la probabilidad, sin asumir en ningún caso el mecanismo biológico ni las bases materiales del mismo involucrados en los fenómenos observados experimentalmente”.

³⁵ “El maíz híbrido no fue una innovación de una sola vez y que pudiera adaptarse en todas partes. Fue más bien el invento de un método nuevo de generar innovaciones, un método para el desarrollo de variedades superiores de maíz para localidades específicas”[64].

“Se sostiene a menudo que el desarrollo y utilización del maíz híbrido representa uno de los más grandes avances en la agricultura del siglo veinte”[134].

de tres sucesivos descubrimientos: la teoría de la línea pura, la teoría del vigor híbrido (o heterosis) y la cruce doble como vía de intensificar la heterosis.

En la primer década del presente siglo, W. Johansen estableció que la descendencia de plantas autofecundadas producían individuos homocigóticos, genéticamente idénticos (líneas puras), donde la variabilidad en rendimientos debía atribuirse a factores ambientales.

La contribución de G.H.Shull, 1908-11, interesado en la herencia de caracteres cualitativos en maíz (como el número de líneas de grano por mazorca y otros) fue aplicar la teoría de la línea pura al maíz: primero, aislando líneas por autofecundación en varias generaciones y, después, haciendo cruza entre estas, con el propósito de analizar el comportamiento de tales caracteres. Pero, al mismo tiempo, encontró un resultado no esperado: algunas de las plantas en cruce simple eran más vigorosas y productivas que sus padres, además de uniformes. Estableció el método de producir híbridos, aunque todavía no era práctico³⁶.

Hacia 1918, buscando un método práctico de producir semilla híbrida, D.F. Jones propuso el cruzamiento doble. Lo significativo de esto es que incrementaba la productividad por área alrededor del 20% respecto de las variedades de polinización libre, al intensificar la heterosis; además, de que se incrementaba la producción de semilla híbrida -en comparación con la obtenida por Shull de las líneas autofecundadas- al usar

³⁶ En varios trabajos discutió Shull la novedad teórica y la importancia práctica de sus hallazgos. Planteó que la autofecundación separa el material en líneas bien definidas cada vez más uniformes, aunque con una depresión en el vigor debido a la homocigosis; que “una cruce entre plantas pertenecientes a dos familias lejanas produce una progenie de mayor vigor híbrido, tamaño y productividad que la poseída por familias que nunca han sido autofertilizadas”, etc.[75, cap. 2 y 3]

como padres a las cruza simples. Así se hacía costeable la producción de semilla híbrida a nivel comercial ³⁷.

Los esfuerzos dedicados al mejoramiento de las plantas cultivadas, estimulados por los incrementos en la productividad del maíz híbrido han encontrado una gama de hechos más complicados que los mendelianos: interacción de genes, ligamiento factorial, caracteres cuantitativos, aberraciones cromosómicas, etc. Nuevas investigaciones básicas sobre citología y herencia (como las realizadas por T.H. Morgan, entre otros), han encontrado que, finalmente, esa gama nueva de hechos tiene explicación en los principios mendelianos, con las “modalidades y suposiciones necesarias”³⁸.

La investigación agrícola aplicada ha hecho un uso intensivo de -y ha progresado en relación con- la estadística desde los años veinte: como instrumento de medición de eventos que ocurren de manera aleatoria y con interacciones, y en la predicción de resultados³⁹. Se ha aumentado la precisión en las mediciones de variables de experimentos: una característica propia del período “normal” de una ciencia.

2.5.4 El paradigma de la mecanización

Se define a la mecanización como la sustitución de la fuerza humana o animal por la fuerza mecánica en alguna (s) de las labores agrícolas. En la primera etapa de la

³⁷ Debido a que las línea autofecundadas disminuyen su vigor, producen poca semilla a partir de una cruza simple, además de que el incremento en el rendimiento por hectárea que producía la nueva semilla (de cruza simple) sobre las variedades de polinización libre no era todavía importante [75].

³⁸ “...la controversia entre “mendelianos” y “biometristas” (en retrospectiva innecesaria) en los principios de este siglo tuvo un importante resultado; la asimilación del pensamiento estadístico en las bases generales de la biología... creo que todo esto constituye una revolución intelectual no menos importante que el trabajo de Darwin” [131].

³⁹ “...la emergencia de la genética como ciencia central de la biología tuvo muchos elementos científicos, pero en retrospectiva puede arguirse que la experiencia práctica de los mejoradores y la intrusión del pensamiento estadístico fueron elementos cruciales” [131].

mecanización -con la introducción del arado de hierro y la sembradora de granos, desde mediados del siglo XVIII y su amplia difusión en Europa y Estados Unidos hasta mediados del siglo pasado- la sustitución de factores no fue significativa, aunque mejoró la eficiencia del trabajo.

En una segunda etapa de la mecanización -que se inicia hacia 1850 con la difusión del uso de la trilladora y de la cosechadora- desgranadora (1870) con uso de tracción animal,⁴⁰ debido a la presión de cosechar el trigo y cebada en un tiempo breve y a la relativa escasez de mano de obra en países hoy industrializados- se generaba cierto ahorro de mano de obra, aunque su difusión fue lenta en tanto no se dispuso de una fuerza de tracción independiente. La electricidad como fuente de movimiento no se adaptó a las necesidades agrícolas.

Durante 1860-1920 se fabricaron en EE. UU. y Gran Bretaña tractores con motor de vapor, que principalmente se usaron para arar grandes extensiones planas, pero que lograron limitada difusión debido a su tamaño, gran peso y escasa versatilidad.

En 1892 se construyó el primer tractor de gasolina⁴¹. Su escasa difusión hasta 1910 se debió, también, a su poca versatilidad y a diversos defectos de fabricación. Durante este período se usó de manera limitada como fuerza de tracción para arar y mover trilladoras. En la segunda década del presente siglo se diseñaron tractores más eficientes y de uso general, que no solo servían para arar, sino como fuerza de tracción

⁴⁰ La cosechadora-desgranadora de trigo, movida por tracción animal es el resultado de sucesivas y graduales innovaciones: primero, el uso de la desgranadora estacionaria (hacia 1800); después la introducción de la cortadora de tallos por 1830, con uso generalizado en 1860; enseguida el diseño de la cortadora-atadora hacia 1870. Finalmente, la introducción de la cortadora de espigas-desgranadora-separadora del grano (1870). Sin embargo el uso de la combinada no representó una ventaja neta respecto de la trilladora, debido a que no aumentaba significativamente el rendimiento por trabajador. En esta etapa la restricción era la falta de una fuerza de tracción autónoma y eficiente [112].

⁴¹ El motor de combustión interna constituye un movimiento primario. La versatilidad que ello permite ha llevado a plantear que "...la introducción del tractor puede considerarse como la más importante innovación mecánica de la agricultura" [73].

para sembrar, cultivar, nivelar y cosechar granos pequeños. Los efectos de la I Guerra Mundial impulsaron el uso del tractor en varios países⁴². Esta constituye la tercera etapa de la mecanización agrícola.

La motivación del productor para sustituir la fuerza de tracción animal por la fuerza de tracción del tractor está en que disminuye los costos medios de producción, además de aumentar la rapidez, precisión y uniformidad en las labores de cultivo⁴³. En una perspectiva internacional, el tractor se introduce de manera masiva en las décadas de los treinta y cuarentas, a medida que se construyen modelos más potentes, ligeros y versátiles, y que hace posible la mecanización de otras labores agrícolas: colectoras de algodón y maíz, betabel y pastos, etc. Desde entonces, nuevos implementos altamente especializados han logrado la mecanización de labores complejas, como la cosecha de tomate, uva, lechuga, etc.

2.5.5 El paradigma de la fisiología vegetal

A diferencia de lo señalado antes, la fisiología vegetal como rama de la biología no nace con un paradigma único, mas bien parece surgir con varios paradigmas, cada uno de ellos formulado en momentos distintos y con diferente grado de elaboración, y solo después de una dilatada infancia⁴⁴.

⁴² Por ejemplo, en EE.UU. se debió al incremento de la demanda de productos alimenticios ocasionado por los efectos de la Guerra y a las demostraciones prácticas sobre los usos del tractor en varios estados [63].

⁴³ La sustitución de caballos por el tractor fue afectada por los precios relativos del tractor y del combustible frente a los precios de los caballos y costo de su alimentación, y la productividad de unos y otros [73,p. 146].

⁴⁴ La complejidad de su objeto de estudio ha llevado a que prácticamente cada una de sus áreas disponga de un descubrimiento importante que pudiera catalogarse de paradigma: absorción y transporte de nutrientes (intercambio iónico, etc.); fotosíntesis (pigmentos que captan y transforman a forma química la luz, ciclo de Calvin, formación de ATP, etc.); respiración (ciclo de Krebs, glicólisis, etc.); crecimiento y desarrollo (acción de la fitohormonas, ritmos circadianos, etc.); fotoperíodo y termoperíodo (citocromo).

Se considera a Stephen Hales (1677-1761) el padre de la fisiología vegetal debido, entre otras cosas, a que (a) formuló el postulado de que la vida finalmente puede explicarse por principios físico-químicos; (b) mostró **cómo** una sólida base experimental sirve para arribar a nuevos conocimientos; y (c) explicó el transporte de la savia y la transpiración. Sin embargo, durante los cien años siguientes avanzó poco el estudio de las plantas.

Fue necesario esperar el importante desarrollo de la física y de la química durante el siglo pasado -base de la parte experimental de la fisiología- para que esta última pudiera planear y resolver nuevos problemas. La estrecha interdependencia de estas ciencias (incluyendo la bioquímica) se muestra, por ejemplo, en la acumulación de hechos para la formulación de la fotosíntesis.

A finales del siglo XVIII se sospechaba que la luz tenía alguna función en los procesos vitales de la planta. Hacia 1804 De Saussure mostró que en presencia de la luz las plantas absorbían CO_2 y desprendían O_2 ; sin embargo, nadie enfatizaba que la planta podía captar y almacenar energía solar. Solo después de los avances de la termodinámica, a mediados del siglo pasado, fue posible plantear que la planta capta y transforma la energía solar. En 1864, Sachs precisa que este proceso ocurre en los cloroplastos. A finales del siglo pasado se conoce que la fotosíntesis se inicia con la absorción de la luz, seguida por la formación de una serie de compuestos orgánicos. Sin embargo, los aspectos mas significativos y precisos de la fotosíntesis (y de otras funciones de las plantas) se han formulado recientemente debido, entre otras cosas, a que ha mejorado el instrumental experimental: por ejemplo, el uso de isótopos ha permitido precisar la ruta que sigue la formación de varios compuestos.

La investigación fundamental de las funciones de las plantas ha servido de apoyo para racionalizar varias prácticas de cultivo, aunque su contribución al incremento de los rendimientos no es grande hasta ahora. Al parecer, esa contribución podrá elevarse al buscar, seleccionar y mejorar plantas cultivadas bajo condiciones limitantes.

III. GENERACION DE TECNOLOGIA EN LA PRODUCCION DE TRIGO EN MEXICO

3.1 Antecedentes

Formalmente, los esfuerzos oficiales por mejorar la tecnología agrícola en México se iniciaron en 1909, con el decreto de la formación de un sistema de estaciones agrícolas experimentales distribuidas en el país. La estación central realizaría la investigación básica sobre suelos, fisiología, plagas, mejoramiento “de las plantas más generalmente cultivadas por los medios de selección e hibridación” y prácticas de cultivo para aumentar los rendimientos por área [48]. Es difícil aceptar que haya habido resultados concretos de estos propósitos, debido a la irrupción del período revolucionario y a los avances, a nivel mundial, de las aplicaciones de la genética en el mejoramiento: la teoría de la línea pura se completó en los años veinte y el sistema de cruza dobles para la obtención del maíz híbrido se formuló en 1918.

Durante 1929-1933, la Dirección General de Agricultura inició una selección de variedades extranjeras, recomendando algunas por su resistencia a algunas razas de roya y precocidad como: Early Baart y Hard Federation (de California, EE.UU.), para el Valle de Mexicali; Marquis (de Canadá), difundida en El Bajío; Burbank (de EE.UU.) para el estado de México. Los agricultores, a su vez, introdujeron diversos materiales: Reward (de Canadá), Ramona (de California) y Mentana (de Italia) [68].

En 1934 se funda la Oficina de Campos Experimentales (OCE), dependiente de la Secretaría de Agricultura y Fomento, que realizó cruza y selecciones con germoplasma introducido de trigo, buscando resistencia a las royas, precocidad y calidad harinera. La altura de la planta no era problema, puesto que no se fertilizaba [76].

Los resultados prácticos de la investigación agrícola realizada por la OCE en los años treinta avanzó lentamente, debido, cuando menos, a los factores siguientes: a) la

escasez de personal científico; b) recién se iniciaban en el país los trabajos de mejoramiento; c) la falta de continuidad en los programas por cultivos; d) la dispersión de esfuerzos de mejoramiento en condiciones de escasez de recursos humanos y financieros en cultivos básicos, no-básicos y de exportación; y, en el caso del trigo: e) una limitada muestra de germoplasma como base para iniciar los programas de mejoramiento; y f) “...no se hacía ningún tipo de investigación agronómica sobre fertilidad del suelo ni se llevaban a cabo estudios para controlar pérdidas por enfermedades, insectos y malas hierbas”[21] . Además, debido a que la mayoría de los científicos de la OCE -como plantea Hewitt[78]- estaban relacionados con la filosofía del desarrollo rural que representaba el gobierno de Cárdenas: consideraban que la productividad agrícola estaba asociada a los grandes cambios estructurales del agro mexicano; les interesaba poco importar tecnología extranjera altamente productiva y trabajaban para generar una tecnología agrícola propia.

La tecnología en la producción de trigo a fines de los años treinta en México era la secularmente usada. Se caracterizaba, según González y González[68,69], por sembrar trigos de hábitos de primavera, aunque la siembra ocurre en otoño, bajo condiciones de riego⁴³. Los trigos criollos que se sembraban eran mezclas de tipos diferentes, con variaciones en caracteres importantes (véase Cuadro 1); todos eran susceptibles a las royas⁴⁴, aunque no había plagas importantes (véase Cuadro 2) Las heladas tardías afectaban la producción en los Valle Altos, donde el ciclo se prolongaba a siete meses. No se practicaba la aplicación de fertilizantes ni de abonos verdes. Mas generalmente, las labores de cultivo se realizaban con uso de tracción animal, y la cosecha con hoz y trilladora fija. En el Noroeste y La Laguna se había extendido, durante los años treinta,

⁴³ “La estación típicamente triguera en la República Mexicana (en los años treinta y ahora) principia en el otoño, con siembras en octubre y diciembre, y termina en la primavera o a principios del verano, cosechándose entre abril y junio. En los valles altos de siembras de temporal se hacían en julio-octubre” [30, p. 81.]

⁴⁴ “El chauixtle es la adversidad de mayor extensión en el conjunto de todas las regiones trigueras de la República...” [30,p. 25]

Cuadro 1 Características principales de algunos trigos de México

Variedad	Núm. FR*	Clase	Origen	Madurez
Candeal	252	Rojo suave	Desconocido	Muy tardíos
Barrigón	256	Poulard	Desconocido	Precoz
Pelón colorado	308	Rojo suave	Desconocido	Muy tardío
Marroquí	366	Blanco duro	Marruecos	Intermedio
Mentana	375	Blanco suave	Italia	Precoz
Aguilera	380	Blanco duro	California	Tardío
Querétaro	384	Rojo suave	Desconocido	-----

* = Número de registro de la colección de la Fundación Rockefeller

Cuadro 2. Reacción a las royas de los trigos mexicanos

Variedad	Desgrane	Acame	P.gr.	P.tr.	P.gl.
Candeal	AR	R	S	S	S
Barrigón	R	MR	R	MS	MR
Pelón colorado	AR	S	S	S	MS
Marroquí	MS	AR	S	S	R
Mentana	MS	S	S	MR	R
Aguilera	AR	MS	S	S	R
Querétaro	R	MS	S	S	S

AR = altamente resistente

R = resistente

MR = medianamente resistente

MS = medianamente susceptible

S = susceptible

AS = altamente susceptible

P.gr. = *Puccinia graminis tritici*

P.tr. = *Puccinia triticina*

P.gl. = *Puccinia glumarum*

Fuente : Martín[96, p.12].

el uso de tracción mecánica y de la segadora-trilladora. La mayor fertilidad natural de estas regiones, el ambiente seco y las altas temperaturas acortaban el ciclo de cultivo a cinco meses y reducían la incidencia de las royas, obteniendo rendimientos de 1500 kg/ha, en tanto que el promedio nacional era de 700 kg/ha.

3.2 El programa de cooperación agrícola Fundación Rockefeller-México

La política oficial a partir de 1941 planteaba como prioridad promover una rápida industrialización del país, sustituyendo importaciones. En este orden de ideas, la agricultura debería cumplir con las llamadas funciones de la agricultura y contribuir a la “grandeza industrial”. Se requería un mayor crecimiento del producto agrícola -y del excedente comercializable- que el producido en el período cardenista.

En este contexto es que el gobierno mexicano solicitó a la Fundación Rockefeller ayuda técnica para rápidamente mejorar la productividad agrícola de los cultivos básicos. La Fundación realizó un diagnóstico de la agricultura mexicana con el apoyo de científicos experimentados, lo que permitió definir posibilidades de solución de largo plazo y prioridades, formas de organización y orientación de la investigación agrícola por realizar. Ese análisis (1942) concluía:

“...los problemas más agudos e inmediatos en orden aproximado de importancia, parecen ser el mejoramiento del manejo de los suelos y de las prácticas de labranza; la introducción, selección o hibridación de variedades de semillas mejor adaptadas, de más alto rendimiento y de calidad superior; el control más efectivo de las enfermedades y las plagas de insectos en las plantas, y la introducción o creación de mejores razas de animales domésticos y aves de corral, así como de mejores métodos de alimentación y control de enfermedades”[135, p.33].

El acuerdo de cooperación entre el gobierno mexicano y la Fundación especificaba concentrar esfuerzos en el mejoramiento del maíz, trigo y frijol. Paulatinamente, el programa se amplió a otros cultivos.

El enfoque general del programa de investigación agrícola durante la presencia de la Fundación, a través de la Oficina de Estudios Especiales (1943-1960), se caracterizó por implementar un patrón de investigación agrícola que seguía de cerca al practicado en EE.UU.; marcó toda una estrategia y modo de hacer las cosas que aún perdura hoy. Generalizando, podría caracterizarse por [119,120] :

(a) “La investigación tuvo por objetivo obtener información que pudiese romper los cuellos de botella de la producción. Desde un principio la manipulación de todos los factores que afectan la producción se reconoció como absolutamente necesaria. El mejoramiento de las variedades se tomó como sólo uno de los aspectos que necesitaban cambiarse. De allí un enfoque de investigación interdisciplinario” [21, p.4] . Esto se aplica a la tecnología biológica, agronómica y química. Nunca se incluyó la generación y/o adaptación de tecnología mecánica; (b) se definieron programas de investigación y producción para cada uno de los cultivos principales con una coordinación nacional; (c) se dedicaron esfuerzos a la solución de problemas que limitaban la producción; los objetivos puramente académicos se dejaron a lado; (d) la mayoría de la investigación agrícola, era aplicación del “estado de las artes” en agronomía, donde los resultados, tiempo y costo son predecibles con mucha aproximación; (e) se reunió germoplasma nacional y mundial de cada cultivo y se seleccionó el de utilidad para el país. Se definieron programas de mejoramiento para producir variedades con características específicas para las diferentes áreas productoras; (f) los agrónomos mexicanos recibían entrenamiento en el proceso de investigación, haciendo las cosas en la práctica, como asociados en los diferentes programas de investigación; (g) las actividades de investigación se iniciaron en dos o tres estaciones experimentales. A medida que se entrenaban en los métodos de investigación agrónomos mexicanos, se extendió a nuevas localidades y cultivos; (h) había seguridad en la continuidad de apoyo financiero. La Fundación planeaba retirarse hacia 1955; (i) continuidad del personal científico: “...poco puede hacerse sin una larga continuidad del personal en el programa. Los técnicos que permanecen solamente dos años dejan poco o ningún impacto” [21,p.4]; (j) para incidir lo

más posible en la producción, se pusieron, lo más rápido posible al alcance de los agricultores las nuevas variedades y prácticas de cultivo, cada vez mejoradas. Solo cuando hubo resultados prácticos de la investigación, se creó un programa de extensión; (k) se planteó que en tanto se disponía de variedades mejoradas y nuevas prácticas de cultivo, el gobierno mexicano establecería precios de garantía que permitieran a los agricultores obtener una ganancia. El crédito agrícola llegó a estar disponible donde se disponía de tecnologías mejoradas; (l) la industria productora de agroinsumos, establecida en el país y/o por importación, proporcionaría los insumos que aseguraran mejores rendimientos. Durante las décadas de los cuarentas a sesentas no hubo restricciones a la importación de maquinaria y otros agroinsumos; y (m) la OEE fue un organismo semiautónomo, con amplia libertad de acción [119,120].

3.3 El programa de trigo durante 1943-1960

El programa de investigación sobre trigo desde un principio planteó manipular todos los factores que afectan la producción, a fin de elevar los rendimientos por unidad de área en el mediano y largo plazos, i.e., (a) desarrollo de variedades resistentes a las royas, con mejor potencial genético de producción⁴⁵, y que respondiesen a prácticas de cultivo mejoradas; (b) prácticas de rotación de cultivos, uso de abonos verdes y/o fertilizantes químicos, y mejor preparación del terreno; (c) precisión de los óptimos de densidad, fechas y métodos de siembra; (d) control de enfermedades y plagas; (e) control de malezas.

⁴⁵ Se entiende por potencial de producción "... el rendimiento de un cultivar que se desarrolla en medioambientes a que está adaptado, cuando ni el agua ni los nutrientes son factores limitantes, y cuando las plagas, enfermedades, malezas y acame, así como otros factores de estrés se controlan efectivamente" [51].

3.3.1 Mejoramiento genético

Una revisión de los problemas de las zonas trigueras, a mediados de los años cuarentas, llevó a definir las prioridades y criterios de selección del programa de mejoramiento: (a) alto rendimiento; (b) resistencia a las royas del tallo y de las hojas; (c) precocidad en el ciclo de desarrollo para salvar al trigo de heladas y lluvias, y facilitar la rotación de cultivos; (d) adaptabilidad a las siembras de verano; (e) resistencia de las glumas y ráquis al desgrane, necesaria donde y cuando se cosecha con combinada; (f) resistencia al acame, necesaria donde los suelos son fértiles y/o se usan fertilizantes; (g) resistencia a insectos [13,17].

Los métodos usados para formar las nuevas variedades fueron los clásicos: (a) recolección y selección de un gran número de variedades criollas del país; (b) introducción y selección de variedades y material de generaciones segregantes de otros países; y (c) diversas cruzas de los materiales anteriores según características deseables.

De la selección de materiales criollos no se derivó ninguna variedad comercial, debido a que se caracterizaron por buen rendimiento y tipo agronómico (resistencia al acame y desgrane) pero susceptibilidad a las royas del tallo y de la hoja (véanse Cuadros 1 y 2).

De la prueba del material introducido se seleccionaron líneas resistentes a las razas de roya del tallo prevalentes y relativamente productivas, que se distribuyeron como variedades comerciales en 1946 en diferentes zonas trigueras: Supremo, Frontera, Kenya Rojo y Kenya Blanco⁴⁶. La mayoría del material introducido, dado que pertenecía a regiones de grandes latitudes y días largos, resultaron con poca adaptación al país, con

⁴⁶ La variedad Supremo tenía buen rendimiento con resistencia a las tres royas "... se calcula que durante la temporada de cultivo 1949/50 se sembraron 70,000 ha con esta variedad" [16]

bajo rendimiento y tardías, aunque con resistencia a royas. Se usaron como fuentes de resistencia a estas en el programa de cruzas (véanse Cuadros 3 y 4) [78, p.39]⁴⁷.

En este orden de resultados, las nuevas variedades que vendrían a satisfacer las diferentes necesidades de las zonas trigueras solo pudieron obtenerse a partir de diversas cruzas entre las mejores variedades criollas e introducidas (véase Cuadro 5 y Diagrama 1). Según Borlaug [17], el programa de cruzas se concibió sobre bases amplias con el propósito de disponer de una gama de material segregante que con mayor probabilidad pudiera hacer frente a problemas impredecibles (Cuadro 6).

Cuadro 6. Algunas fuentes de características usadas hasta 1955 en el programa de trigo.

Precocidad	Glumas fuertes	Raquis y tallos fuertes	Rendimiento
Ramona 44	Perú	Renowon	Supremo
Baart	María Escobar	Kenya	Yaqui 48
Sunset	General Urquiza	Candeal	Lerma 50
	Candeal	Marroquí	
	Pelón Colorado		
	Aguilera		

Fuente: Borlaug[17].

Una característica nueva del programa, que sin proponérselo entonces vendría a dar a las variedades mexicanas una ventaja “no reconocida en un principio”: amplia adaptación a una diversidad de latitudes (fotoperíodo), longitudes y altitudes, fue la siembra del material segregante bajo condiciones ambientales contrastantes: Cd. Obregón (28° de latitud Norte y al nivel del mar, con altas temperaturas y ambiente seco) y Toluca (18° de latitud Norte y 2600 msnm, con bajas temperaturas y fuerte lluvia), y que

⁴⁷ Los diferentes trigos introducidos tenían características sobresalientes, producto de trabajos de mejoramiento en su país de origen y una larga historia de sembrarse [45]; así que mucho de los rápidos avances del programa de trigo de la OEE se debió a una amplia y adecuada colección de germoplasma. Los antecesores de las VAR mexicanas son por si mismas variedades destacadas: Mentana, Kentana, Gabo, Marroquí.

Cuadro 3. Características de los trigos introducidos

Variedad	No. FR	Canadá	Tardío
Renown	302	Canadá	Tardío
Regent	303	Canadá	Precoz
Reward	387	Canadá	Tardío
Redman 1	710	Canadá	Tardío
Reseve	711	Canadá	Tardío
Marquis	441	Canadá	Tardío
Thatcher 1	392	Minnesota	Tardío
Newthatch 1	442	Minnesota	Tardío
Marquillo	360	Minnesota	Tardío
Rival	361	North Dakota	Tardío
Pilot	362	North Dakota	Tardío
Mida 1	363	North Dakota	Tardío
Cadet	445	North Dakota	Tardío
Beart 38	379	California	Precoz
Beart 46	1411	California	Precoz
Ramona 44 1	523	California	Muy precoz
White Fed. 38	521	California	Muy precoz
Austin	247	Texas	Intermedio
Charter	703	Australia	Precoz
Gabo 1	704	Australia	Precoz
Warigo	705	Australia	Tardío
Kendee	706	Australia	Intermedio
Celebration	707	Australia	Tardío
Eureka	708	Australia	Intermedio
Yalta	709	Australia	Intermedio
Timstein 1	457	Australia	Precoz
Frontana 1	1287	Brasil	Intermedio
Froncosa	1388	Brasil	Intermedio
Fronteire	1390	Brasil	Intermedio
Supremo 1	211	México	Intermedio
Perú 1	141	Perú	Intermedio
Mentana 1	375	Italia	Precoz
Hope x Timstein 1	350	Minnesota	Intermedio
Timstein x Newthatch 1	1239	Minnesota	Intermedio
Kenya Governor	CI 12100	Kenya	
Kenya 58	CI 12471	Kenya	
Kenya (C 9906 (324)* 1	CI 12882	Kenya	
Kenya 117A	CI 12568	Kenya	
Kenya K22 D.I.T.L.	RF 1273	Kenya	
Kenya NB 263 J(L)	PI 117526	Kenya	
Kenya B 286	PI 124738	Kenya	
Kenya 291 J.I.I.1.	PI 177172	Kenya	
Kenya 318 A.J.4.A.	ICI 12881	Kenya	
Kenya 321 B.T.1.B.1. 1	PI 177179	Kenya	
Kenya 338 A. 1A. 2.	PI 177180	Kenya	
Kenya 338 AC.2.E.2. 1	PI 187165-C	Kenya	
Kenya 341.0.2.B.1.	PI 177183	Kenya	
Kenya 350AD.9.C.2.	PI 177185	Kenya	

1= Trigos que más han intervenido en el programa de cruces y considerados como buenos progenitores en el proceso de cruzamiento. FUENTE: Martín [96, p. 14].

Cuadro 4. Reacción a las royas de los trigos introducidos

Variedad	Desgrane	Acame	P.gr.	P. tr.	P. gl
Renown	MR	R	R	S	R
Regent	MR	R	R	S	R
Reward	MR	R		S	R
Redman	MR	R	MR	S	R
Reseve	MR	R		S	R
Marquis	MR	R		S	R
Thatcher 2	MR	R	R	S	R
Newthatch 2	MR	R	R	S	R
Marquillo	MR	R		S	R
Rival	AS	S	R	S	R
Pilot	S	MR	R	S	R
Mida	S	R	R	MS	R
Cadet	MS	MR	R	S	R
Beart 38	MR	R	AS	S	AS
Beart 46	MR	R	AS	S	AS
Ramona 44	MR	R	AS	S	AS
White Fed. 38	MR	R	AS	S	S
Austin	AS	R	R	MR	R
Charter	R	R	R	S	R
Gabo 2	MR	R	MR	MR	MS
Warigo	MR	R	MR	MS	MR
Kendee	R	MS	MS	MS	S
Celebration	R	MS	MR	MS	MR
Eureka	MR	MR	R	MS	MS
Yalta	MR	R	MS	S	MR
Timstein 2	MR	R	MR	MR	MR
Frontana 2	MR	MS	R	R	MS
Froncosa	MR	MR	MR	R	MR
Fronteira	S	S	MR	MR	MS
Supremo 2	S	R	R	R	R
Perú	AR	R	S	MR	MS
Mentana 2	MS	MS	S	MR	R
Hope x Timstein	MS	R	R	R	MR
Timstein x Hope	R	R	R	R	MS
Kenya Governor 1			R		
Kenya 58 1			R		
Kenya (C 9906 (324)* 2			R		
Kenya 117A 1			R		
Kenya K22 D.I.T.L. 1			R		
Kenya NB 263 J(L) 1			R		
Kenya B 286 1			R		
Kenya 291 J.I.I.1. 1			R		
Kenya 318 A.J.4.A. 1			R		
Kenya 321 B.T.1.B.1. 2			R		
Kenya 338 A. 1A. 2. 1			R		
Kenya 338 AC.2.E.2. 1			R		
Kenya 341.0.2.B.1. 1			R		
Kenya 350AD.9.C.2. 1			R		

1= Trigos de Kenya que se han probado en los diferentes viveros internacionales y que han resultado resistentes a la roya del tallo

2= Trigos que se han usado más intensamente como progenitores hasta 1955.

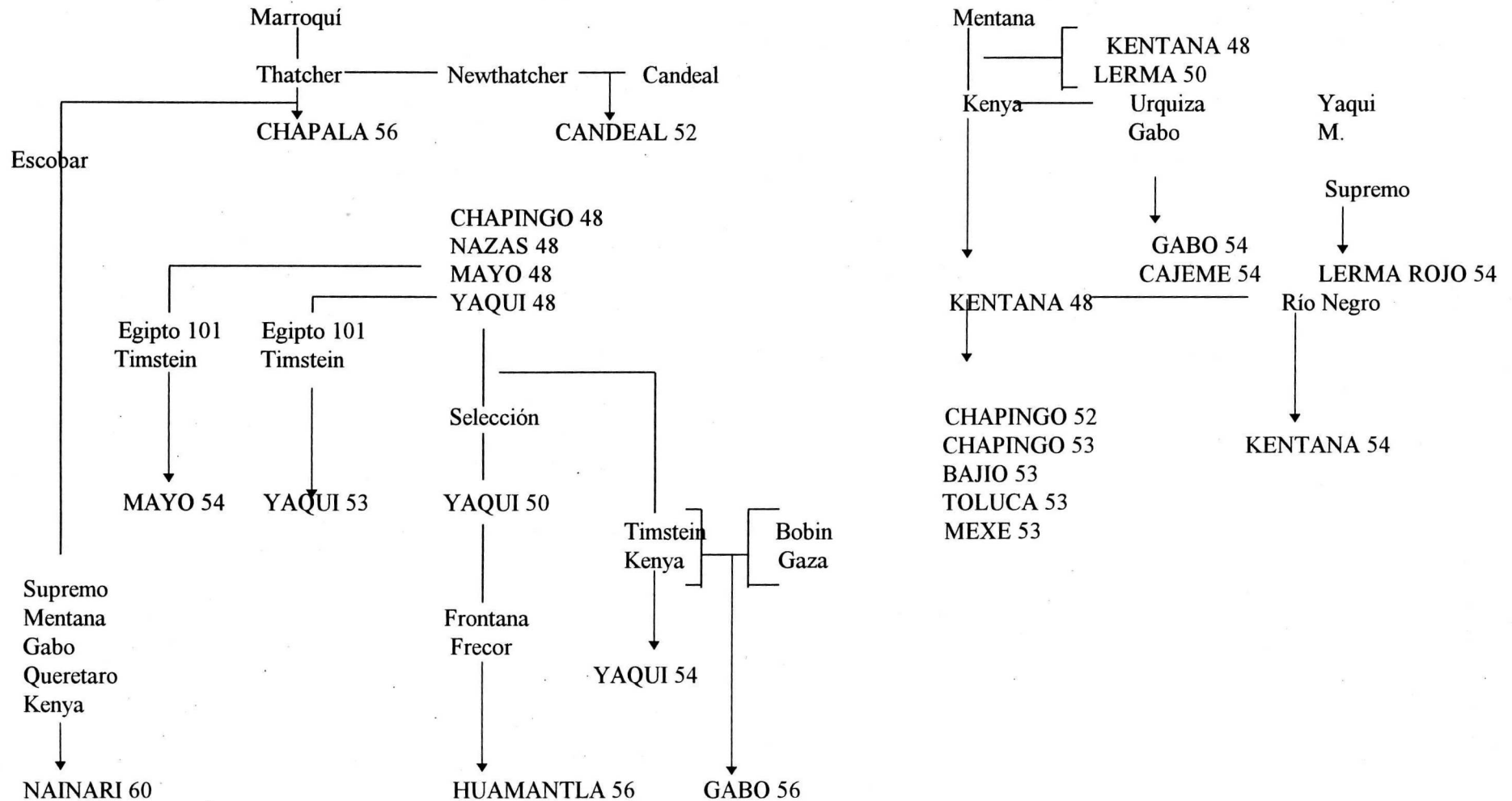
FUENTE: Martín [96, p. 15].

Cuadro 5. Progenitores de las principales variedades comerciales de trigo
más ampliamente sembradas en México: 1948-1960.

Variedad	Cruza	Año de liberación
a) Trigos harineros de altura normal		
Supremo 48	Surpresa/ /Hope/Mediterranean	1948
Chapingo 48	Newthatcher/Marroquí 588	1948
Nazas 48	Newthatcher/Marroquí 588	1948
Mayo 48	Newthatcher/Marroquí 588	1948
Kentana 48	Kenya 324/Mentana	1948
Yaqui 48	Newthatcher/Marroquí 588	1948
Yaqui 50	Yaqui 48" S"	1950
Lerma 50	Mentana*3/Kenya C9906	1950
Candéal 52	Newthatch/Candéal	1952
Chapingo 52	Yaqui 48/Kentana 48	1952
Chapingo 53	Yaqui 48/Kentana 48	1953
Bajío 53	Yaqui 48/Kentana 48	1953
Toluca 53	Yaqui 48/Kentana 48	1953
Mexe 53	Yaqui 48/Kentana 48	1953
Yaqui 53	Yaqui 48/ /Egipto 101/Timstein	1953
Yaqui 54 ^a	Yaqui 48/ /Timstein/ Kenya	1954
Mayo 54	Egipto 101/ /Timstein/Mayo 48	1954
Kentana 54	Kentana 48/Río negro	1954
Lerma Rojo 54	Lerma 50/3/Yaqui 48/ /M. Escobar*2/Supremo 211	1954
Gabo 54	Gabo/ /Kenya C9906/Urquiza	1954
Cajeme 54	Gabo/ /Kenya C9906/Urquiza	1954
Gabo 56	Timstein/Kenya 58/ /Bobin*2/Gaza	1956
Chapala 56	Marroquí 588/Thatcher	1956
Huamantla 56	Frecor/ /Frontana/Kentana 52 ^a	1956
Huamantla Rojo 60	Lee/Frontana/ /Kentana 52A	1960
Náinari 60	Supremo/ /Mentana/Gabo/3/Thatcher/Querétaro/ /Kenya/ Mentana 14/Gabo	1960

Diagrama 1 . Origen de las principales variedades comerciales mexicanas de trigo harinero: 1940-1959

a) Variedades de altura normal liberadas durante los años cuarentas y cincuentas.



Nota: las variedades escritas con minúscula se usaron como fuentes de caracteres deseables. Los nombres con mayúsculas son variedades comerciales liberadas en México. Fuente: Cuadro 5

entonces solo tenía el propósito declarado de ahorrar tiempo en la formación de las nuevas variedades.

3.3.1.1 Resistencia a las royas

Stakman[135, p.36] demostró desde los años treinta que las esporas de la roya pueden diseminarse por el viento a grandes distancias, aún desde áreas infestadas relativamente pequeñas. Ello le llevó a plantear que “por su naturaleza, el problema de la roya del tallo en el norte de América es de interés internacional, pues puede haber intercambio de propágulos entre México, EE.UU. y Canadá, y posiblemente América Central. Por lo tanto el combate a la roya es también de importancia internacional”.

Las evidencias disponibles, al menos hasta 1950, indicaban que el predominio de royas del tallo en el norte de México, tenían una estrecha relación con las royas existentes en EE.UU., y al contrario. Así que los programas de trigo de ambos países buscaban crear resistencia a las royas predominantes en los dos países.

El programa de trigo planteó generar resistencia genética a las royas del tallo existentes en el país por ser la forma más eficiente y económica de combate (véase Cuadro 7), y porque de otro modo representaba un alto riesgo para el productor, invertir en la aplicación de nuevas prácticas y en agroinsumos.

Para lograr ese propósito: (a) se ampliaron las fuentes de resistencia genética (ver cuadro 4)⁴⁸; (b) el programa de cruas se realizó sobre bases amplias y con la modalidad de dos siembras al año; (c) se usaron técnicas de inoculación y selección bajo condiciones de invernadero y en diferentes condiciones ambientales de campo, a fin de tener certeza en la selección del mejor material resistente: “...puesto que la más importante enfermedad

⁴⁸ Según Campos [30, p.40], durante los años cuarentas y cincuentas en EE.UU. y Canadá se usó la resistencia proveniente de Thatcher y Hope, pero el programa de trigo en México usó varias fuentes, obteniendo resistencia a **todas las razas de roya del tallo** prevalentes en México hasta 1960.

del trigo en México es la roya del tallo, se le ha prestado mayor atención dentro del programa de mejoramiento triguero. La resistencia a la roya lineal ha sido de importancia secundaria en este programa, en tanto que el cultivo con miras a resistencia a la roya de la hoja solo se ha hecho en los dos últimos años” [119: 1958-1959]. Este desarrollo llevó a disponer de material segregante resistente a las royas predominantes y otras potencialmente perjudiciales.

Cuadro 7. Principales razas de roya del tallo prevalecientes en México.

Periodo	17*	19*	38*	56*	11	59	15B	49**	139**	29	48	48A	24	87	32
1945-50	+	+	+	+		+	-	-	-	-	-	-	-		
1951	+	+	+	+		+	+	-	-	-	-	-	-		
1952	+	+	+	+		+	+	+	+	-	-	-	-		
1953-54	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	-	-		
1957-58	-	-	+	+	+		+	+		+	+	+	+	+	
1959			-	-											+
1960-61			+				+			+				+	+
1967			+		+		+							+	+

* Razas que prevalecieron en EE.UU. cuando menos hasta 1949.

** Razas que prevalecieron en EE.UU. hasta 1943.

Las razas 9, 32, 37, 38 se encontraron en México en forma aislada, sin causar daño en escala comercial.

+ Indica las razas que prevalecieron; - que no prevalecieron.

Fuente : [116, p.44; 119:1960-1961, p.36; 96; 82, p.241; 83, p.869] .

La primera generación de variedades resistentes a la roya del tallo obtenidos por cruza ocurre en 1948: Chapingo 48 (MC), Kentana 48 (MC-VA), Mayo 48 (N)), Nazas 48 (L) y Yaqui 48 (N) , con un rendimiento mayor entre el 10 y el 15% que una de las mejores variedades criollas [96] (ver Cuadros 8 y 9)⁴⁹.

La segunda generación de variedades obtenidas por hibridación se liberan durante 1950-1953, algunas tan productivas como Yaqui 50 (N) y Lerma 50 (B). Todas las

⁴⁹ Las siglas corresponden a la zona triguera de adaptación: El Bajío, La Laguna, Mesa Central y Valles Altos.

Cuadro 8. Reacción a doce razas de roya del tallo de algunas variedades liberadas hasta 1952.

Variedad	158	17	29	38	48	49	56	125	139	19	36	59
Trigos duros	P A	P A	P A	P A	P A	P A	56	125	139	19	36	59
Yaqui 48	S S	S R	S R	R R	R R	S R	S R	S R	S R	R R	R R	R R
Aguilera	S S	S S	S S	R -	S S	S S	S S	S S	S S	S S	S S	S S
Chapingo 48	S S	R R	- R	R R	R R	R R	R R	R R	R R	R R	R R	- R
Gabo	S S	R R	R R	R R	R R	R R	R R	R R	R R	R R	R R	R S
Marroquí 588	S S	S S	S S	S S	S S	S S	S S	S S	S S	S S	S S	S -
Mayo 48	S S	R R	R R	R R	R R	R R	R R	R R	R R	R R	R R	- -
Nazas 48	S S	R R	R R	R R	R R	R R	R R	R R	R R	R R	R R	- -
Selección # 5	S MS	R R	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
Yaqui 50	S MS	S R	S R	R R	R R	R R	R R	R R	R R	R R	R R	R R

Variedad												
Trigos blandos												
Candéal	S S	S S	S MS	S S	S S	S S	S S	S S	S S	S S	S S	S S
Candéal 52	S S	R R	R R	R R	R R	R R	R R	R R	R R	R R	R R	R R
Colorado del Bajío	S S	S S	S S	S S	S S	S S	S S	S S	S S	S S	S S	S S
Kentana 48	R R	R R	S S	R R	R R	S S	R R	R -	S S	R R	R R	R R
Kenya Rojo	R R	R R	S S	R R	R R	S S	R R	S -	S S	R R	R R	R R
Lerma	R R	R R	S S	R R	R R	S S	R R	R -	S S	R R	R R	S R
Mentana	R S	S S	S S	S S	R -	R S	R S	R -	R MR	S S	S S	S S
Pelón colorado	S S	S S	S S	S S	S S	S S	S S	S S	S S	S S	S S	S S
Supremo 211	S S	S R	R R	R R	R R	R R	R R	R -	R R	R R	R R	R R
Supremo 51	R R	R R	S MS	R R	R -	S S	R R	S S	S S	R R	R R	R R
Trigos duros												
Barrigón del Bajío	S S	R R	S -	R R	- -	R -	R R	- -	R R	R R	R R	R R
Barrigón Yaqui	S MS	R R	S -	R R	- -	R -	R R	- -	R R	R R	R R	R R

P = estado de plántula cuya reacción se probó en invernadero; A = estado de adulto inoculado bajo condiciones de campo.

El guión significa que la lectura era indecisa o que no hubo suficiente semilla de la variedad para orobar con las diferentes razas.

Fuente :[96, p. 18].

Cuadro 9. Reacción a quince razas de roya del tallo de las variedades liberadas durante 1953-1954 (en estado de plántula y adulto).

Nombre de la variedad	158		17		19		29		36		38		48		49		56		59		125		139		15B*		11**		24**		
	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	
Bajío 53	R	R	R	R	R	R	S	MR	R	R	R	--	R	R	R	R	R	R	R	R	R	--	R	R	R	R					
Cajeme 54	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	
Cajeme 54A	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R				
Chapingo 52	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	--	R	R	R	R	R	R	R	R	--	R	R	R	R	R	R	R	R	
Chapingo 53	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	--	R	R	R	R	R	R	R	R	--	R	R	R	R	R	R	R	R	
Gabo 54	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	
Kentana 54	R	R	R	R	R	R	MR	MS	R	R	R	--	MR	-	R	R	R	R	R	R	R	--	R	R	R	R	R	R	R	S	S
Kentana x Ciano	R	R	R	R	R	R	R	R	-	-	MR	-	R	--	R	R	S	--	-	-	R	--	R	--							
Lerma Rojo 54	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	
Mayo 52A	R	R	R	R	R	R	S	S	S	--	S	S	R	--	R	S	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	S				
Mayo 54	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	
Mayo 53	R	R	S	-	MR	-	R	MR	R	R	R	R	--	R	R	R	R	R	R	R	R	--	R	R							
Palmito 54	R	R	R	R	R	R	S	S	R	R	R	R	R	S	S	R	R	R	R	R	R	--	S	S							
Sinaloa 54	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	
Timstein x Kenya	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R						
T x K (blanco)	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R						
Egipto x Timstein	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R						
Toluca 53	R	R	R	R	R	R	S	MR	R	R	R	R	-	R	R	R	R	R	R	R	R	-	R	R	R	R	R				
Yaqui 53	R	R	R	R	R	R	R	MR	R	R	R	R	-	R	R	R	R	R	R	R	R	-	R	R	R	R	R	R	R	R	
Yaqui 53A	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R					
1088	R	R	R	R	R	R	S	MS	-	-	R	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

* Tomado de Campos [30, p.45-48].

** Las razas aparecieron en 1957

Fuente : [96, p.19].

variedades híbridas hasta 1953 fueron producto de cruas simples entre el mejor material nacional e introducido (véase Cuadro 5 y Diagrama 1).

La aparición de nuevas razas de roya del tallo durante 1950-1953 (véase Cuadro 7) inutilizó a todas las variedades de la primera generación y a varias de la segunda generación ⁵⁰.

La tercera generación de variedades que se liberaron durante 1954-1960 se obtuvieron a partir de cruas dobles, triples y retrocruas entre el material élite seleccionado⁵¹, lo que dio mayor plasticidad, resistencia a royas⁵² y productividad a las variedades Lerma Rojo 54 y Yaktana 54, que durante 1956-1961 ocuparon la mayor parte de la superficie sembrada con trigo en México.

El período clave de la adopción de las nuevas variedades de trigo en México ocurre durante 1950-1955, por la acción combinada de varios factores: (a) la siembra de las variedades mejoradas era la única garantía de obtener producción cuando ocurre (1950-1953) una serie de mutaciones de las razas de roya del tallo; (b) se disponía de

⁵⁰ Las variedades liberadas durante 1950-1953 fueron: Yaqui 50, (N), Lerma 50 (B), Gabo 51, Mayo 52 (N), Lerma 52 (MC-VA) Chapingo 52* (MC-BA-N), Yaqui 52 (N), Mayo 53 (N), Sinaloa 53 (N), Chapingo 53* (MC-VA), Bajío 53 (B), Toluca 53 (VA-MC) Mexe 53* (MC), Yaqui 53* (N) y Yaktana 53* (VA-MC). Las variedades con asterisco fueron resistentes a las razas de roya prevalecientes durante los cincuenta.

⁵¹ Lerma Rojo 54 (B-N), Kentana 54 (N-B), Yaktana 54 (N-MC-VA) Gabo 54 (N), Cajeme 54 (N), Sinaloa 54 (N), Yaqui 54 (N), Mayo 54 (N), Gabo 55 (N), Gabo 56 (N), lograron una amplia aceptación entre productores

⁵² En 1950 se estableció el Vivero Cooperativo Internacional de la Roya del Tallo de Trigos de Primavera, que durante los años cincuenta realizó amplias pruebas de resistencia bajo condiciones muy variadas en varios países, con intercambio de información y selección de nuevos materiales progenitores: "Los trigos experimentales más promisorios de todos los países cooperantes se incorporan al vivero, los cuales son plantados por todos los científicos cooperantes... esta información ha sido de tremenda ayuda al programa de mejoramiento de México, especialmente como guía de las fuentes de resistencia para crear variedades resistentes a la roya del tallo" [118, p. 10].

materiales adaptados a necesidades regionales con mayor productividad que las diferentes variedades criollas; (c) la acción de las políticas gubernamentales: extensión ⁵³, crédito, suministro de insumos y precio favorable del trigo: en 1954 se fija el precio de 913 pesos la tonelada. “Este precio se mantuvo durante diez años (cuando los rendimientos por área se estaban incrementando) y representaba un gran subsidio para los productores de trigo, ya que el precio internacional era inferior” [78, p. 137] (ver Cuadro 10 y Gráfica 11).

La velocidad con que se realizó la adopción de las nuevas variedades durante 1950-1955 aparece en la Gráfica 12. Según Ardito [4], la rapidez con que los agricultores mexicanos aceptaron las nuevas variedades de trigo fue igual o mayor que la adopción del maíz híbrido en EE.UU.

El mayor potencial productivo de las nuevas variedades no se había manifestado de manera significativa en los rendimientos medios nacionales hasta 1955, al parecer, debido a que las variedades más rendidoras se liberaron en 1954, y a que estaba en proceso la generación/adopción del paquete tecnológico completo asociado a las nuevas semillas⁵⁴.

3.3.1.2 Variedades compuestas

Visto en perspectiva, el programa de mejoramiento para resistencia a las royas durante los años cincuentas, usando líneas genéticamente uniformes, no podría haber tenido mejor éxito. Pero ello no podía ser claro para sus protagonistas durante 1950-1953, cuando se presentaron varias mutaciones del hongo.

⁵³ En 1950 se inició un programa de extensión entre ejidatarios en El Bajío: “...como resultado de este programa los rendimientos (de los usuarios) se han incrementado a un punto en que el Banco Ejidal ha recuperado por primera vez en la historia reciente, todos los préstamos hechos a ejidatarios” [116, p. 42].

⁵⁴ “...el impacto en el aumento de la producción (por usar mejores variedades) empieza a manifestarse dos o tres ciclos después de que se obtienen las nuevas variedades, en razón de que este es el tiempo mínimo necesario para incrementar la semilla original y generalizar su uso entre agricultores” [83, p. 87].

Cuadro 10. Precio nacional e internacional del trigo durante 1950-1995.

Año	Precio de garantía o concertado nominal \$/ton	Índice nacional de precios al consumidor	Precio de garantía o concertado real (1) \$/ton	Precio nominal en Chicago dólar/bushel (2)	Índice de precios al mayoreo de EE.UU.	Precio de Chicago real \$/ton (3)
1950		21.4		2.20	46.76	1,529
1951		24.1		2.30	52.09	1,581
1952		27.6		2.23	50.70	1,303
1953	830	27.1	3,062	1.91	50.00	1,121
1954	830	28.5	2,912	2.05	50.09	1,502
1955	913	33.0	2,767	2.00	50.19	1,398
1956	913	34.6	2,638	2.15	51.90	1,482
1957	913	36.3	2,515	2.15	53.29	1,451
1958	913	40.8	2,237	1.88	54.09	1,145
1959	913	41.9	2,179	1.90	54.19	1,129
1960	913	43.9	2,079	1.90	54.30	1,080
1961	913	44.6	2,047	2.00	54.09	1,115
1962	913	45.1	2,024	2.14	54.19	1,182
1962	913	45.4	2,011	1.84	53.99	1,006
1964	913	46.5	1,963	1.46	54.09	780
1965	800	48.2	1,659	1.50	55.19	789
1966	800	50.2	1,594	1.82	57.09	951
1967	800	51.7	1,547	1.47	57.20	747
1968	800	52.9	1,512	1.25	58.59	636
1969	800	54.0	1,481	1.26	60.89	653
1970	800	56.6	1,413	1.67	63.09	855
1971	800	59.7	1,340	1.57	65.19	788
1972	800	62.7	1,276	2.20	68.09	1,098
1973	870	70.3	1,237	4.84	77.00	2,436
1974	1,300	87.0	1,494	4.16	91.49	2,010
1975	1,750	100.0	1,750	3.54	100.00	1,627
1976	1,750	115.9	1,509	2.81	104.59	1,440
1977	2,050	149.5	1,371	2.56	111.00	1,578
1978	2,600	175.5	1,481	3.57	119.70	2,030
1979	3,000	207.5	1,446	4.24	134.69	2,308
1980	3,550	262.0	1,355	4.33	153.60	2,170
1981	4,600	335.4	1,371	3.74	167.66	1,685
1982	6,930	532.8	1,301	3.33	171.04	2,286
1983	14,000	1,075.6	1,302	3.56	173.19	3,167
1984	25,000	1,779.7	1,405	3.38	177.34	2,293
1985	37,000	2,807.6	1,318	3.16	176.48	2,265
1986	58,000	5,228.5	1,109	2.34	171.34	1,798
1987	120,000	12,121.4	990	2.40	175.92	1,800
1988	310,000	25,959.2	1,194	3.72	182.98	2,207
1989	395,000	31,152.7	1,268	3.72	191.98	2,075
1990	484,000	39,457.6	1,227	2.61	198.74	1,359

Continuación Cuadro 23.

Año	Precio de garantía o concertado nominal \$/ton	Índice nacional de precios al consumidor	Precio de garantía o concertado real (1) \$/ton	Precio nominal en Chicago dólar/bushel (2)	Índice de precios al mayoreo de EE.UU.	Precio de Chicago real \$/ton (3)
1991	560,000	48,396.5	1,157	3.00	199.14	1,370
1992	576,000	55,911.4	1,031	3.24	200.33	1,321
1993	600,000	61,356.5	987	3.26	203.31	1,237
1994	750,000	65,617.9	1,143	3.03	205.89	2,243
1995	1200,000	88582.3	1,016			

(1) Deflactado con el Índice Nacional de Precios al Consumidor, base 1975.

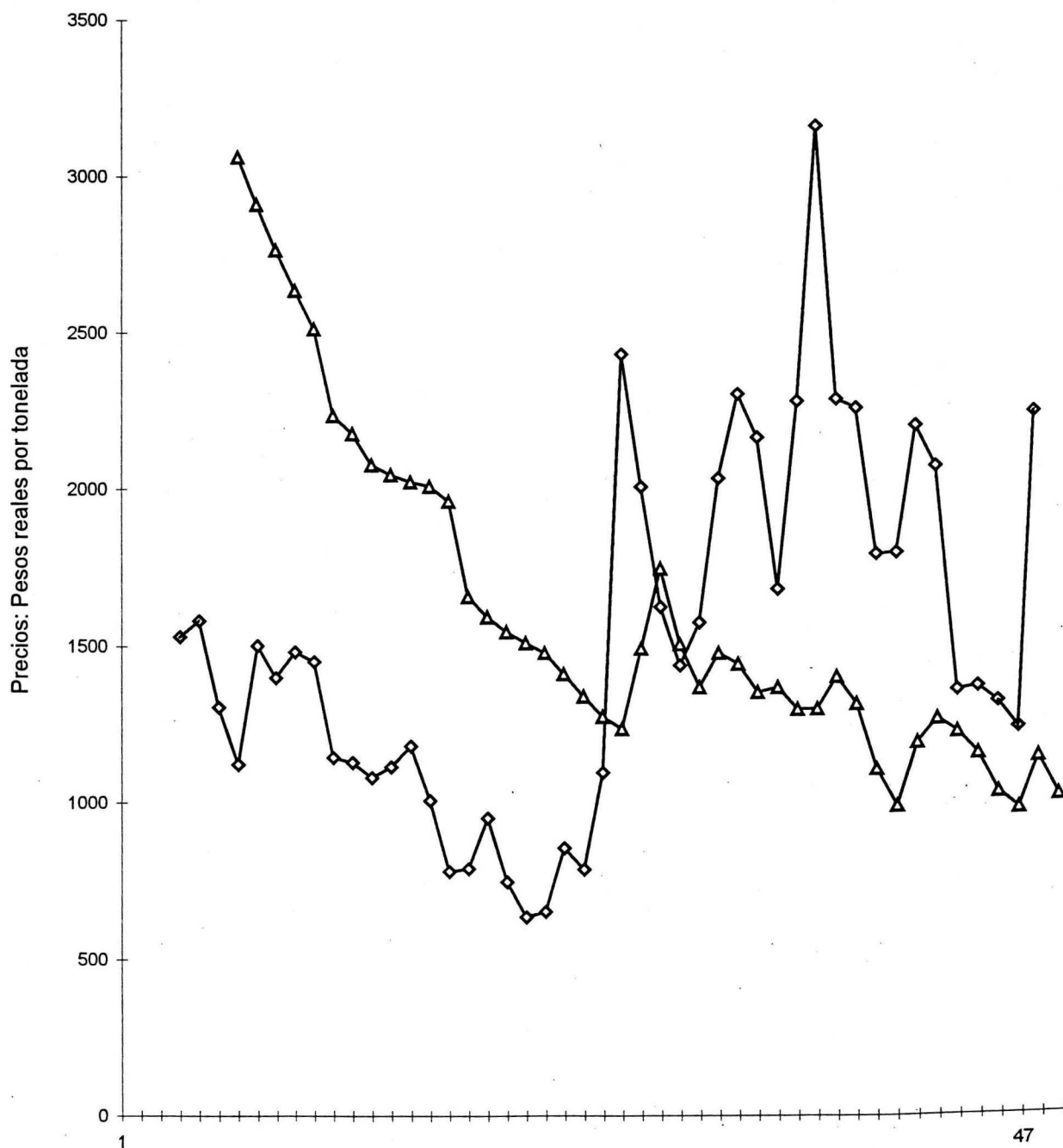
(2) Cotización del trigo No. 2 Soft Red Winter.

(3) Para deflactar se consideró que un bushel de trigo = 27.2 kg, y que

$TCR = TCN (IPM \text{ EU} / INPC \text{ Méx})$, donde TCR es el tipo de cambio real; TCN es el tipo de cambio nominal; IPM es el índice de precios al mayoreo de los EE.UU. y el INPC es el índice nacional de precios al consumidor en México.

FUENTE : SARH-DGEA; USDA, Agricultural statistics; IMF, International financial statistics.

Gráfica 11. Precio nacional e internacional del trigo en términos reales (base 1975)

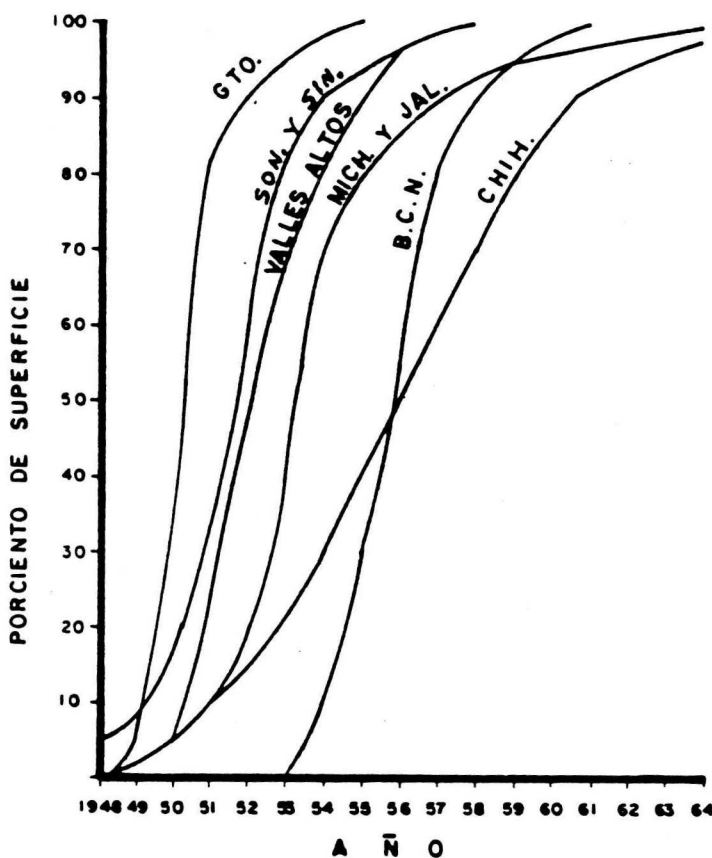


Ciclo de cultivo 1050-1951 a 1994-1995

Nota : Véanse las notas al Cuadro 10 sobre las fuentes de datos y forma de elaboración

Fuente : Cuadro 10.

 Δ = precio nacional; $\diamond$ = precio internacional.



Gráfica 12. Porciento de superficie de trigo sembrada con variedades mejoradas en diferentes regiones de México. (datos en base a Ardito [4, p. 140]).

Griliches [64] demuestra que el patrón general de la difusión del maíz híbrido en EE.UU. sigue una curva de crecimiento logística: la pendiente de la curva capta la rapidez de adopción de la nueva semilla y toma valores entre cero y uno: "...tomamos como tasa de aceptación la velocidad relativa del proceso de difusión, es decir, el coeficiente de la pendiente de la curva. La medida es tal, que un valor de uno, significa que se necesitan cuatro años para que la superficie dedicada al maíz híbrido aumente de 12 al 88%, mientras que un valor de 0.5 implica que se necesitarían ocho años para que ocurra el mismo incremento".

Los datos aportados por Griliches indican que sólo Iowa y Wisconsin, dos estados del Corn Belt, igualaron la rapidez con que en México se adoptaron las nuevas variedades de trigo a principios de los años cincuentas.

Ante los inevitables cambios que por su naturaleza presenta el hongo, en 1953 se propuso un método diferente de combate: producir variedades compuestas⁵⁵ a través de una modificación del método convencional de retrocruzas. [116, 19]

La variedad compuesta se obtiene de cruas entre una variedad comercial -con buenas características agronómicas y alto rendimiento- y líneas que poseen diferentes tipos de resistencia a la roya del tallo. Cada línea se retrocruza varias veces con la variedad comercial; cuando se ha recuperado en alto grado al progenitor recurrente pero con la resistencia buscada, se multiplica de manera separada cada línea. Después se hace una mezcla mecánica de 8 a 16 líneas para la variedad compuesta, que después de pruebas de rendimiento y calidad, se libera.

La característica de las variedades compuestas es que hace imposible que una raza de roya predomine en grado tal que pueda causar una epidemia. Lo más probable es que ataque a una o pocas líneas y la pérdida del agricultor no sería mayor que el porcentaje de susceptibilidad de las líneas afectadas. Puesto que se mantendrían en reserva líneas de diferentes retrocruzas, entonces podrían reemplazarse las líneas susceptibles por otras con nuevos tipos de resistencia.

Durante los años cincuentas, el programa de trigo produjo variedades compuestas usando como progenitores recurrentes a Kentana 48, Gabo 48, Lerma 50, Yaqui 50 y Lerma rojo 54. Las pruebas mostraron que desde el punto de vista práctico no hubo diferencias apreciables en aspectos morfológicos y agronómicos y los rendimientos fueron iguales o mayores a los obtenidos de las líneas puras progenitoras; además, había estabilidad en los rendimientos en el tiempo; lo que no hacía necesario la formación frecuente de nuevos lotes de variedades compuestas.

⁵⁵ La teoría multilíneal para la producción de variedades compuestas es uno de los conceptos nuevos del siglo en mejoramiento de cultivos de autopolinización..." [119: 1962-1963, p. 32].

En México no se han sembrado en escala comercial las variedades compuestas, seguramente por el descenso del ataque de las royas, pero seguirá siendo una medida de respuesta ante ataques imprevistos.

3.3.1.3 Calidad del trigo

Otra característica que los mejoradores tienen que considerar es la calidad del trigo. Esta se define, principalmente, por a) la calidad del gluten, que se transmite genéticamente; y b) el porcentaje de proteína, que está determinada por las condiciones ambientales, principalmente por la fertilidad del suelo. Diferencias en ambas propiedades dan origen a diferentes usos de las harinas en la industria de alimentos.

En general, la industria de derivados de la harina de trigo demanda tres tipos de trigos: a) trigos harineros, suaves, con los que se elabora el bolillo, y que ocupa la mayor parte del consumo interno; b) trigos duros o fuertes, con alto contenido de proteína y gluten fuerte y elástico, lo que permite el manejo mecánico del proceso de panificación para la producción del llamado pan de caja y c) trigos cristalinos, con los que se elaboran pastas. Se pueden producir pastas si a la harina derivada de trigos tenaces se adiciona proteína y otros aditivos.

Durante los años cincuentas se formaron trigos duros y suaves que cubrieron las necesidades internas⁵⁶. En 1958 se estableció el Laboratorio de Farinología para realizar pruebas que ayudaran al mejorador a seleccionar las líneas prometedoras en fases tempranas, según diferentes tipos de gluten aunados a características agronómicas deseables.

⁵⁶ Trigos duros: Chapingo 48, Yaqui 48, Yaqui 50, Chapingo 52, Chapingo 53, Toluca 53, Bajío 53, Yaqui 54, Gabo 55 y Gabo 56.
Trigos suaves: Kentana 48, Lerma 50, Yaqui 50, Gabo 54, Mayo 54, Kentana 54, Cajeme 54, Lerma rojo 54 [119: 1957-1958, p.125].

Los diferentes rendimientos entre variedades da por resultado que no siempre exista una adecuada proporción relativa de la producción de los diferentes tipos de trigos para las necesidades de consumo, lo que ha llevado a realizar mezclas, introducir aditivos o importar algunas cantidades del trigo faltante.

3.3.2 Fertilización y otras prácticas de manejo

El programa de mejoramiento dio particular importancia a un mayor potencial productivo con adición de fertilizantes químicos: "...los estudios sobre fertilizantes del suelo para trigo se iniciaron en 1944"[21, p.9] . A fines de los años cuarentas se había encontrado que en El Bajío y en la Mesa Central del país, los suelos eran generalmente deficientes en nitrógeno, pero no en fósforo. Los fértiles suelos del Noroeste recién abiertos al cultivo, requirieron aplicaciones de nitrógeno solo después de cinco años de cultivo, y fósforo después de los diez⁵⁷. En ninguna región había respuesta a las aplicaciones de potasio y micronutrientes.

Durante 1944-1955 se estudiaron dos formas alternativas de fertilización del trigo:

a) realizando, desde 1949, la asociación del trigo con leguminosas y diferentes mejoras físicas al suelo[105]. Sin embargo, durante 1954-1959 se fueron encontrando diversos inconvenientes agronómicos: un buen crecimiento de la leguminosa, cuando no se fertilizaba, podía interferir en la cosecha mecánica; donde se fertilizaba, el mayor

⁵⁷ "El nivel de fertilidad de los suelos del Valle Nuevo (parte del Valle del Yaqui, abierto al cultivo en 1953) es, en general, adecuado para siembras de trigo después de trigo, no necesitándose fertilización adicional...En las siembras de trigo del Valle del Yaqui actualmente (1957) no son necesarias aplicaciones de fósforo y potasio...en el Valle Viejo (parte del Valle del Yaqui, con 10 y 30 años de cultivo) las siembras de trigo después de trigo deben fertilizarse con 60kg/ha de nitrógeno...las siembras de trigo después de algodón, deben fertilizarse con 100 kg/ha de nitrógeno" [6, p.39].

amacollamiento del trigo impedía el crecimiento de la leguminosa, aportando poco abono verde⁵⁸.

b) usando fertilizantes químicos, que finalmente predominaron, al parecer por toda una serie combinada de factores: i) la concentración de nutrientes por unidad de peso-volumen; ii) la disposición de fertilizantes químicos, de producción nacional o importados; iii) hacia 1954 se disponía de fórmulas, fechas y métodos de fertilización para “los principales tipos de suelo de las mayores áreas productoras de trigo”[118, p.91]; iv) el incremento en rendimiento cubría con ganancias el costo del fertilizante y su aplicación⁵⁹; v) la simplificación de labores de cultivo: el fertilizante aplicado al momento de la siembra es “igual o superior a otras variantes de aplicación”[117:1954-1955, p.85]

La difusión de la práctica de fertilización fue tan rápida como la adopción de variedades mejoradas, solo que con cierto retraso: “el área sembrada con trigo se ha cultivado durante los años pasados con variedades mejoradas(1950-1953), pero este año(1954) por primera vez el uso de fertilizantes químicos ha sido generalizado” [116,p.42] (ver Cuadro 11).

Los programas de extensión iniciados en 1950, y el crédito, estimularon el uso de nuevos insumos en la producción triguera: “...la reorganización de los distritos de riego en todo el país (en 1953) impulsó al Banco Nacional de Crédito Ejidal y al Banco de Crédito Agrícola a incorporar a sus planes de operación ciertos elementos de la nueva tecnología que estaba creando la OEE. Aquel año empezaron a serles distribuidas a los clientes de los bancos oficiales semillas de alto rendimiento, y poco después fertilizantes e

⁵⁸ “...sembrar leguminosas en asociación con trigo es aconsejable solamente en suelos de baja fertilidad, donde no es posible fertilizar” [119: 1958-1959, p.94].

⁵⁹ Experimentos de fertilización realizados en El Bajío durante 1954-1956, mostraban una respuesta promedio de 11 a 15 kg de trigo por cada kg de nitrógeno aplicado por ha. La respuesta en Sonora, en ese mismo periodo, era de 28 a 47 kg de grano de trigo por kg de nitrógeno aplicado por ha. Aquí no había respuesta al fósforo. Durante 1954-1956 el costo de un kg de fertilizante era de alrededor de 4.5 kg de grano de trigo [116,117,118].

insecticidas químicos”[78, p.66] . Hacia 1957, el uso de fertilizantes químicos era una práctica común en las dos principales zonas trigueras del país: era el insumo que más incrementaba rendimientos por área e ingresos al productor⁶⁰.

Cuadro 11. Difusión de nuevas prácticas de cultivo del trigo en Sonora.

Ciclo	Hectáreas plantadas con trigo	% de superficie fertilizada	% de superficie con semillas mejoradas
1953-54	196,435	9.2	53
1954-55	220,285	21.8	67
1955-56	292,981	63.8	91

“...entre las temporadas trigueras 1954-55 y 1955-56, se produjo un salto extraordinario del 35 al 95% de la superficie triguera en el Valle del Yaqui tratada con fertilizantes químicos. Para el estado entero, las cifras oficiales señalan el 9% de la superficie triguera fertilizada en 1953-54, el 22% en 1954-55, el 64% en 1955-56 y el 84% en los tres años siguientes” [78 ,p. 139] .

Fuente: [118, p. 4] .

El programa de trigo debió resolver otros problemas de manejo ligados al cultivo para mantener atractiva su siembra.

Durante los años cincuentas en El Bajío se practicaba la rotación trigo-maíz, y los agricultores hacían la quema de la paja y/o retiro del rastrojo del maíz antes de preparar el terreno para el cultivo siguiente. Durante 1954-1958 se estudió la racionalidad de este sistema de manejo y su efecto en los rendimientos. Los resultados mostraron que ese manejo lograba “...dos ventajas prácticas en comparación con la incorporación de los residuos de la plantas en una rotación de trigo-maíz: a) los rendimientos se elevan en un 10 a 20%; y b) se reducen los problemas de malas hierbas. Además, la práctica de sacar o quemar los residuos tenía otras dos ventajas: i) la preparación del terreno para la siembra se realiza en una forma más fácil y económica y ii) el rastrojo de maíz podía ser utilizado

⁶⁰ “En las zonas de riego de la Mesa Central, especialmente en Guanajuato, actualmente(1957) es difícil encontrar campos que no hayan sido fertilizados”[119, p.34].

como forraje...(pero se agregaba) estos resultados no pueden ser utilizados para predecir que ocurrirá después de un largo periodo de tiempo”⁶¹ [92, p.17].

Este tipo de resultados justificó las siembras en forma de unicultivo y el uso intensivo de fertilizantes químicos para incrementar rendimientos en el corto y mediano plazo, frente a la asociaciones con leguminosas e incorporación de materia orgánica al suelo.

3.3.3 Control de malezas y plagas

En las dos principales regiones trigueras, cuando se hacía una preparación normal del terreno y se incorporaban o quemaban los residuos de cultivos anteriores, no se presentaban problemas con malas hierbas. Donde estas eran problema, se desarrollaron formas de combate con herbicidas preemergentes o durante el amacollamiento del trigo.

El trigo en México no ha tenido plagas importantes que redujeran los rendimientos; la más generalizada fue el pulgón de la espiga. Se desarrollaron formas eficaces de control químico.

3.3.4 Riego

Se iniciaron trabajos de investigación para un manejo más eficiente del agua, sólo cuando se habían difundido de manera amplia las variedades mejoradas y la práctica de fertilización con fertilizantes químicos. Durante 1955-1957 se encontró que el agricultor tenía la tendencia a igualar el número de días entre riegos durante el ciclo del cultivo, sin

⁶¹ No se sabe que en años recientes se hayan cuantificado los efectos de las prácticas de quema de la paja de trigo y retiro de los residuos agrícolas; lo que se ha observado en El Bajío y otras regiones es la necesidad de hacer crecientes aplicaciones de fertilizantes químicos para sostener los niveles de productividad por área cultivada. Tampoco se ha medido el efecto de hacer aplicaciones regulares de materia orgánica en la química del suelo.

considerar que la planta tiene desiguales necesidades en sus etapas de desarrollo. También ocurría que se daban pocos pero fuertes riegos, sometiendo a la planta a periodos de sequía[6, 34] .

Hacia 1959 se había precisado que el ciclo del trigo tenía tres etapas de desarrollo con diferentes exigencias de humedad: antes del espigamiento; durante el espigamiento y formación del grano; y durante la maduración⁶².

También se había precisado que una humedad óptima durante el ciclo del cultivo duplicaba la eficiencia de absorción del nitrógeno; que el contenido de proteína del grano de trigo disminuía con la aplicación de bajas dosis de fertilizantes por hectárea (50 a 60kg), pero aumentaba con la aplicación de altas dosis(100 kg/ha o más); que la altura de la planta y la producción de paja eran más sensibles a las condiciones de humedad y altas fertilizaciones que los rendimientos de grano. Estos resultados se usaron para definir prácticas de riego más eficientes[119: 1956-60] .

La sensibilidad de las variedades de altura **normal** de trigo para producir más paja que trigo, bajo condiciones óptimas, indicaban que había una limitación estructural-fisiológica de estas variedades para aprovechar altos niveles de fertilidad. Esa limitación se iba a superar con la formación de las variedades enanas.

Había antecedentes del uso del factor de enanismo como vía de elevar rendimientos potenciales y reducir el acame del trigo: en 1935 Japón había liberado la variedad de trigo Norin 10 con esas características y, desde el siglo pasado, había realizado su revolución verde con VAR enanas de arroz [45,73,74]

⁶² "...la etapa en que las plantas fueron más exigentes respecto al contenido de humedad en el suelo fue la de espigamiento y formación del grano, en el cual los esfuerzos de humedad del suelo de siete atmósferas afectan ya el rendimiento en grano...se debe aplicar el riego cuando el esfuerzo de humedad del suelo es de siete atmósferas y no permitir que se eleve, ya que entonces hay daño a las plantas. A esto se le llaman condiciones óptimas de humedad y de ello depende el calendario de riegos" 106,p.26].

“Durante los últimos años (1954-1955) la sección de trigo ha venido desarrollando un programa intensivo de mejoramiento con las variedades enanas de origen japonés...la altura de algunas de estas líneas es igual a la mitad de la altura de las variedades comerciales mas comunes...si esto puede realizarse, los rendimientos podrán aumentar grandemente ya que el acame severo es en la actualidad el factor limitante en la producción triguera de Sonora y Sinaloa”[119:1956-1957,p.42] .

En el ciclo 1957-1958 se realizaron ensayos de rendimiento de la cruza Yaktana/Norin 10, que vendría a ser **la primera variedad enana de trigo**: Pitic 62, con un rendimiento 30% mayor que las variedades de altura normal: “...parece evidente la posibilidad de aumentar considerablemente los rendimientos por unidad de superficie con el uso de variedades enanas”[119:1957-1958,p.114].

3.3.5 Mecanización

El programa de mejoramiento de trigo fue desarrollando en fases sucesivas variedades con características que facilitaban la mecanización de las labores de cultivo y de cosecha: la uniformidad del tamaño de la planta y madurez; uniformidad en el tamaño del grano y resistencia al desgrane, son condiciones biológicas necesarias para una cosecha mecánica.

Desde fines de los años cuarentas, la OEE planteaba que la preparación del terreno y la siembra-fertilización del trigo se realizaba mejor de manera mecánica: con uniformidad, profundidad y rapidez, lo que permitía elevar rendimientos por área y practicar diferentes rotaciones alternativas⁶³ [16].

⁶³ “En vista de que la introducción de implementos mejorados generalmente conduce a mejores métodos de manejo, el programa (de investigación agrícola OEE-SAG) ha dedicado una gran parte de su tiempo a estudios de maquinaria agrícola. El objeto aquí es lograr una coordinación total del material genético con la técnica de cultivo y el aspecto económico...” [72,p.33].

Este planteamiento de mecanizar todas las labores del cultivo, presuponía que la dotación de recursos en la agricultura mexicana, o bien la dotación de recursos en las zonas trigueras (relación entre el tamaño medio de la unidad de producción triguera o precio de la tierra cultivada / mano de obra disponible o precio de esta) era similar a la de EE.UU. Si no lo era, o en tanto lo fuera, se incurriría en deseconomías.

Al igual que ocurriera en las áreas trigueras de países desarrollados, en México se mecanizó primero la cosecha de trigo: "...durante los pasados cinco años (1951-1955), virtualmente todas las cosechas de trigo en la región de El Bajío, y en muchas otras áreas, ha cambiado de la cosecha manual a la cosecha con combinada. El cambio se ha facilitado por la variedades mejoradas"[118, p. 93] . En el Noroeste y La Laguna hacía tiempo que se usaba la combinada.

Pero la mecanización de las labores de preparación del suelo ocurre a ritmos diferentes entre regiones productoras de trigo. Un estudio sobre la dotación de recursos agrícolas durante 1954 encontraba que, en el sector privado del distrito de riego de Celaya predominaba el uso del tractor en la preparación del suelo y el uso de tracción animal en el sector ejidal. En un balance general del área triguera: "...la tracción animal era la más común...(había) 930 tractores, 26,500 cabezas de ganado usadas como animales de trabajo y 218 trilladoras y combinadas para la recolección del trigo" [32, p.88] . En cambio, en Sonora, en 1950, las máquinas suministraban el 68% de toda la energía agrícola, en tanto que diez años antes solo habían suministrado el 17% del total; el resto era energía animal[78, p.134].

Las perspectivas de ganancia del cultivo del trigo, debidas a incrementos en los rendimientos por área desde mediados de los años cincuentas y las rotaciones con cultivos de alto valor económico aceleró la mecanización de **todas las labores** en las dos regiones trigueras del país:

“El aliento oficial a la mecanización (durante los años cuarenta) era una premisa supuesta, pero no todavía consecuencia de la nueva tecnología. Solo en la segunda mitad de la década del cincuenta, y sobre todo en los años sesentas puede decirse que la revolución en semillas y fertilizantes por sí misma -y las grandísimas ganancias que generó- dio un impulso directo a la continua mecanización de México” [78, p.77] ...En la década de los cincuentas “...el gasto nacional total en maquinaria importada y aperos pasó de 600 millones de pesos, casi seis veces el valor estimado de toda la maquinaria y herramienta que había en el país en 1940” [78, p.72] .

Tan rápido había ocurrido este proceso que un estudio de la economía de la producción en el sector privado en el Valle del Yaqui en 1958, encontraba que cada peso invertido en maquinaria y equipo rendía ¡solamente dos centavos!. Se tenía pues más maquinaria y equipo del necesario, haciendo un uso muy ineficiente de este [130]⁶⁴ .

No solo el sector privado de esta región estaba sobremecanizado, el ejidatario, que en su mayoría no poseía maquinaria propia, tenía que pagar la realización de labores de preparación del suelo y de cultivo hechas con tractor y maquinaria de mayor costo, que la necesaria para su parcela [2] .

Se había desplazado tal cantidad de mano de obra en el sector ejidal con riego, que solo la mitad del trabajo familiar disponible se usaba en la parcela:

“El tamaño de los tractores y máquinas de uso general en el Valle del Yaquí es con mucho mayor al necesario para la típica parcela ejidal. La compra de una maquinaria de gran tamaño sería antieconómico y el arriendo de sus servicios permite poca participación del ejidatario en las operaciones agrícolas. Hasta el presente (1960) se han hecho pocas propuestas para la introducción de maquinaria de una potencia que pueda adaptarse a las necesidades de la parcela y que permita un completo empleo productivo del ejidatario y su familia” [119, p.91]

⁶⁴ En El Noroeste, tractores que se usaron en promedio 293 horas al año, tuvieron un costo promedio de operación de \$23.97 por hora; los que se usaron 793 horas un costo promedio de \$12.39, y aquellos que promediaron 1,115 horas un costo medio de \$9.62... “similares interrelaciones existen entre el uso y costo para otras clases de maquinaria y equipo” [119:1959-1960, p.95]

En síntesis, durante los años cuarentas se requerían de 25 a 30 jornadas para cultivar una hectárea de trigo, y correspondía al trabajo del 20 al 25% de los costos totales. En 1969 se requerían de 6.5 jornadas para sembrar, fertilizar, cultivar y cosechar esa misma hectárea de trigo. Se gastaba cinco veces mas en maquinaria que en mano de obra [82].

3.3.6 Resultados del IIA

Lo anotado hasta aquí ha dado énfasis a la tecnología desarrollada por la OEE, porque se dispone de informes de investigación regulares de sus actividades y porque sus aportaciones prevalecieron. El Instituto de Investigaciones Agrícolas (IIA) también realizó trabajos de investigación en trigo, con enfoques distintos: se dio mayor importancia a la generación de variedades y tecnologías adaptadas a áreas y condiciones de producción mas específicas; por ello, aunque sus variedades tuvieron aceptación temporal, no predominaron, y porque técnicamente el esfuerzo de crear variedades adaptadas a medio ambientes no-óptimos es más complejo. Los mayores avances en esta área son recientes.

En 1960 se retira el apoyo de la Fundación Rockefeller al programa agrícola mexicano y nace el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), fundiendo en una sola institución la actividad del personal mexicano de la OEE y del IIA.

3.4 Mejoramiento del trigo en México desde 1960

Los avances en el mejoramiento del trigo de 1960 a la fecha es producto de la actividad del INIA, ahora INIFAP, fuertemente influida por las políticas y resultados de investigación del CIMMYT, debido, entre otras cosas, a que mucho del trabajo de investigación de esta última institución se realiza en México, particularmente en el CIANO, estación del INIFAP. Además, debido a que líneas avanzadas con caracteres deseables, provenientes del germoplasma mundial que maneja el CIMMYT, se selecciona y prueba en México, y enseguida se difunde a los países participantes en los ensayos

internacionales de selección y rendimiento de trigo. Consecuentemente, en varias ocasiones, el programa mexicano de trigo ha estado en el grupo de países que primero usan los materiales avanzados, liberando nuevas variedades.

En lo que sigue se dará énfasis a las políticas y resultados de investigación del CIMMYT y su impacto en la formación de nuevas variedades.

3.4.1 Estrategia en el mejoramiento genético del trigo

Como se señaló en los apartados 3.3.1 y 3.3.1.1, las variedades mexicanas de altura normal, formadas en los años cincuentas, poseían nuevas características biológicas: resistencia a las royas, insensibilidad al fotoperiodo y buen potencial de rendimiento.

Estos resultados se obtuvieron por, al menos, la combinación de tres factores: a) el programa de cruzas y reselecciones de trigo manejaba, para su época, germoplasma relativamente cuantioso y diverso⁶⁵ ; b) esas variedades llegaron a tener amplia adaptación, en virtud de que la selección de materiales se venía realizando de manera alternada en dos áreas ecológicas contrastantes (CIANO y Toluca)⁶⁶ ; y c) desde 1954 se trabajó en introducir el factor de enanismo Norin 10 a las variedades de altura normal ya formadas, para “desarrollar variedades de tallo corto y minimizar el acame bajo altas fertilizaciones” [118, p. 17] (véanse Cuadros 12, 13 y 14, y Diagrama 2).

⁶⁵ “... (en el mejoramiento de plantas) uno debe tratar con grandes números, si se ha de encontrar con una combinación deseable”, citado por Borlaug [22].

⁶⁶ “Resultados preliminares obtenidos de cruzas segregantes indican claramente que la insensibilidad a la duración del día de “Sonora 64” se hereda como un carácter simple dominante, y que la insensibilidad indudablemente contribuye a su amplia adaptación” [119: 1964-1965, p.215].

“...las evidencias actuales indican que probablemente dos genes dominantes involucrados, pero que también hay un gran número de genes modificadores” [24, p.10].

Cuadro 12. Comportamiento de las mejores líneas enanas y algunas variedades comerciales de trigo en el Valle del Yaqui en 1958-1959.

Orden de Rendimiento	Variedad o Cruza	No. de observaciones	Rend. kg/ha	Rend.% respecto a Yaqui 50	Reacción a la roya de la hoja
1	Fn//K58/N/3/Norin 10/B21 *	4	5202	162	MB
2	Sel 5//Norin 10/B24	4	5184	153	MR
3	Yt 54//Norin 10/B21 **	2	5000	147	MS
4	Fn// K58/N/3/Norin 10/B21 *	4	4722	139	R
5	Kt 54A// Norin 10/B21	4	4660	137	MR
6	Yt 54// Norin 10/B26 **	4	4633	137	MS
7	Fn//K58/ N/3/ Norin 10/B1 *	2	4582	135	MR
8	My 54// Norin 10/B28	4	4466	132	MS
9	Wt// Norin 10/B26	2	4404	130	R
10	Y 53// Norin 10/B26/3/LR2	2	4382	129	MR
11	Fn//K58/N/3/Norin 10/B21 *	4	4368	129	AR
12	Sin 54//Norin 10/B/3/Kt 54	4	4195	124	MR
13	Fn//K58/N/3/Norin 10/B21 *	4	4024	119	MS
14	Yt 54// Norin 10/B26 **	4	3911	115	MS
15	Y53// Norin 10/B26/3/LR2	2	3877	114	MS
16	Yt 54// Norin 10/B28	4	3800	112	MS
17	Fn//K58/N/3/ Norin 10/B	4	3773	111	MR
18	Lerma Rojo 54	80	3766	111	MR
19	Náinari 60	4	3693	109	MR
20	My 54// Norin 10/B29/3/P142	4	3673	108	MS
21	Cajeme 60	16	3655	108	MS
22	Gabo 60	16	3611	106	MS
23	Yaqui 50	50	3380	100	MR
24	Gb 54// Norin 10/B21/3/LR 2	2	3260	96	MR
25	My 54// Norin 10/B21/3/Y54	2	3226	95	MR
26	Yaqui 50	51	3186	94	MS
27	Gabo 56	52	3106	91	MS
28	Gabo 48	46	3004	88	MS
29	Andes	10	2946	87	MR
30	Selección 5	4	2829	83	MS
31	Barrigón Yaqui	4	2733	80	MR
32	Chapingo 53	4	2606	77	MR

Abreviaturas:

AR= altamente resistente

R= resistente

MR= moderadamente resistente

Fuente : [119: 1959-60, p.55].

* Cruza que dió origen a la variedad Pénjamo 62.

**Cruza que dió origen a la variedad Pitic 62.

MS= moderadamente susceptible

Cuadro 13. Comportamiento de las mejores líneas enanas y algunas variedades comerciales de trigo en El Bajío en 1958-1959.

Orden de rendimiento	Variedad o cruza	No. de obser- vaciones	kg/ha	Rend.% respecto a Lerma Rojo	Reacción a la roya de la hoja lineal	Aptitud Moli- enda	Panifi- cación		
1	P4160-2B-7y-6c-1y	1	4	6344	144	R	R	MB	MP
2	Yt 54// Norin 10/B26 **		2	6037	137	MS	MS	-	-
3	Yt 54// Norin 10/B21 **		2	6011	137	MS	MR		
4	Yt 54//Norin 10/B21 **		2	5737	130	R	MS		
5	Norin 10/B17//Y53/3/Y50/4/Kt54		2	5604	127	O	R		
6	Fn//K58/N/3/Norin 10/B1 *		2	5515	125	O	MS		
7	Yt 54//Norin 10/B21 **		2	5499	125	MS	MR		
8	Cajeme 60	1	20	5386	122	R	R	MB	MB
9	Yt 54//Norin 10/B26 **		4	5322	121	MS	MS	R	MP
10	Náinari 60	1	4	5319	121	R	MS	MB	P
11	Yt 54//Norin 10/B21 **		2	5315	121	MS	MR		
12	Fn//K58-N/3/Norin 10/B1 *		2	5282	120	R	MS		
13	Yt 54//Norin 10/B2 **		2	5226	119	MS	MS		
14	Fn//K58/N/3/Norin 10/B1 *		2	5082	115	R	MS		
15	Kt 54A// Norin 10/B21 **		4	4824	110	R	MR	MP	MP
16	Yt 54// Norin 10/B26 **		4	4815	109	S	MR		
17	Yt 54// Norin 10/B26 **		4	4786	109	S	MR		
18	Fn//K58/N/3/Norin 10/B *		4	4624	105	MS	MS		
19	Fn//K58/N/3/Norin 10/B *		4	4515	103	R	MS	P	MB
20	Gabo 60	1	12	4493	102	R	MS	MB	R
21	Lerma Rojo 54	1	109	4400	100	S	MR		
22	Andes	1	10	4353	99	MR	MS	MB	MP
23	Ch 53//Norin 10/B28/3/Y54		4	4346	99	R	MS	E	MB
24	Gabo 56	1	66	3968	90	MR	MS		
25	Yaqui 50	1	94	3902	89	MR	MR	MB	P
26	Tehuacán 60	1	4	3682	84	MS	MS		
27	Chapingo 53	1	4	3675	84	R	MR		
28	Yaqui 54	1	66	3655	83	MS	MS		
29	Gabo	1	36	3631	83	R	S		
30	Huamantla	1	8	3571	81	O	MS		
31	Selección no. 5	1	8	3331	76	R	MR		
32	Barrigón Yaqui	1	4	1849	42	R	S		

Abreviaturas:

O= inmune

R= resistente

MR= moderadamente resistente

MS= moderadamente susceptible

S= susceptible

* Cruza que dió origen a la variedad Pénjamo 62

**Cruza que dió origen a la variedad Pitic 62.

1 No son variedades enanas; se incluyen como testigos.

2 No se tomaron datos de roya del tallo por no desarrollarse suficiente infección.

Fuente : [119: 1959-60, p. 52].

Cuadro 14. Progenitores de las principales variedades comerciales de trigo más ampliamente sembradas en México: 1960 a la fecha.

Variedad	Cruza	Año de liberación
b) Trigos harineros enanos		
Pitic 62	Yaktana 54/N10B	1962
Pénjamo T 62	Frontana/ /Kenya 58/Newthatch/3/N10Baart	1962
Nadadores M 63	Pénjamo 62/ Yaqui 54	1963
Sonora F 64	Yaktana 54/N10Baart/ 2*Yaqui 54	1964
Lerrma Rojo 64A	Yaqui 50/N10B/ /Lerma rojo 52/3/2*Lerma Rojo 54	1964
Mayo 64	Mayo 54/N10B/ /2*Yaqui 54	1964
Siete Cerros T 66	Kalyansona "S"= Pénjamo 62/Gabo 55	1966
Super X 66	Kalyansona "S"	1966
Bajío 66	Sonora 64A/ /Tezanos Pinto Precoz/ Náinari 60	1966
Tobari F 66	Bajío 66"S"	1966
Jaral F 66	Bajío 66"S"	1966
Inia F 66	Lerma Rojo 64/Sonora 64	1966
Noroeste F66	Inia 66"S"	1966
Norteño M 67	Inia 66"S"	1967
Bajío M 67	Tezanos Pinto Precoz/Sonora 64	1967
Ciano F 67	Pitic 62/Chris"S"/ /Sonora 64	1967
Azteca 67	Ciano 67"S"	1967
Ahome S 70	Ciano 67"S"	1970
Ciane S 70	Pénjamo 62/P 14/Yaktana 54/Lerma Rojo 54	1970
Vicam S 70	Lerma Rojo 64/Sonora 64/ /Napo 63	1970
Potam S 70	Inia"S"/3/Frecor/Fontana/ /Yaqui 48/Nariño"S"	1970
	Bluebird= Ciano"S"/ /Sonora 64/Klein rendidor/3/8156B	1970
Nuri F 70	Bluebird 1	1970
Yécora F 70	Bluebird 2	1970
Saric F 70	Bluebird 3	1970
Cajeme F 71	Bluebird 4	1971
Tánori F 71	Sonora 64/Ciano"S"/ /Inia 66	1971
Vicam S 71	Lerma Rojo 64/Sonora 64/ /Napo	1971
	Napo= Frecor/Fontana/ /Yaqui 48/Nariño"S"	
Delicias S 73	Inia/Napo/ /Jaral 66	1973
Toluca 73	Inia 66"S"/Napo/ /Ciano 67	1973
Torim F 73	Inia 66/Bluebird	1973
Mochis 73	Sonora 64/Klein rendidor/ /Bluebird"S"	1973
Roque F 73	Sonora 64/ /6*SKe/3*ANe	1973
Jupateco F 73	II/2300/ /Lerma Rojo 64/8156/3/Norteño M67	1973
Narro 74	Bluebird/Inia 66"S"/Napo/ /II20350/4/F2	1974
Zacatecas 74	Norteño 67/4/Ciano"S"/Jaral 66/3/Yaqui 50E/	1974
	Ciano"S"/ /ON	
Anáhuac F 75	Jupateco 73"S"	1975
Cocoraque F 75	Jupateco 73"S"	1975
Chanate 71	Ciano "S"/Pénjamo 62/ /Ciano"S"/Siete Cerros	1975
Salamanca 75	Ciano/Pénjamo 62/ /Ciano/Siete Cerros 66	1975
Zaragoza 75	Mengavi/8156	1975
Tesopaco F 76	Inia 66"S"/3/Sonora 64A/ /Tezans Pinto Precoz/	1976
	Yaqui 54/4/Carazhino	
Pavón F 76	Vicam/ /Ciano"S"/Siete Cerros/3/ Kayansona/Bluebird	1976

Cont. Cuadro 14.

Variedad	Cruza	Año de liberación
Nacozari F 76	Bluejay = Tezanos Pinto Precoz/Paloma//Siete Cerros	
Jahuara M77	Bluejay"S"	1976
Pima S 77	Bluejay"S"	1977
Yecorato F 77	21943/Chapingo 53/ /2* Lerma Rojo/3/8156/4/Nor 59	1977
Hermosillo M 77	Inia 66/Ciano/ /Calidad/3/Bluebird 2"S"	1977
	Jaral/Napo/3/Lerma Rojo 64/ /Tezanos Pinto Precoz/	1977
	3*ANe/4/Bluebird/Norteño 67/ /Ciano 67/Siete Cerros	
	/3/Cal	
Tesia F 79	Paloma/3/Inia 66/Ciano 67/ /Calidad/4/Bluejay"S"	1979
	Buckbuck = Bucky/Maya"S"/Bluebird/ /HD825.5/	
	ON/3/Ciano/Pénjam 62	
Ciano T 79	Buckbuck"S"	1979
Imuris T 79	Buckbuck"S"	1979
Comundu 81	Tóbari/BMAN/ /Bluebird/3/Cardenal/4/Super X	1981
Mahone F 81	Tóbari/BMAN/ /Bluebird/3/Cardenal/4/Super X	1981
Delicias F 81	Inia/Napo 63/ /Jaral 66	1981
Huasteco M 81	HOP/Robin/Kalyansona	1981
Victoria M 81	Yécora resel B/Trifon"S"/ /Rosalka/Torim 73	1981
Abasolo 81	Inia/Napo/4/Triticum glastinosum ramificado/	1981
	Ciano"S"/ /Pénjamo 62/3/Santa Elena E/Jaral"S"	
Celaya F 81	Ciano 67-5/Pénjamo 62/ /Willet E 3/2 Nariño 59/3/	1981
	Santa Elena/Jaral 66-5/4/Zaragoza 75/Jaral 65-65/3/	
	Thatcher 3/2 Frontera/ /Kenya 58/Newthatcher	
Apache M 81	Pénjamo 62/Gabo 55/3/II12300"S"/ON/ /Roque"S"/SF 2	1981
Tonichi S 81	CAR422/Anáhuac 75	1981
Guasave F 81	Kavkaz/ /kalyansona/Bluebird/3/Ciano"S"	1981
Sonoita F 81	Toim 73/ /Kalyansona/Bluebird	1981
	Veery = Kavkaz/Buho/ /Kalyansona/Bluebird	
Glennson M 81	Veery # 1	1981
Ures T 81	Veery # 2	1981
Genaro T 81	Veery # 3	1981
Seri M 81	Veery # 4	1981
Mixteco 82	Sonora 64/Klein rendidor/ /Bluebird"S"/3/2*Radio	1982
México 82	Radio F2*2/5/Bluebird"S"/3/Sonora 64/Yaqui 50 E/ /	1982
	Gaboto/4/2*Radio F2	
Oasis F 86	Yécora 70/Agatha	1986
Esmeralda M 86	Ciano 79/3/Tezanos Pinto Precoz/Paloma/2/Siete Cerros	
Ocorini F 86	Jupateco 73/4/Tobari"S"/ Napo/ /Noroeste 66/ERA/3/	1986
	Bluebird/Gallo/5/Tobari 66/Ciano 79"S"/ /Tobari 66	
	8156(R)/3/Calidad/ /Bluebird/Ciano 79"S"	
Marte M 86		1986
Saturno S 86		1986
Papago M 86	Ciano 79/Pavón 76	1986
Cucurpe S 86	Him/Cocoraque 75/ /Nacozari 76	1986
Gálvez S 87	Bluebird/Gallo/ /Carpintero/3/Pavón"S"	1987
Temporalera 87	Tiba 63 E/Olensen/4/Kromo/3/Tobari 66/Ciano 67/	1987
	Olensen/4/Klein rendidor E/3/Inia 66/Bluebird/ /Nainari 60 E	

Cont. Cuadro 14.

Variedad	Cruza	Año de liberación
Cumpas T 88	FKN/3/2*F/ /KAD/Gabo/4/Bluebird/Salamanca 75/5/ Veery # 6	1988
Mochis T 88	FKN/3/2*F/ /KAD/Gabo/4/Bluebird/Salamanca 75/5/ Veery # 6	1988
Guerrero M 88		
Culiacan T 89	Hermosillo 77/Tesopaco 76/ /Veery	1989
Tepoca M 89	Ciano 79/4/Tesopaco 76/Irn 46/ /Ciano 67/3/ Tobari/Ciano 79"S"	1989
Carrizo F 89	Very/H499.71A/ /4*Jupateco 73	1989
Rayón F 89	Veery # 2/5/FKN/3/2*FR/ /KAD/Gabo/4/Bluebird/ Salamanca 75	1989
Arandas F 90	Hermosillo 77/Tesopaco 76//Veery	1990
Verano S 91	IN/TGL.R/3/Bluebird/Ciano 67/JYCO/4/Vicam 70/ Sonora 64/ /Sonora 64/Ciano 79	1991
Arivechi M 92	Wuhl/Gleanon 81/4/Inia 66/Ag.di/ /Inia 66/3/Veery # 3	1992
Guamuchil M 92	Chum 18/Bau	1992
Babiacora M 92	Bobwhite/Nacozari 76/ /Veery/3/Jahuara 77/Cocoraque 75	1992
Huites 95		
Borlaug 95		
Romoga F 96		
Batán F 96	Ciano 67/MFD/4/Y 50 E/8156(R)/ /Kalyansona/3/ Gto/ /Kalyansona/Bluebird/5/Serti 82	1996
c) Trigos cristalinos		
Tehuacán C 60	Carabaca I/LD357/ /Capelli	1960
Oviachic c 65	Pitic 62/Barrigón Yaqui/ /2*Tehuacán 60	1965
Chapala C 67	BYE*/2*Tehuacán 60	1967
Tehuacán C 67	Yaktana 54 E/N 10B/ /D # 2/3/ 2*Tehuacán 60/4/1413.3	1967
Pabellón C 67	Pitic 62"S"/St.464/ /2*Tehuacán 60	1967
Jori C 69	Pitic 62/Barigón Yaqui 2/ /Tehuacán 60/3/ Tacur 125 E/3*Tehuacán 60	1969
Cocorit C 71	Rojo Alicante E/4*Tehuacán 60/ /Stewart 63/ Anhinga"S"	1971
Mexicali C 75	Gerardo VZ469/Jopri"S"/ /61.130/Leeds	1975
Yávaros C 79	Jori"S"/Aninga"S"/ /Flamingo"S"	1979
Altar C 84	RUFF"S"/Flamingo/ /Mexicali 75/3/Gallareta"S"	1984
Aconchi C 89		

M = Gluten medio

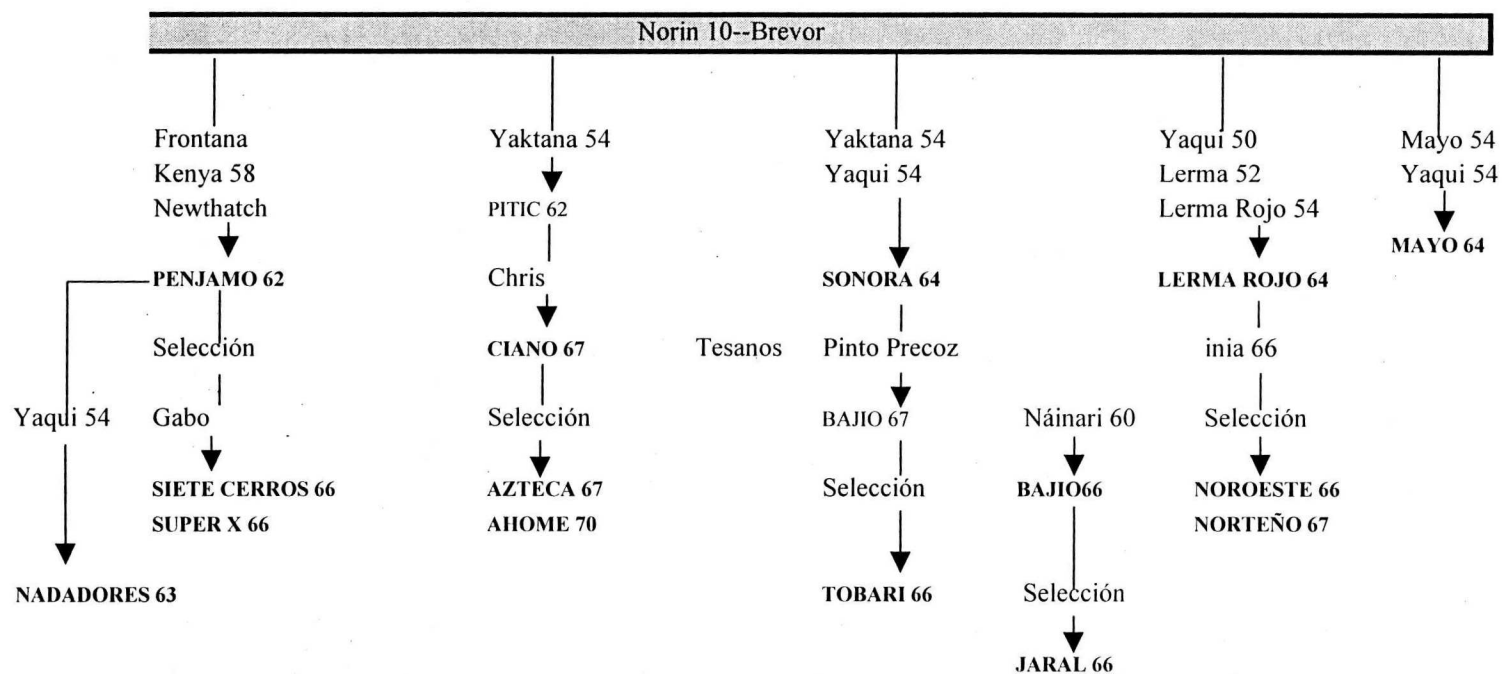
F = Gluten fuerte

T = Gluten tenaz

Fuente : [18,25,96,117,118,119,120,143,144].

Diagrama 2: Origen de las principales variedades comerciales mexicanas de trigo harinero: 1960 a la fecha

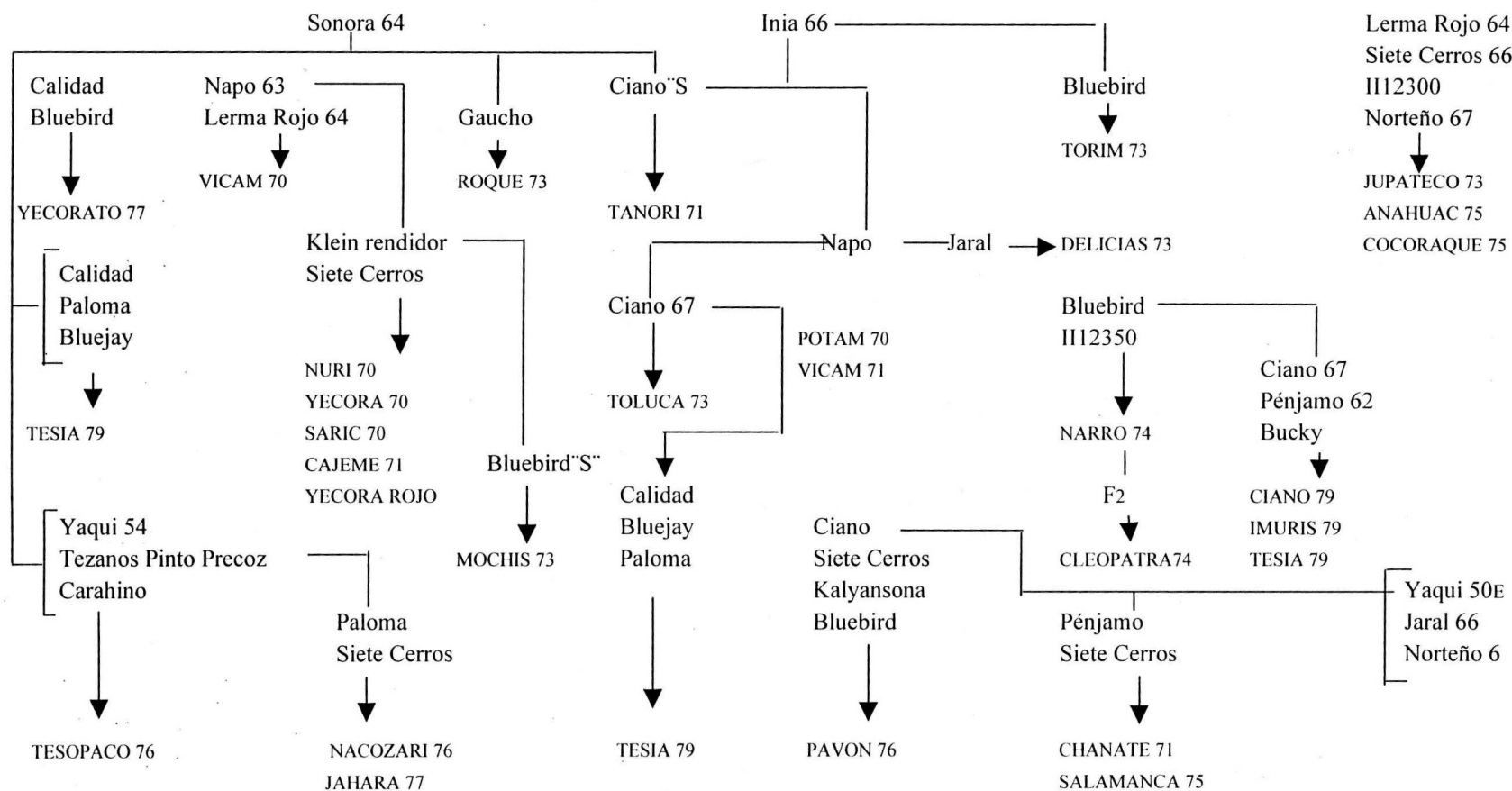
a) Primeras variedades enanas liberadas durante los sesentas



Fuente: Cuadro 14

Diagrama 2: Origen de las principales variedades comerciales mexicanas de trigo harinero: 1960 a la fecha

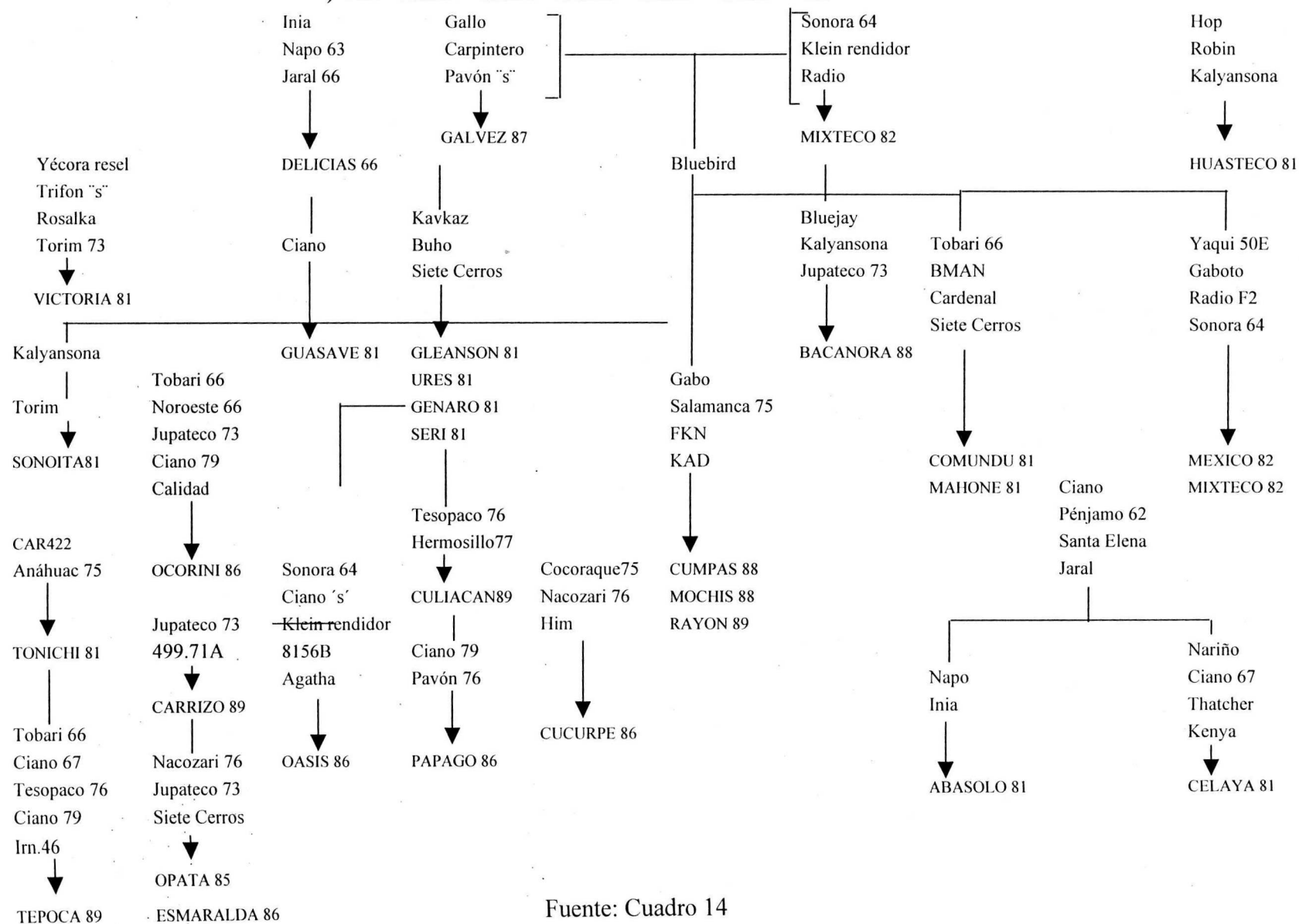
b) Variedades doble y triplemente enanas liberadas durante lo setentas



Fuente: Cuadro 14.

Diagrama 2: Origen de las principales variedades comerciales mexicanas de trigo harinero: 1960 a la fecha

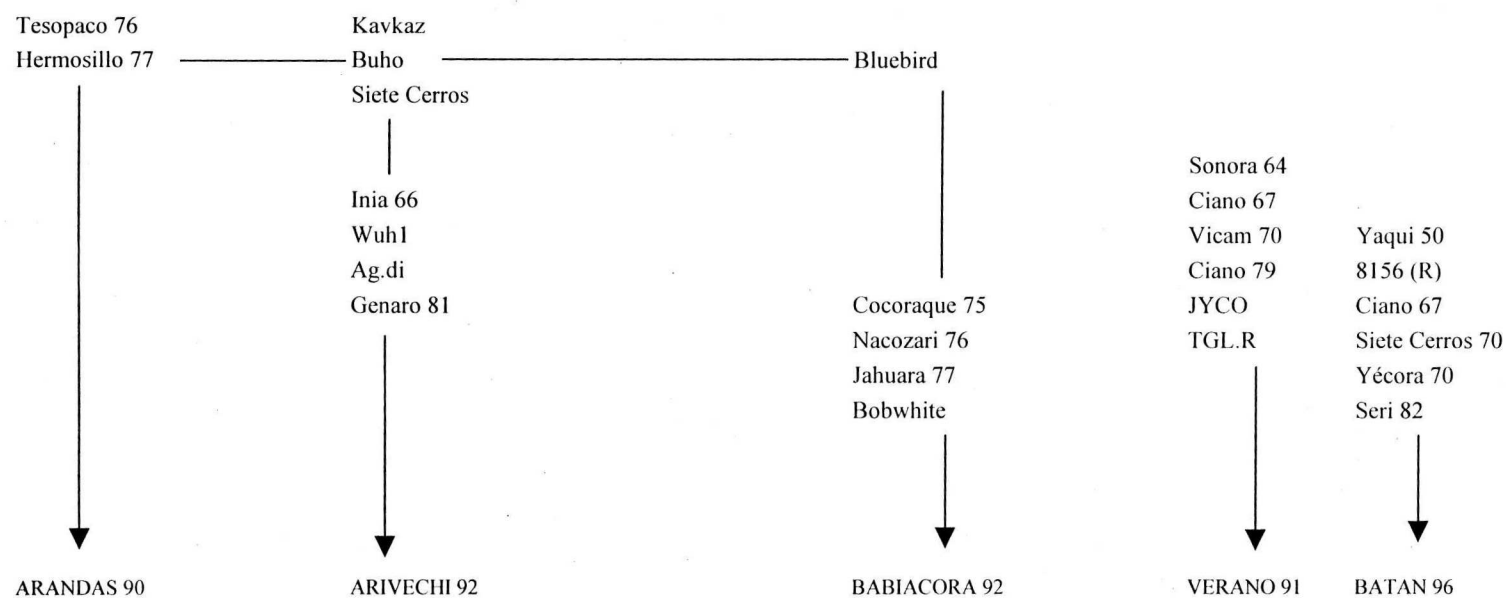
c) Variedades enanas liberadas durante los ochentas.



Fuente: Cuadro 14

Diagrama 2: Origen de las principales variedades comerciales mexicanas de trigo harinero: 1960 a la fecha

d) Variedades enanas liberadas durante los noventa.



Fuente : Cuadro 14

“...mientras nuestro objetivo de investigación al usar materiales con el caracter de enanismo [en el programa de cruza durante los años cincuentas en México] fue reducir la incidencia del acame, obtuvimos un beneficio no esperado en la forma de un mayor potencial de rendimiento, debido en gran parte a la redistribución de la producción de materia seca total en grano”⁶⁷
[24,p.11]

La nueva plasticidad biológica de las semillas sólo parecía ser la solución a problemas específicos de la producción de trigo de un programa nacional⁶⁸.

Cuando finalizó el programa de cooperación⁶⁹ en investigación agrícola entre el gobierno mexicano y la Fundación Rockefeller (1960), esta planteó realizar pruebas uniformes de rendimiento de las variedades comerciales más representativas generadas en México, en países trigueros de América y del Cercano Oriente (durante 1960-1964) [35,89], como un medio de medir el grado de adaptación a diferentes medioambientes y para precisar las formas de difusión de resultados de investigación de varios programas nacionales de trigo a sus países vecinos⁷⁰.

⁶⁷ En estricto sentido esto no era nuevo: los mejoradores japoneses e italianos sabían desde hacia tiempo que este era el resultado de transferir el carácter de enanismo al trigo y al arroz. Este mismo proceso siguieron los mejoradores de trigo en EE.UU. y en 1961 liberaron la variedad “Gaines” con los mismos resultados [45,71,73].

⁶⁸ En repetidas ocasiones Borlaug y el CIMMYT han insistido en señalar que estos tres elementos de estrategia en el mejoramiento del trigo practicados en México, constituyen aportaciones de la OEE-INIA a la agricultura internacional. Estos elementos de estrategia están presentes en la actual actividad del CIMMYT, solo que en forma más desarrollada: en los objetivos y resultados de los diferentes ensayos internacionales de selección y rendimiento que coordina.

⁶⁹ “Sugiero que uno de nuestros principios limitantes (para no alargar indefinidamente el apoyo financiero de la Fundación) podría ser el que no lleváramos el programa más allá del punto en el que se ha establecido como éxito científico” [107, p.913].

⁷⁰ Había experiencias previas: los objetivos, resultados y alcances de estos ensayos [89] siguieron de cerca la experiencia de los Ensayos Internacionales de Trigos Resistentes a Royas, iniciado en 1950 por la Universidad de Minnesota, y que había aportado materiales al programa de trigo de la OEE.

Los resultados de estos ensayos mostraron[89] que había un grupo de variedades de altura normal y enanas, de origen mexicano y colombiano⁷¹, **que producían los mayores rendimientos bajo un amplio rango de condiciones**: suelos con y sin fertilizante, irrigados o no, entre 50° de latitud norte y 36° de latitud sur, del nivel del mar a 2600 msnm, y bajo diferentes condiciones para la aparición de enfermedades; todo esto en marcado contraste con las variedades de EE.UU. y Canadá, que sistemáticamente produjeron los menores rendimientos, debido a su sensibilidad al fotoperiodo [35,89].

Tales resultados también indicaban que la práctica generalizada entre mejoradores nacionales: buscar formar trigos con adaptación específica, debería cambiar por la de formar variedades rendidoras de trigo con amplia adaptación⁷². La generalización de esta nueva orientación en el mejoramiento hacía deseable el intercambio de materiales élite entre programas nacionales, y hacía posible que una línea rendidora y/o con otros atributos pudiera usarse de manera casi directa en otro país, potenciando los impactos en la producción y reduciendo los costos de investigación.

Otra aportación de estos primeros ensayos internacionales de trigo es que detectaron el potencial de las nuevas semillas y contribuyeron a definir toda una nueva estrategia de investigación aplicada al trigo. Para implementar esa estrategia se constituyó el CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo) en 1966, cuya

⁷¹ Las variedades Náinari 60, Pitic 62, Pénjamo 62, Lerma rojo 54, Lerma rojo 64A, Bonza 55 y Nariño 59; las dos últimas de origen colombiano: "...no estábamos seguros de lo que habíamos hecho (formar variedades con amplia adaptación) y no fue sino después de las pruebas internacionales que encontramos que la adaptación permitía la difusión de variedades en varios países" [22, p. 93]

⁷² De hecho, este resultado destruyó uno de los dogmas del mejoramiento: "...algunos científicos piensan que el mejoramiento para amplia adaptabilidad no es práctico o aún no deseable...intuitivamente suponen que cada medio ambiente debe idealmente tener su propio grupo de variedades" [89,p.11].

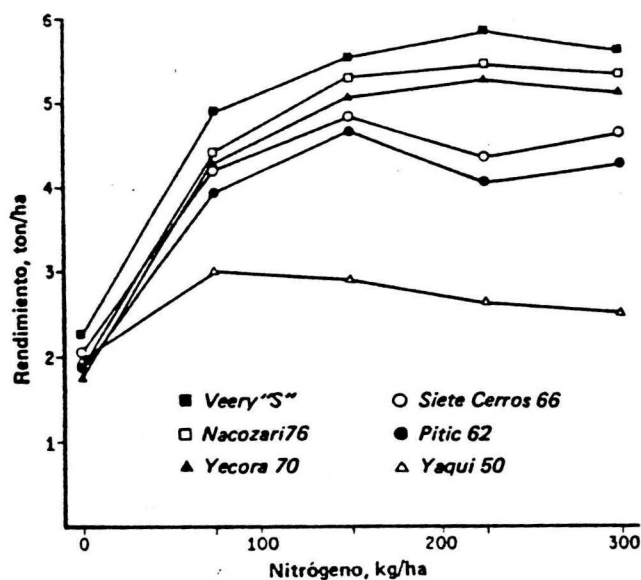
principal actividad es la coordinación de ensayos internacionales, de manera cada vez más amplia y diversa, y el análisis y difusión de sus resultados⁷³.

De hecho, la práctica de investigación en trigo en países en desarrollo se ha visto fuertemente influida desde entonces por esas políticas y resultados de investigación, particularmente en los renglones siguientes: a) cada uno de los ensayos internacionales maneja una gran diversidad genética, y realiza un gran número de cruza y reselecciones, lo que aumenta la posibilidad de identificar materiales con características nuevas y deseables; b) la reselección de germoplasma bajo diferentes medioambientes no sólo permite identificar materiales con amplia adaptación, sino evaluarlos de manera más rápida, que si cada programa trabajase aislado; c) el libre intercambio de materiales manejados en los ensayos internacionales permite a los programas nacionales disponer de germoplasma élite para diferentes propósitos; d) capacitación y apoyo a investigadores de programas nacionales.

Sintetizando: las primeras **variedades enanas** formadas en México, generalmente conocidas por **variedades de alto rendimiento, VAR**, que alcanzaron a través del CIMMYT amplia difusión internacional a inicios de los años sesentas, poseían **tres características biológicas nuevas**, respecto de las **variedades de altura normal**: a) tallo corto y fuerte: lo que permitía fuertes fertilizaciones sin acame; b) una capacidad genético-fisiológica, asociada directa o indirectamente al enanismo, para aprovechar más eficientemente los nutrientes del suelo; y c) mayor potencial de rendimiento y amplia adaptación. La interacción de estas características elevaba substancialmente el rendimiento de grano por kilogramo de nitrógeno aplicado al suelo, cuando se usaban dosis medianas y altas⁷⁴

⁷³ Como se sabe, el CIMMYT centra su actividad en maíz, trigo, triticale y cebada; en cada cultivo: a) desarrolla procedimientos de investigación aplicada, b) genera y distribuye información científica y germoplasma experimental y c) proporciona capacitación a personal de países en desarrollo. Sus prioridades son el mejoramiento genético y la investigación de tipo convencional.

⁷⁴ “El mayor avance genético en el potencial de rendimiento del trigo logrado en este siglo está principalmente asociado con la reducción en la altura de la planta...”[54]



Gráfica 13. Respuesta al nitrógeno de diversas variedades liberadas durante los últimos 30 años en México.

La variedad Yaqui 50 es de altura normal; las demás son enanas.

Fuente: [38: 1982].

En la Gráfica 13 y en los Cuadros 15 y 16 se muestra una cuantificación de la mayor respuesta biológica de las VAR en la asimilación de nutrientes (nitrógeno) para convertirlo en grano.

Todo ello constituye:

“...biológicamente hablando, un ejemplo único de interacción entre manejo agronómico y genotipo, que es imposible que se repita” [54] ... “el mayor avance genético en el potencial de rendimiento del trigo logrado en este siglo está principalmente asociado con la reducción en la altura de la planta. El avance más espectacular ha sido en trigos de primavera cuando los genes de enanismo están presentes y es resultado de un mayor número de granos por metro cuadrado”[58] .

Cuadro 15. Respuesta al nitrógeno aplicado en variedades mexicanas representativas
(cultivadas en ausencia de enfermedades y sin protección contra el acame.
Ciclo 1971-1972 en el CIANO)

Variedad	Rendimiento en grano ton/ha, 14% de humedad nitrógeno: 0 kg/ha	Nitrógeno: 75 kg/ha	% de respuesta al nitrógeno
Yaqui 50	3.60	4.35	21
Nainari 60	3.85	4.47	16
Siete Cerros, INIA 66	4.30	5.99	39
Yécora 70, Cajeme 71	4.94	6.74	36
Incremento total *	37	55	

Náinari 60 se acamó poco y Yaqui 50 moderadamente a 75 kg de nitrógeno por ha.

Náinari 60 y Yaqui 50 son de altura normal; las demás son enanas.

* Por ciento de incremento del rendimiento de Yecora 70 y Cajeme 71 sobre Yaqui 50.

FUENTE: Fisher y Wall [54].

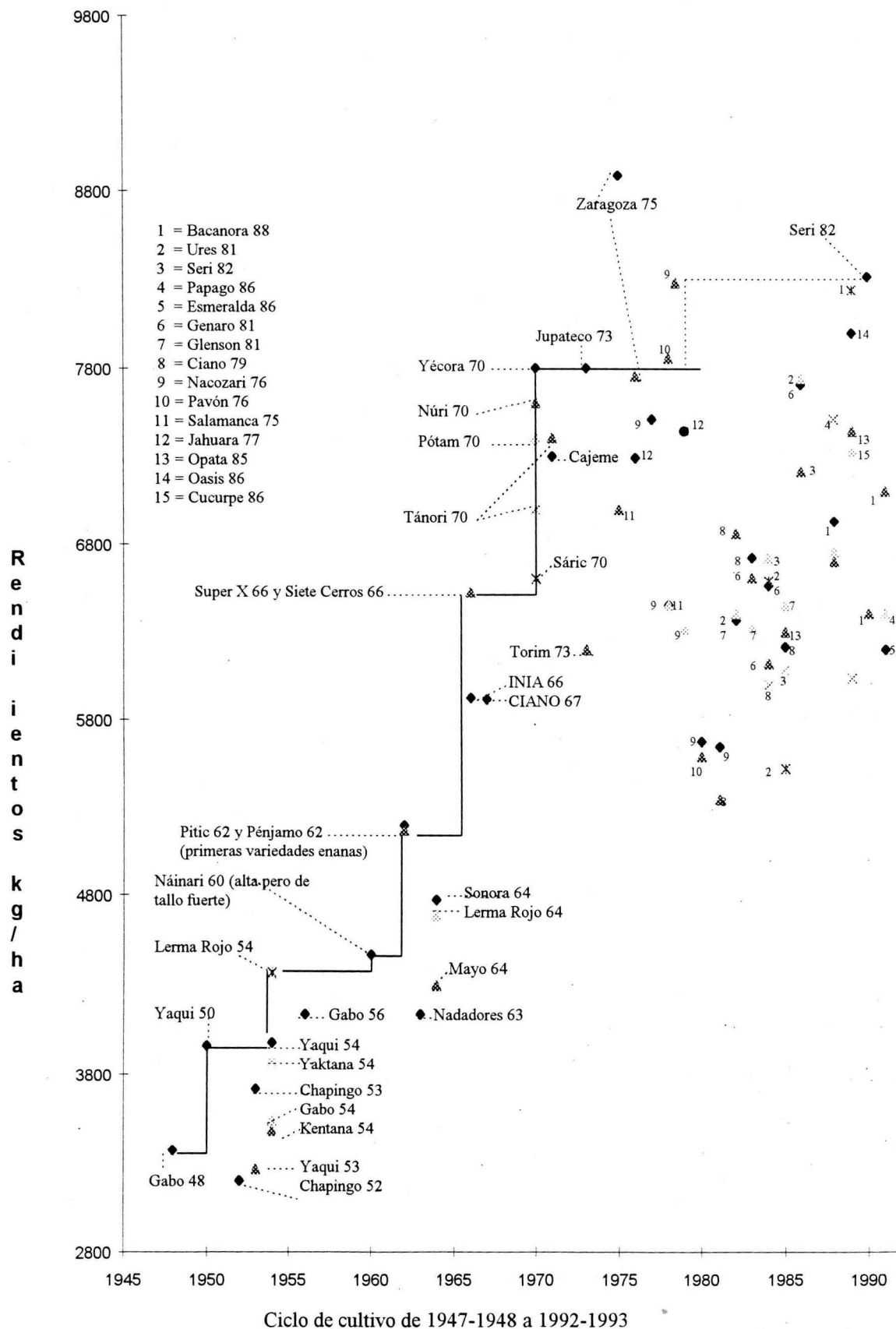
Cuadro 16. Rendimiento y utilización del nitrógeno por algunas VAR mexicanas.
(Experimentos del CIMMYT sobre fisiología del trigo, realizados bajo
condiciones óptimas durante 1970-1971).

Variedad	Altura (cm)	Rendimiento en grano ton/ha *	Nitrógeno total asimilado kg/ha	Rendimiento en grano (kg)/ nitrógeno asimi- lado (kg)	Índice de cosecha en nitrógeno (%) **
Gabo	140	5.95	205	29.0	68.5
Náinari 60	140	5.52	202	27.3	65.8
Pénjamo 62	110	6.48	220	29.5	67.5
Pitic 62	123	6.63	210	31.6	72.5
INIA 66	113	6.59	192	34.3	73.3
Siete Cerros	105	7.57	219	34.6	71.5
Cajeme 71	90	7.42	225	33.0	71.3
Anza	100	7.62	210	36.3	71.3
Torim	90	7.32	198	37.0	76.3
DS (0.05)	-	0.86	ns	-	0.5

* Con 14% de humedad; ** Nitrógeno asimilado por el grano entre el nitrógeno total asimilado.

FUENTE: Fisher y Wall [54].

Grafica 14 : Rendimientos potenciales de las variedades de trigo harinero mas extensamente sembradas en México (rendimientos obtenidos por el CIANO en ausencia de enfermedades, buena fertilización y manejo).



Fuente : Cuadro 17.

La amplia adaptación esencialmente se debía a la insensibilidad al fotoperiodo y resistencia a las tres royas. El potencial de rendimiento se elevó de 4.5 a 7-8ton/ha (ver Gráfica 14).

Una característica poco reconocida de la primera generación de VAR formadas en México durante los años sesentas, es que tenían una estrecha base genética. En el Diagrama 2 puede observarse que las cruzas de variedades élite de altura normal con el factor de enanismo Norin 10, dio origen a las primeras variedades enanas⁷⁵. Posteriores reelecciones de estas primeras cruzas dio origen a un segundo grupo de variedades enanas⁷⁶. A su vez, las variedades mexicanas más rendidoras liberadas durante 1966-75 fueron producto de cruzas y reelecciones entre la mejores variedades previamente formadas, sin la adición significativa de nuevo germoplasma.

En el quinto ensayo internacional de selección de trigo harinero (international bread wheat screening nursery, IBWSN, 1971-1972) las líneas con mayor rendimiento y resistencia a enfermedades eran, en todos los casos, cruzas de/con variedades mexicanas. Esto llevó a concluir que "...parecería que los materiales sobresalientes del CIMMYT tienen una estrecha base genética. Así es en cierto grado, pero se han dado pasos para diversificar y expandir las variedades que contribuyen al complejo genético[38:1972] .

Así que durante 1966-1975 el trabajo de mejoramiento del CIMMYT -y del programa mexicano de trigo- se orientó a corregir defectos de la primera y segunda generación de las VAR: actualizando la resistencia a enfermedades, mejorando las características de molienda y panificación e introduciendo el enanismo en dosis doble y triple. La liberación de variedades doble y triplemente enanas en México durante 1970-1971 parece señalar el fin de incrementos en rendimientos potenciales basados en el

⁷⁵ Pénjamo 62, Pitic 62, Sonora 64, Lerma rojo 64 y Mayo 64.

⁷⁶ INIA 66, Siete Cerros 66, Super X 66, Noroeste 66, Bajío 66, Norteño 67 y Ciano 67, entre otros.

factor de enanismo, que se estabilizaron en el rango de 7 a 8 ton/ha⁷⁷ (véase Cuadro 17 y Gráficas 14, 15 y 16).

Esta percepción parece haber llevado al CIMMYT a replantear el orden de prioridades en trigos harineros a inicios de los setentas: a) estabilizar los rendimientos de las VAR bajo condiciones de cultivo optimas⁷⁸; b) incrementar el potencial de rendimiento del trigo en áreas no irrigadas.

Para lograr estos objetivos se delineó la estrategia siguiente: a) ampliar la base genética de resistencia a enfermedades de los trigos harineros (véase apartado 3.4.1.1); b) estudios de fisiología de los trigos harineros de primavera cultivados bajo condiciones óptimas. Se esperaba que ayudarían a precisar restricciones a la producción y/o estabilización, y formas de superarlas (véase apartado 3.4.1.2); c) ampliar la base genética de los trigos harineros de primavera realizando cruzas con trigos de invierno y triticales (véase apartado 3.4.1.3); d) realizar cruzas de trigos con especies silvestres y cultivadas en busca de tolerancia a condiciones extremas del medio ambiente (véase apartado 3.4.1.4); y e) continuar con el sistema de pruebas internacionales de germoplasma de trigos harineros, trigos duros y triticales.

Sin embargo, los resultados de esta nueva estrategia para el mejoramiento del trigo harinero no habían logrado aumentar significativamente el potencial de rendimiento a finales de los años setentas. En 1978, Borlaug y el CIMMYT[23] concluían:

⁷⁷ Esto parece estar determinado por la arquitectura de la planta, tanto en trigos de primavera como de invierno: “aunque los avances en el rendimiento en trigos de invierno durante este siglo han estado asociados con el correspondiente decremento en la altura del tallo, es claro que debe haber un límite para obtener nuevos incrementos de rendimiento por esta vía...es improbable que el peso seco de el tallo y hojas pueda reducirse aún más” [7].

⁷⁸ “La mayoría de agricultores solo utilizan el 30-60% del potencial genético de rendimiento de las VAR de trigo...el objetivo primario de la investigación (del CIMMYT) en el corto y mediano plazo, es la estabilización de rendimientos mediante la reducción de pérdidas debidas a enfermedades, insectos y virus...” [23].

Cuadro 17. Incremento en los rendimientos potenciales de algunas de las variedades comerciales de trigo más ampliamente sembradas en México (kg/ha, rendimientos obtenidos por el CIANO en ausencia de enfermedades y bajo manejo óptimo).

Variedad	Rendimiento potencial	Altura de la planta cm.	Gene de enanismo
a) Trigos harineros			
Gabo 48	3365	125	--
Yaqui 50	3960	115-125	--
Chapingo 52	3198	125	--
Chapingo 53	3717	130	--
Yaqui 53	3260	120	--
Yaqui 54	3974	125	--
Gabo 54	3473	120-125	--
Kentana 54	3535	120-125	--
Yaktana 54	3864	120-125	--
Lerma Rojo 54	4360	110-125	--
Gabo 56	4140	115	--
Náinari 60	4466	110-115	--
Pitic 62	5200	100-105	E1
Pénjamo 62	5175	100-105	E1
Nadadores 63	4138	105	
Sonora 64	4780	85-90	E2
Mayo 64	4300	100-105	
Lerma Rojo S 64	4690	100-105	E2
INIA F 66	5921	100-105	E1
Siete Cerros 66	6523	96-100	E1
Super X 66	6523		E1
Ciano 67	5910		
Yécora F 70	7700-8800	75-80	E3
Núri F 70	7500-8200	95-100	
Pótam S 70	7300-8100	80-85	E2
Tánori F 70	6900-8400	90-95	E3
Sáric F 70	6500-8900	70-75	E3
Cajeme F 70	7200-8100	75-80	E3
Tánori 71	7300-8400		
Jupateco F 73	7700-8200	90-95	E1
Torim F 73	6200-8600	70-75	E3
Zaragoza S 75	6800-8800	90-100	E2
Salamanca S 75	7000	90	n.d.
Nacozari M 76	7500-8100	90-95	n.d.
Pavón F 76	6500-7900	100-105	n.d.
Jahuara 77	7500	90	n.d.
Ciano T 79	6600-8000	90	n.d.
Glennson 81	6200-8000	85	n.d.
Genaro S 81	6639	95	n.d.
Ures S 81	6760	85	n.d.
Seri 82	6784	95	n.d.

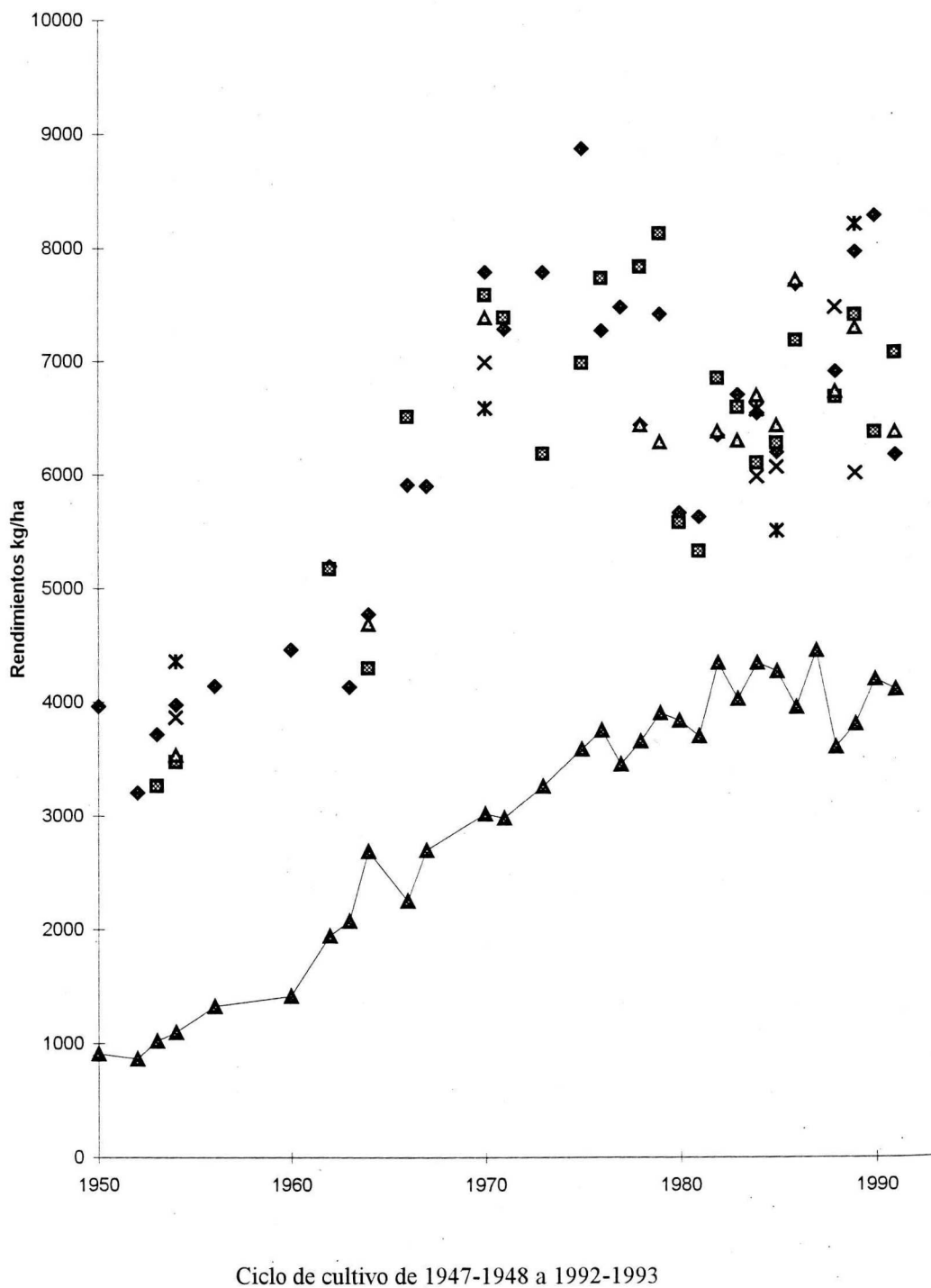
Cont. Cuadro 17

Variedad	Rendimiento potencial	Altura de la planta cm.	Gene de enanismo
Opata 85	6600-7800	n.d.	n.d.
Papago 86	6200-7450	n.d.	n.d.
Cucurpe 86	7350	n.d.	n.d.
Ocorini 86	6400-7500	n.d.	n.d.
Gálvez 87	6050-8300	n.d.	n.d.
Mochis 88		n.d.	n.d.
Bacanora 88		n.d.	n.d.
Culiacan 89		n.d.	n.d.
Arandas 90		n.d.	n.d.
Arivechi 92		n.d.	n.d.
Babiacora M 92		n.d.	n.d.
Batán 96	6190-	n.d.	n.d.
b) Trigos cristalinos:			
Oviachic C 65	7000	90	E1
Chapala C 67	7000	85	E1
Jori C 69	7700	80	E1
Cocorit C 71	8300	85	E1
Mexicali C 75	8300	90	E2
Yávaros C 79	8600	90	E1
Altar C 84	8300	90	E1
Aconchi C 89			

Todas las variedades fueron resistentes a las tres royas bajo las condiciones de México al momento de su liberación. n. d. No disponible.

Fuente : [37,71;117,118,119].

Gráfica 15. Rendimientos potenciales y rendimiento medio rural del trigo harinero en México.

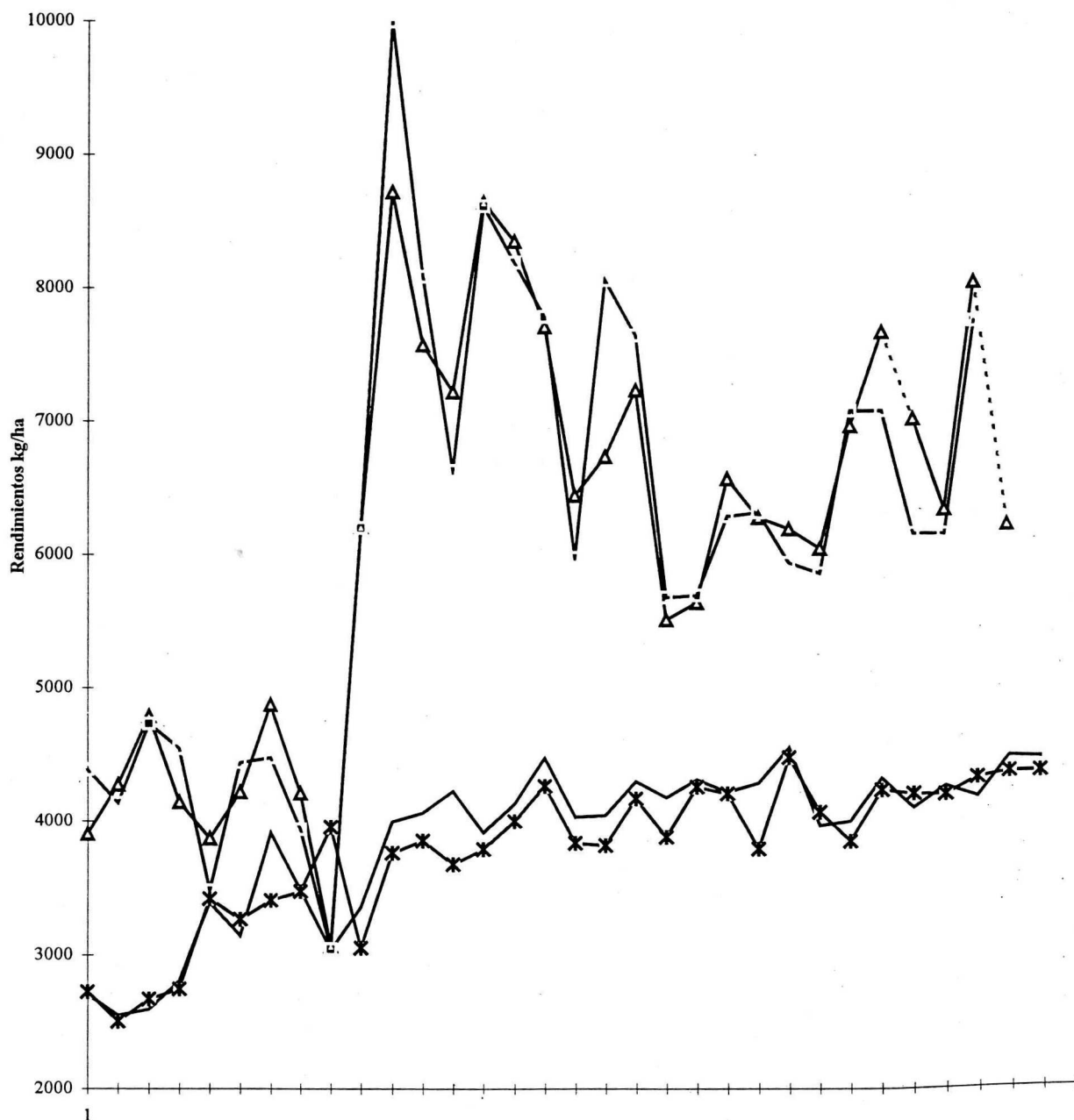


▲ = Rendimiento medio rural del trigo en México

Los demás símbolos representan rendimientos potenciales bajo condiciones óptimas

Fuente : Cuadro 17 y SARH-DGEA para rendimientos medios rurales

Gráfica 16. Rendimiento del trigo harinero en el CIANO y en los ensayos internacionales durante 1960- 1993 (promedio de las mejores cinco variedades en el CIANO y promedio general de todas las localidades participantes del ISWYN).



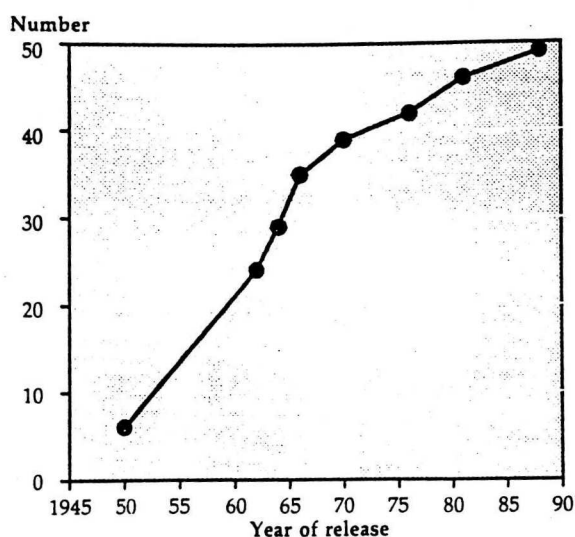
Ciclo de cultivo de 1960-1961 a 1992-1993

- Δ = Promedio de rendimiento de las mejores cinco variedades comerciales mexicanas sembradas en el CIANO
- ■ = Trigo testigo en el CIANO
- ◊ = Promedio de rendimiento de las mejores cinco variedades en el ISWYN
- X = Trigo testigo en el ISWYN, International Spring Wheat Yield Nursery

Fuente : [35, 36, 89, 117, 118, 119].

“...los trigos enanos y doblemente enanos distribuidos en los años sesentas incrementaron el potencial de rendimiento de 4 al rango de 7-8ton/ha. Desde entonces el potencial de rendimiento se ha incrementado gradualmente a el rango de 8 a 9 ton/ha, pero, en general, por una década (los setentas) ha existido una línea casi plana en los rendimientos [véanse Gráficas 14, 15 y 16]...es obvio que está siendo más y más difícil incrementar el potencial de rendimiento en las nuevas variedades a medida que nos aproximamos al máximo potencial de rendimiento genético(cualquiera que este sea) bajo un medio ambiente ideal...para continuar incrementando el potencial de rendimiento requerimos emplear germoplasma más diverso y usar métodos diferentes de mejoramiento...”

Liberar una variedad mejorada en los noventas representa el doble de trabajo, desde el punto de vista de cruzas-selección, respecto de las primeras VAR (ver Gráfica 17).



Gráfica 17. Tendencias en el número de progenitores de líneas sobresalientes del CIMMYT. El número de progenitores se calcula considerando todos los antecesores a la raza original o los padres de origen desconocido. Fuente:[47,p.24].

La dificultad de seguir incrementando de manera substancial el rendimiento potencial del trigo bajo condiciones de riego durante los ochentas; el aumento de la demanda de trigo en países en desarrollo, sin áreas de riego o con clima tropical, llevó a destinar esfuerzos de investigación para superar limitantes a la producción de trigo en

medioambientes no-óptimos. Hacia 1978 se inició la identificación de germoplasma de trigo adaptable a regiones tropicales. Desde principios de los ochentas se han seleccionado materiales tolerantes a sequía y a enfermedades diferentes a las royas.

El programa de trigo del INIA-INIFAP desde los años setentas ha trabajado para formar variedades productivas en las condiciones de temporal de los Valles Altos del centro del país: una área marginal que había perdido importancia, pero que durante los ochentas y noventas nuevamente ha aumentado la superficie sembrada de trigo; redituable cuando se usan variedades mejoradas para temporal⁷⁹.

2.4.1.1 Ampliación de la base genética para resistencia a enfermedades de los trigos harineros

Durante la década de los cincuentas el programa de trigo puso énfasis en formar resistencia contra roya del tallo por ser la enfermedad más generalizada en el país. Cuando eso se logró, a mediados de los cincuentas, se trabajó en formar resistencia a la roya de la hoja y lineal.

Esto llevó a que las primeras variedades enanas de trigo tuviesen una aceptable resistencia a las tres royas; de hecho esta característica contribuyó a su amplia adaptación en zonas de riego de países del Cercano Oriente (véase Cuadro 18).

Por la naturaleza de las royas (continuas mutaciones del hongo), diversos programas nacionales y el CIMMYT han dedicado esfuerzos para identificar e incorporar nuevas fuentes de resistencia genética en líneas en formación y/o variedades comerciales que se tornan susceptibles. Los avances se muestran en que se ha mantenido amplia

⁷⁹ Específicamente se han seleccionado variedades por eficiencia en el aprovechamiento del agua disponible, promedio de rendimiento diario de grano y resistencia a enfermedades.

Cuadro 18. Rendimientos medios y coeficientes de infección de las tres royas en las variedades mexicanas de trigo harinero. *

Variedad	Rango de rend. **	Rend. kg/ha						Roya del tallo						Roya de la hoja						Roya lineal					
		1965	1966	1967	1968	1969	1970	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1965	1966	1967	1968	1969	1970
Pitic 62	2	3526	3124	3500	3499	3032	3289	8.8	10.3	22.2	19.9	16.5	35.4	52.0	10.0	22.8	31.3	15.8	37.6	34.2	12.0	23.3	8.4	11.5	25.6
Náinari 60	7	3422	3145	3244	3214	2843	3041	13.2	10.3	10.3	15.0	16.0	38.7	7.0	5.1	20.7	7.4	4.2	19.8	53.5	19.8	31.6	25.4	21.0	41.3
Pénjamo 62	3	3417	3263	3407	3474	3055	3273	6.0	7.8	8.7	13.6	10.1	23.8	10.4	4.6	15.7	8.1	8.3	12.8	52.5	12.0	17.5	11.1	16.3	20.5
Siete Cerros	5	3321	2983	3203	3485	3016	3301	5.4	8.3	25.8	21.5	11.9	33.3	20.0	12.7	16.3	36.4	32.0	42.1	39.8	18.2	21.6	15.9	21.1	35.9
Lerma Rojo 64A	6	3253	3021	3461	3225	2917	3138	1.0	6.2	12.9	15.4	8.4	21.2	32.3	6.5	12.9	18.3	15.3	50.1	50.0	20.4	19.6	13.3	22.5	24.4
Sonora 64	15	2718	2400	2787	2973	2612		24.0	5.9	16.9	12.6	14.4	...	12.0	5.3	17.3	15.6	13.7		47.5	31.5	56.4	35.0	33.3	...
Roque 66	12	...	2940	2900	...	...	...	...	3.4	4.0	...	...	...	...	3.5	1.6	...	...	...	...	6.8	8.5	...	...	...
Jaral 66	13	...	2912	2912	...	...	...	...	3.3	5.4	3.5	...	...	...	2.7	7.7	2.4	...	...	...	4.2	2.2	4.0	...	...
Bajío 66	17	...	2846	...	...	...	...	...	2.9	...	...	...	...	...	3.6	...	...	...	...	...	13.2	...	...	...	...
Suoe X	1	...	...	3374	3469	...	...	...	...	11.3	17.2	...	...	...	...	10.8	12.3	...	...	...	...	18.6	13.3	...	...
Inia 66	4	...	...	3355	3502	2937	3307	...	...	10.7	3.9	4.4	9.7	...	...	3.8	16.8	11.0	17.9	...	...	17.2	12.1	16.7	42.9
Noroeste 66	9	...	...	3199	3325	2853	...	...	...	1.7	3.2	4.2	...	...	...	3.5	8.4	3.8	...	...	...	17.7	22.3	20.5	...
Tobari 66	8	...	...	3178	3275	2849	3296	...	...	0.9	1.1	3.0	6.9	...	...	1.7	3.2	1.1	3.0	...	...	4.6	1.6	4.0	12.4
Ciano 67	11	...	...	3000	2972	2519	3212	...	...	0.5	5.6	7.4	11.4	...	...	6.9	4.8	2.0	11.0	...	...	9.6	8.2	11.3	18.1
Yaqui 50	14	...	...	2854	2941	...	...	...	...	11.4	5.4	...	...	...	...	12.6	15.9	...	...	...	...	8.6	8.2	...	...
Azteca 67	16	...	...	...	3273	...	...	...	...	...	3.3	...	...	...	...	...	2.2	...	...	...	...	...	2.4	...	...
Norteño 67	10	...	...	...	3268	2761	...	...	...	...	2.8	4.6	...	...	...	...	8.1	2.1	...	...	...	...	5.6	11.9	...

* Datos del 1º al 6º International Spring Wheat Yield Nursey (ISWYN) (1965-1970).

El número de localidades aumentó de 34 a 63 en este periodo. ** Rendimiento promedio de 2 a 6 años.

Fuente : [38: 1972, p.16].

adaptación y en que durante los últimos años no ha habido pérdidas importantes por royas en las principales áreas trigueras.

Durante los años setentas se inició la selección de materiales de trigo que pueden cultivarse en áreas tropicales, que combinan tolerancia al aluminio y al calor, con resistencia a Septoria, roña y Helminthosporium, , y que se han difundido en Brasil como variedades rendidoras durante los ochentas. En suma, se ha venido ampliando el espectro de protección en trigo. Hasta inicios de los ochentas, el CIMMYT dio mayor importancia relativa a la formación de resistencia a royas y Septoria, por ser las enfermedades que más reducen la producción a nivel mundial⁸⁰.

Mucho del nuevo avance en resistencia a enfermedades puede provenir del uso de genes de otras especies: ya se han formado trigos experimentales con tales características.

En México, el programa de trigo se ha concentrado en royas, debido a que las demás enfermedades tienen importancia marginal en áreas de riego y/o el CIMMYT forma materiales que cubren esos renglones: "...cerca de la mitad de los investigadores que trabajan con trigo en México enfocan sus actividades a trabajos relacionados con enfermedades, lo que hace que la investigación sobre otros tópicos se haga lenta"[54,71]. A cambio, desde los años cincuentas no ha habido un ataque importante de royas en el país.

3.4.1.2. Estudios de fisiología del trigo [1,54,55,56,57,58 ,59]

Durante 1970-1978 el CIMMYT realizó estudios de fisiología de trigos de primavera en México, para intentar determinar los procesos subyacentes que conducen a un alto rendimiento bajo condiciones de cultivo óptimas.

⁸⁰ "La resistencia estable a las tres royas sigue siendo el primer objetivo del científico del trigo...los mejoradores deben dar atención primordial al desarrollo de nuevas variedades que combinen diferentes fuentes de resistencia a las tres royas" [23].

Los resultados, sin embargo, solo parecen encontrar racionalidad en la tecnología de producción en uso, sin indicar nuevos caminos para incrementar aun más los rendimientos. Por ejemplo, se encuentra que el genotipo de los trigos enanos realizan 20% más de actividad fotosintética, que las variedades de altura normal; que asignan más nutrientes a la espiga que al resto de la planta; que usan más eficientemente los nutrientes del suelo; que las altas temperaturas del ambiente durante la iniciación floral hasta el llenado del grano, disminuye el número de granos por espiga y el número de granos por metro cuadrado, así como el peso individual del grano ; que "...un incremento de un grado centígrado sobre la temperatura promedio, durante enero o febrero, reducen los rendimientos en 4%; igual incremento durante marzo reduce rendimientos en un 3%" en el Noroeste de México [55]. En cambio, descensos pequeños en la temperatura antes de la antesis, incrementa el número de granos por espiga y los rendimientos.

En otras consideraciones, se ha llegado a concluir que el Noroeste de México tiene uno de los mejores medio ambientes del mundo para el producción de trigo, debido a la ausencia casi total de nublados, lo que hace que la radiación aumente conforme se desarrolla el cultivo, favoreciendo una alta fotosíntesis y tasa de asimilación, sin los perjuicios de las altas temperaturas.

Se concluye también: "La experiencia apoya un prudente optimismo acerca de la realización de un mayor potencial de rendimiento (bajo condiciones óptimas)...considero que es probable que los avances en el incremento del potencial de rendimiento será más difícil que en el pasado, y es menos probable que conduzca hacia automáticos incrementos de rendimiento en condiciones de bajos niveles de insumos" [58].

Al estudiar los factores limitantes entre agricultores del Valle del Yaqui para la realización del potencial de rendimiento, se encuentra que las mejoras al manejo del suelo (adición de gallinaza o abonos verdes) mejora la absorción de micronutrientes y los rendimientos.

Actualmente, los fisiólogos centran más su actividad en encontrar formas de mantener los rendimientos de las rotaciones típicas de las áreas trigueras, que en buscar nuevos incrementos al potencial productivo.

Un resultado secundario de los estudios de fisiología del trigo es que orienta en criterios de selección para formar líneas de trigo tolerantes a sequía y/o calor: cercocidad en las hojas y espiga para no aumentar la respiración; alargamiento del período de siembra a la antesis pero no del ciclo total; raíces profundas [59].

Se han seleccionado líneas que incrementan rendimientos, aunque en general son más tardías; este es un defecto que no se acepta por razones económicas: en la generalidad de los casos donde se cultiva trigo bajo condiciones óptimas, se practican rotaciones de cultivos de alto valor económico y, al menos en México, el ingreso marginal por un incremento en los rendimientos del trigo al alargar su ciclo de cultivo, es menor que el ingreso de un cultivo alternativo⁸¹.

3.4.1.3. Cruzas entre trigos harineros de primavera e invierno

Hasta principios de los años sesentas la cooperación entre programas nacionales de trigo estuvo limitada, en tanto la perspectiva era formar variedades de trigo con adaptación específica. En consecuencia, los mejoradores siempre manejaron de manera separada a los trigos harineros de primavera e invierno⁸².

⁸¹ A principios de los sesentas el periodo de siembra a la maduración del trigo era de 130-145 días, y a inicios de los ochentas era de 125-135 días.

⁸² Aparentemente este manejo separado se debió a dos motivos: a) una limitación práctica: hay pocos lugares en el mundo donde las condiciones de temperatura y fotoperiodo permiten florear al mismo tiempo a trigos de primavera y de invierno, bajo condiciones de campo; b) antes de los sesentas, los diversos programas nacionales de trigo venían aumentando rendimientos sin mucha cooperación internacional.

Con el doble propósito de ampliar la base genética de los trigos harineros de primavera e invierno, el CIMMYT inició cruzas de manera limitada en 1968. El programa amplió de manera importante el germoplasma en 1972. Específicamente se ha buscado transferir de uno a otro grupo las características sobresalientes: los trigos de primavera se distinguen por poseer. a) alta capacidad de rendimiento, b) resistencia a las tres royas; y c) calidad de panificación. Los trigos de invierno sobresalen en: a) tolerancia a la sequía y al frío; b) un amplio período de maduración y resistencia a *S. tritici*. Se presupone que cualquier intercambio de genes es deseable y podría contribuir a elevar rendimientos y amplia adaptación en ambos grupos de trigo.

Secundariamente se ha buscado formar trigos de primavera tolerantes al frío o sequía pero con buen rendimiento; necesarios para diversas zonas trigueras marginales.

El CIMMYT realiza las cruzas (simples, dobles y triples); enseguida selecciona se lecciona por resistencia a enfermedades y tipo agronómico, y las líneas con hábito de primavera se distribuyen para selección en varias localidades de México y en el IBWSN; las mejores líneas avanzadas se prueban por rendimiento en el CIANO y a través del ISWYN, international spring wheat yield nursery. Estos materiales, en diferente grado de avance, se cruzan con los mejores trigos de primavera, con el objeto de transferirles características útiles provenientes de los trigos de invierno.

En los ensayos internacionales de selección y rendimiento de trigos de primavera, líneas procedentes de estas cruzas han alcanzado desde 1976 los mayores rendimientos: por ejemplo, más del 25% de las líneas rendidoras en el décimo tercer IBWSN, 1979-1980 fueron líneas avanzadas provenientes de trigos de primavera cruzados con trigos de invierno... en la actualidad (1990), las mejores líneas de trigos harineros del CIMMYT provienen de cruzas de primavera por invierno que poseen 10% más potencial de rendimiento que los mejores trigos enanos de hábito de primavera puros... la cruas veery's han producido numerosas variedades de alto rendimiento en México y otros

países en los últimos 10 años [37 y 38]. Trece de las quince variedades de trigo harinero liberadas en México durante los ochentas y noventas tienen como antecesor a la mencionada línea veery's (Ver Diagrama 2).

Otros resultados de esta estrategia es que desde 1978 se han seleccionado líneas tolerantes al frío y a la sequía, resistentes a Septoria, y con buen rendimiento.

3.4.1.4. Cruzas intergenéricas de trigo [38, 100]

En busca de nuevas fuentes de germoplasma para hacer la planta de trigo más versátil, reducir pérdidas en áreas de temporal por alta incidencia de enfermedades, presencia de sequía y/o salinidad, el CIMMYT ha realizado cruza interespecíficas: trigo con pastos silvestres, pertenecientes al género Triticum y Aegilops, que tienen semejanza genética. El resultado de quince años de trabajo, superando las barreras a la recombinación de genes mediante cultivo de tejidos y duplicación de cromosomas, son quinientas plantas de trigos hexaploides con alguna(s) característica(s) de resistencia a roya, Septoria, Fusarium, y tolerancia a sequía y salinidad, que -se dice- los mejoradores pronto podrán usar en sus programas convencionales.

Las cruza de trigo con gramíneas de otros géneros de la tribu Triticeae: Agropyron, Haynaldia, Secale y Hordeum han formado plantas de trigo resistentes a enfermedades y tolerantes al calor. No hay información detallada de los avances específicos, aunque se plantea haber transferido al trigo resistencia al tizón foliar, carbón parcial, roña y tolerancia a la salinidad; además con calidad del grano, buen rendimiento y tipo agronómico. Estos resultados amplían la **base genética del mejoramiento convencional** y pueden contribuir fuertemente a la producción de trigo en áreas no tradicionales.

3.4.1.5. Trigos híbridos

El hallazgo del mecanismo de esterilidad citoplasmática masculina y de los genes restauradores de la fertilidad del polen en trigo, durante los años cincuenta, planteó un nuevo camino de elevar la productividad de este cereal⁸³. Este mismo principio en maíz y sorgo facilitó la producción de semilla híbrida en gran escala en varios países.

Durante 1962, el CIMMYT inició estudios sobre trigos híbridos, encontrando que el vigor híbrido de cruas entre variedades nacionales y, de material nacional y de variedades extranjeras, elevaba los rendimientos en 18 al 30% sobre el progenitor más rendidor: una magnitud similar a la que se presenta en los híbridos comerciales de maíz y sorgo. En principio, esto hacía deseable la producción de semilla de trigos híbridos [122], pero varios problemas técnicos han retardado su aplicación.

Aunque el sistema de esterilidad citoplasmática masculina es en principio satisfactoria, para la producción comercial de trigos híbridos el sistema de restauración de la fertilidad del polen presenta dificultades que no han permitido la producción comercial de semilla⁸⁴. Como las dificultades no son simples, el CIMMYT abandonó los estudios sobre los trigos híbridos a inicios de los setentas. El INIA nunca dedicó esfuerzos a esta línea de investigación.

⁸³ Desde los años cincuentas se viene investigando en varios cultivos el uso de productos químicos con este mismo propósito [97].

⁸⁴ Esto se debe a que: a) la restauración de la fertilidad de líneas de trigo citoplasmicamente estériles es un porcentaje variable, i.e. la producción de semilla híbrida; y b) cuando esta semilla se siembra, cierto porcentaje puede resultar estéril, debido a que no siempre las líneas restauradoras son homocigóticas en los genes restauradores de la fertilidad del polen. Estos resultados indeseables se deben a que en vez de un gene dominante utilizado en maíz y sorgo para producir semilla híbrida, existen dos o tres genes restauradores de la fertilidad en el trigo, que además pueden resultar modificados por el germoplasma del progenitor no restaurador [62,122]. Todos estos detalles técnicos elevarían el costo de producción de la semilla comercial de trigo que se pudiera producir.

Desde entonces, mucha investigación básica se ha realizado en países desarrollados sobre la producción de semilla híbrida en cultivos autogamos, mediante la manipulación genética o química. En los últimos años se informa que ya es viable la producción comercial de semilla de trigo híbrido usando productos químicos para inducir esterilidad masculina y/o restablecerla [97]. Aunque al parecer, la producción de semilla híbrida de trigo seguirá siendo parte de un programa de mejoramiento más amplio, ya que "...el éxito continuado de los programas de mejoramiento y producción de híbridos dependerá, en gran parte, de la producción continuada de mejores líneas básicas y de variedades que pueden convertirse en progenitores para la productividad de híbridos mejores" [122].

3.4.1.6. Trigos cristalinos [38,115]

Las necesidades de México de trigos cristalinos han sido hasta ahora pequeñas (alrededor de 100,000 toneladas anuales o 2% de la producción nacional de trigo). Durante los cuarentas y cincuentas se generaron variedades de trigos duros (ver Cuadro 14, inciso b) con rendimientos y características similares a los trigos harineros. Después de 1960, el programa nacional de trigo dedicó pocos esfuerzos a su mejoramiento.

El importante incremento en los rendimientos de los trigos cristalinos desde los años sesentas, a nivel internacional y en México, se debe a la actividad del CIMMYT.

La OEE formó la primera variedad de trigo duro, Tehuacán 60: altura normal, resistencia a royas y adaptada a condiciones de riego y temporal, pero con un rendimiento menor que los trigos harineros.

Durante 1958-1965 se aplicó al mejoramiento de trigos cristalinos la estrategia que venía teniendo éxito en trigos harineros: a) ampliación del germoplasma original a cruzar: uso de las VAR de trigos harineros como fuentes de caracteres agronómicos

deseables; b) introducción del factor de enanismo; y c) selección alternada para obtener insensibilidad al fotoperíodo y resistencia a enfermedades.

Para 1970 se habían desarrollado variedades enanas, que bajo condiciones de cultivo óptimas en México rendían también como los mejores trigos harineros; y bajo condiciones de temporal algunas variedades superan a los mejores trigos harineros (véase Gráfica 18). La estrecha base genética de estas variedades se corrigió ampliando el germoplasma original y con el inicio, en 1970, de los ensayos internacionales.

Así, durante los setentas, los esfuerzos de mejoramiento se centraron en estabilizar los rendimientos a través de ampliar la base genética y resistencia a enfermedades, y en mejorar la calidad del grano.

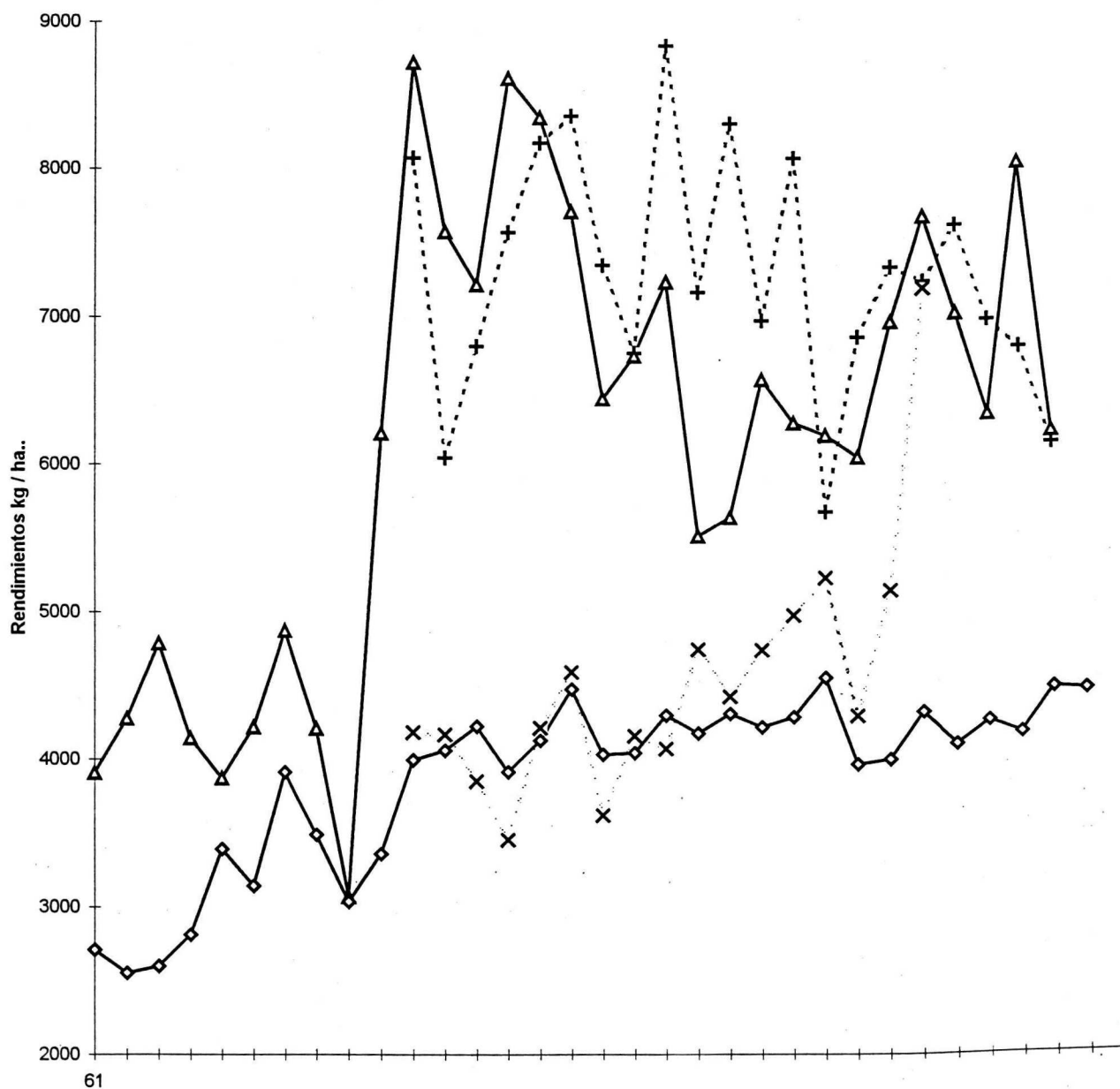
Durante 1974-1980 las pruebas internacionales de trigos cristalinos encontraron amplia adaptación y rendimientos iguales a los trigos harineros, pero un descenso en la resistencia original a las royas, defecto que disminuyó cuantitativamente en los ochentas.

Las variedades liberadas en los países en desarrollo hasta 1991, directa o indirectamente formadas por el CIMMYT, se distinguen por buen rendimiento potencial (véase Cuadro 17, inciso b), calidad industrial, resistencia parcial a royas y a Septoria, pero susceptibles a otras enfermedades típicas del trigo.

Bajo las condiciones experimentales del CIANO, los trigos duros han rendido un poco más que los trigos harineros durante 1980-1991 (véase Gráfica 18). Estudios de avances en el mejoramiento genético llegan a la conclusión de que "...es preocupante el estancamiento del potencial de rendimiento de trigos duros y harineros (en los últimos seis años) y debe clarificarse cómo pueden lograrse mayores avances" [115, p.154].

La cruce con trigos de invierno ha producido líneas tolerantes a la sequía y al frío. Las expectativas más prometedoras de dotarlos de plasticidad biológica en ambientes no

Gráfica 18. Rendimiento de trigos duros en el CIANO y en los ensayos internacionales, en comparación con el trigo harinero durante 1960-1993.



Ciclo de cultivo 1960-1961 a 1992-1993.

- + = Promedio de rendimiento de las cinco mejores líneas de trigo duro sembradas en el CIANO y participantes del IDYN, International Durum Yield Nursery
- Δ = Promedio de rendimiento de las mejores cinco variedades mexicanas de trigo harinero sembradas en el CIANO y participantes del ISWYN, International Spring Wheat Yield Nursery.
- x = Promedio de rendimiento de las cinco mejores líneas de trigo duro en todas las localidades del IDYN
- ◇ = Promedio de rendimiento de todas las localidades de la cinco mejores variedades de trigo harinero en el ISWYN.

Fuente : [35,36,37, 89,117,118,119].

óptimos está en aprovechar genes de resistencia a la sal y a las otras enfermedades diferentes a royas, presentes en gramíneas silvestres.

3.4.1.7. Triticale [9,113,147]

En una perspectiva internacional, el triticale ha pasado por tres períodos: a) de finales del siglo pasado a los años cuarentas, cuando se considera más como curiosidad científica que como nuevo cultivo potencial; b) de los años cuarentas a inicios de los sesentas: algunos programas nacionales de mejoramiento, trabajando de manera independiente, realizan más investigación básica que avances en su mejoramiento; los rendimientos del triticale se mantuvieron en el nivel de 50% de los del trigo (véase Cuadro 19); y c) desde mediados de los sesentas a la actualidad se ha fomentado el intercambio de materiales y resultados de investigación entre programas nacionales, operando en una dimensión internacional. Los ensayos internacionales de triticale iniciaron en 1970⁸⁵.

A finales de los sesentas, el CIMMYT aplica al triticale la estrategia que dio origen a las VAR de trigo harinero y para ampliar la base genética produce mediante la técnica de cultivo de embriones y de aplicación de genes con colchicina cientos de triticales primarios. Con la transferencia del triticale del factor de enanismo y otras

⁸⁵ La estrategia se caracteriza por: a) utilizar una amplia fuente de variación genética (procedente de varios países o formando nuevos triticales primarios); b) introducir el factor de enanismo y seleccionando en medioambientes contrastantes (Toluca, CIANO, Winnipeg); c) realizar dos generaciones al año para acelerar resultados; d) seleccionar por características que favorezcan un alto rendimiento, amplia adaptación, precocidad y resistencia a enfermedades; e) probar cada año las mejores líneas de diversos programas (nacionales e internacionales) en el ITYN, international triticale yield nursery -que maneja triticales de primavera- bajo una diversidad de medioambientes y condiciones de manejo y f) intercambiar materiales avanzados de experimentación.

Desde 1976 se realiza el Ensayo de Rendimiento de Triticale en Europa (ETYN, european triticale yield nursery), manejando solo triticales de invierno; se realiza bajo los mismos principios que el ITYN.

Cuadro 19. Rendimientos medios de las mejores líneas de triticales comparados con los trigos.

Localidad y año	Triticales			Trigos testigos		
	Núm. de líneas	Rend. medio	Rend. líneas	Núm de testigos	Rend. medio	Mejores variedades
		kg/ha	kg/ha		kg/ha	kg/ha
CIANO, Invierno 1967-68	22	2663	3196	3	4213	5207
Toluca, Verano 1968	23	2691	3190	--	--	--
El Batán y Toluca, Verano 1969	10	3229	3972	3	3554	3645
CIANO, Invierno 1969-70	10	4492	4990	3	5417	6220
Navojoa, Invierno 1969-70	18	5066	6282	4	5321	6491

* Ensayo Internacional de Rendimientos de Triticale 1969-70.

Fuente : [38: 1969-7, p. 75].

Cuadro 20. Avances en el desarrollo de líneas de triticales de alto rendimiento en el CIMMYT, 1966-1967.

Vivero en Sonora I T Y N*

Año en ensayos avanzados	Identidad	Rendimiento kg/ha	Altura planta (cm)	Rendimiento kg/ha	No de localidades
1967-68	Bronco X224	2356 N	150		
1968-69	Arm.T909	3100 N	125		
1969-70	Badger PM122	4492 N	125	2578	39
1970-71	Arm.X208-14y	5490 E	125	3272	17
1971-72	Cinnamon	5550 E	100	3274	34
1972-73	Maya II x Arm.	6300 E	90	3506	25
1973-74	Yoreme	7000 E	90	4200	47
1974-75	Beagle	7500 E	110	4480	45
1975-76	Mapache	8000 E	111	4483	60
1976-77	KLA-M2A	7802 E	100	4105	56

* Promedio de todas las localidades en el International Triticale Yield Nursery.

N= altura normal ; E= con el gene de enanismo.

Fuente : [38: 1979, p.83].

características sobresalientes del trigo harinero se eleva paulatinamente el rendimiento, aunque sin igualar todavía a éste [113, 147] (Cuadro 19).

Para 1976 se habían formado líneas que reducían cuantitativamente defectos del grano e infertilidad parcial de la espiga y, por primera vez, el rendimiento potencial iguala al del trigo en condiciones óptimas de cultivo (ver Cuadro 20 y Gráfica 19).

Los resultados de diversos programas nacionales y del ITEYN, international triticales elite yield nurse, muestran que durante los ochentas, el triticales de primavera tiene amplia adaptación y un potencial de rendimiento mayor que el trigo en condiciones de suelos ácidos, de baja fertilidad o con toxicidad de aluminio en zonas altas “tropicales” y en zonas templadas marginales⁸⁶: por su vigor y resistencia a royas, mediana resistencia a Septoria y a Fusarium [9, 38].

Estas características explican que sea en los países desarrollados donde se cultiva actualmente la mayor superficie de triticales (véanse Cuadros 21 y 22), para usarlo como forraje y muy poco para alimento humano.

Aunque los rendimientos en condiciones óptimas han mejorado, hay problemas no resueltos: arrugamiento del grano⁸⁷, calidad harinera similar pero no igual que el trigo. Por ello no se busca ni se espera que compita con el trigo producido en áreas de riego.

Las variedades de triticales liberadas en México rinden bien en condiciones de temporal, con suelos arenosos y ácidos, y son menos exigentes en niveles de fertilización

⁸⁶ En Francia, por ejemplo, se encuentra que “esta especie (el triticales) parece más flexible y mejor adaptada que el trigo en medioambientes difíciles, pero tiene menor valor en situaciones favorables...” [9, p. 507].

⁸⁷ Los problemas de arrugamiento del grano y germinación prematura son derivados de hacer cruces entre géneros separados: “...las aberraciones nucleares (del triticales) son la principal causa del arrugamiento del grano durante su maduración aunque esto no excluye la presencia de otros factores” [101, p. 59].

Cuadro 21. Variedades distribuidas y superficie bajo cultivo de Triticale a nivel mundial.

	1979		1984		1985	
	Variedades registradas	Superficie has	Variedades registradas	Superficie has	Hábito de crecimiento	Superficie has
Argentina	--	--			P	10,000
Australia	0	0	9	137,000	P	160,000
Austria			1	?	I	--
Bélgica	0	0	2	400	I	400
Brasil	--	--	2	1,500	P	1,500
Bulgaria	0	0	2	10,000	I	10,000
Canadá	--	--	2	2,000	P+I	6,500
Chile					P	--
China	--	--	SI	--	I	25,000
Dinamarca	--	--	2	25*		
EE.UU.	--	--	4	60,000	I+P	60,000
España	1	5,000	4	9,000	P	9,000
Francia	0	2,000	4	100,000	I+P	120,000
Grecia	--	--	4	150*	P	--
Hungría	2	3,000			I	5,000
India					P	500
Italia	1	400	1	10,000	P	15,000
Kenya					P	--
Luxemburgo	--	--	1	400	I	400
Madagascar					P	--
México	--	--	6	8,000	P	8,000
Nueva Zelanda	--	--	2	150	I+P	150
Noruega	--	--	0	0	I	1,000
Países Bajos	--	--	2	50		
Pakistan					P	
Polonia	0	0	2	20,000	I	40,000
Portugal	--	--	6	4,000	P	7,000
Reino Unido	0	1,000	2	1,000	I	10,000
Rep. F. Alemana	--	--	6	10,000	I	27,000
Rep. D. Alemana	0	0	4	6,000		
Rumania	0	0	--	--		
Sudafrica					I+P	15,000
Suecia	0	0	0	0		
Suiza	0	0	1	120*	I	5,000
Tanzania					P	380
Túnez	--	--	5	5,000	P	5,000
Turquía	--	--	1	0		
URSS	SI		10	250,000	I	250,000
Yugoslavia			1	0		
TOTAL						771,830

El guión indica ausencia de información

* Producción de semilla

P= hábito de primavera; I= hábito de invierno.

Segun Bernard and Bernard [9], el triticale se adapta a Polonia, donde el 60% de la tierra cultivable son suelos ácidos y/o semiáridos; a las regiones con suelos pobres en Francia y Australia; a Portugal donde el 80% de los suelos cultivados son pobres, ácidos y con temporal errático y al sur del Brasil.

Fuente: [9, p.XVI; 38: 1985]

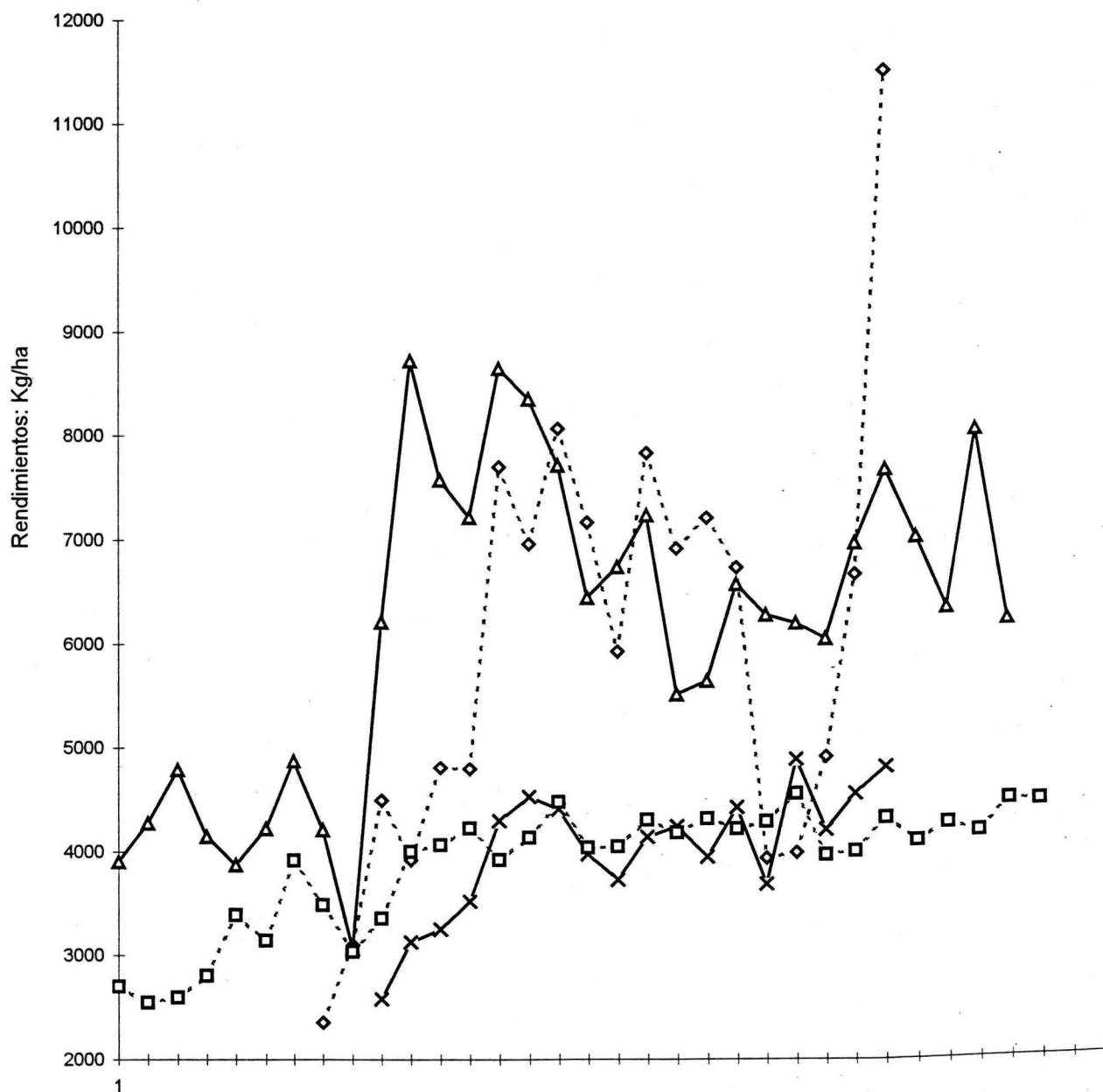
Cuadro 22. Zonas potenciales para la producción de Triticale en países en desarrollo
(miles de ha).

País	Substitución de cultivos	Zonas nuevas	Total	Características de las zonas
Africa Oriental				
Burundi	6		6	HL/AS
Etiopía		35		HL/AS
Kenya	35		35	HL/AS
Lesotho		10	10	HL/AS
Madagascar		113	113	HL/AS
Malawi	1	10	11	HL/AS
Rwanda	4		4	HL/AS
Tanzania	5		5	HL/AS
Uganda	5		5	HL/AS
Zambia		1,500	1,500	HL/AS
Africa de Norte				
Marruecos	280		280	SA
Argelia	170		170	SA
Túnez	100		100	SA
Libia	45		45	
Asia				
India	425		425	
Pakistan	90		90	
China	500		500	HL/AS
Turquía	700		700	SA
Siria	75		75	SA
Jordania	10		10	SA
Afganistán	130		130	SA
Irak	100		100	SA
Irán	75		75	SA
Birmania		150		HL/AS
Tailandia		50		HL/AS
Vietnam		30		HL/AS
Filipinas		35		HL/AS
Malasia		5		HL/AS
Indonesia		250		HL/AS
Laos		20		HL/AS
América Latina				
Perú	25		25	HL/AS
México	50		50	HL/AS
Brasil	450	12,500	12,900	HL/AS
Ecuador	10		10	HL/AS
TOTAL	3,291	14,708	17,999	

HL= sonas altas tropicales; AS= suelos ácidos; SA= semiaridas.

Fuente: [40:1985, p.78]

Gráfica 19. Rendimiento del triticale en el CIANO y en los ensayos internacionales, en comparación con el trigo harinero durante 1960-1992.



Ciclo de cultivo de 1960-1961 a 1992-1993.

- ◇ = Promedio de rendimiento de las mejores líneas de triticale sembradas en el CIANO.
- Δ = Promedio de rendimiento de la cinco mejores variedades comerciales mexicanas de trigo harinero sembradas en el CIANO y participantes del ISWYN.
- X = Promedio de rendimiento de las mejores cinco variedades de triticale en todas las localidades del ITYN
- □ = Promedio de rendimiento de las mejores cinco variedades de trigo harinero en todas las localidades del ISWYN.

Fuente : [35,36,37, 89,117,118,119].

que el trigo. La fertilidad de la espiga es casi total y el arrugamiento del grano se ha reducido.

Hasta ahora, las superficies cultivadas (en Michoacán y edo. de México) son pequeñas. Es probable que su importancia empiece a aumentar al reducirse el agua disponible en los distritos de riego a productores de trigo.

3.4.2. Agronomía del trigo después de 1960

El manejo del cultivo del trigo en México ha variado poco desde la generación del paquete tecnológico a finales de los cincuentas. Las dosis y tipo de fertilización y otras labores de manejo (variedad, cantidad de semilla por hectárea; fecha y forma de aplicación, herbicidas) se han hecho más precisas por localidad y/o tipo de rotación de cultivos. Por ejemplo, el control de malezas a base de herbicidas puede substituirse por la siembra del trigo en surcos para un control mecánico: hay eficiencia de control y reduce costos de producción.

El hecho de que el binomio semillas mejoradas y altas dosis de fertilizantes químicos sean los mayores contribuyentes del incremento de rendimientos por área ha descuidado, como plantea Cardwell [31], el "...estimar los aspectos negativos de largo plazo del cambio cultural y prácticas de manejo" en las pérdidas o no realizaciones del potencial productivo por pérdidas de suelo y agotamiento de la materia orgánica: por no incluir leguminosas en las rotaciones típicas y/o en asociación, y cambios indeseables en la química del suelo.

Actualmente el INIFAP no realiza (ni aplica de manera intensiva resultados de) investigación sobre vías biológicas de conservación de la fertilidad del suelo.

El manejo actual plantea varias interrogantes: una revisión de los factores limitantes en los rendimientos de los productores de trigo en el Valle del Yaqui, que se

han mantenido estables en los últimos años, a pesar de la liberación de nuevas variedades y recomendaciones mejoradas de manejo, encuentra que [43]: los análisis de suelo indican bajos niveles de nitrógeno, en tanto que los altos niveles de aplicación de fertilizantes químicos indican lo contrario; hay deficiencias potenciales de fósforo y ninguna deficiencia de potasio y micronutrientes; es baja la cantidad en materia orgánica. Se concluye que se debe investigar más la respuesta de los rendimientos del trigo a aplicaciones regulares de abonos verdes y estiércoles al suelo.

A nivel de tecnología experimental, el CIMMYT retoma los planteamientos de los años cincuentas [44]: asociar trigo-leguminosas en áreas de temporal, donde hay escasez de lluvias y un bajo uso de fertilizantes químicos. Biológicamente, el sistema es muy eficiente: incrementa la producción del grano, forraje y se adiciona nitrógeno al suelo, mejorando los ingresos del productor y la estabilidad de rendimientos.

Se experimenta también la siembra a surco y en camas, y bajo condiciones de labranza mínima, complementado con una fertilización más precisa.

3.4.3. Estimaciones de los incrementos en el potencial de rendimiento del trigo en México

A partir de experimentos realizados en el CIANO, usando un grupo de variedades representativas liberadas en México, Fisher y Wall [54] estimaron un incremento total en los rendimientos potenciales del trigo del 87% durante 1950-1975 o 126 kg/ha/año; donde el 25% (=31 kg/ha/año) corresponde a mejoramiento genético, otro 25% a resistencia al acame y el 50% restante a fertilización y manejo del cultivo. Ver Cuadro 23.

Waddington [146] encuentra que las variedades de trigo harinero adaptadas al Noroeste de México incrementaron su rendimiento potencial en 1.1% anual durante 1950-82, i.e., alrededor de 59 k/ha/año.

Cuadro 23. Avance estimado en rendimientos de trigo por décadas. Experimentos realizados en el CIANO bajo condiciones óptimas (los datos provienen de Yaqui 50, Náinari 60 y Yécora 70, para el periodo 1970-1975).

Fuente del avance	1950-1960	1960-1970	1970-1980
Fertilidad de suelos	Pequeño	Moderado (+ 25%)	Ninguno
Resistencia al acame	Pequeño	Moderado (+ 25%)	Ninguno
Otros factores genéticos	Pequeño	Moderado (+25%)	Moderado + 25% (?)
Avance total en rendimientos	+ 15%	+ 75% (revolución verde)	+25% (?)

Fuente: Fisher y Wall [54].

Hernández [77] estima que el avance genético durante 1945-1982 ha sido casi lineal y ascendente, con una tasa de incremento anual del 2%, equivalente a 60 kg/ha/año.

Los resultados anteriores son congruentes con diversas estimaciones de las mejoras en los rendimientos unitarios de los principales cultivos en varios países. Por ejemplo, como señalan Duvick y Burton[29, 49] el mejoramiento genético en maíz, trigo, sorgo de grano y soya en Estados Unidos durante 1930-1980, es responsable del 50% o más del avance en los rendimientos unitarios por área. Específicamente, el mejoramiento genético del maíz aportó el 58% en los incrementos netos del potencial productivo en ese período (4.3 ton/ha); la aplicación de fertilizantes nitrogenados un 19% y el control de malezas un 23%. Todo esto ha ocurrido en ambientes óptimos o casi óptimos. Más importante aún es que el mejoramiento genético (convencional o no) continuará siendo el mayor contribuyente de la mejora de los rendimientos en medio ambientes desfavorables en trigo y otros cultivos [27].

3.4.4. Beneficios económicos del cambio tecnológico

Los beneficios económicos del cambio tecnológico en la producción de trigo son de varios tipos: a) aumento en el ingreso del productor; b) reducción o eliminación de las importaciones del grano; y, del lado del consumo, c) un ritmo de aumento del precio

unitario interno del grano y sus derivados menor que el índice nacional de precios al consumidor. Las estimaciones realizadas parten de cuantificar el excedente del consumidor.

Desde mediados de los cincuentas el productor triguero pudo mejorar sus ingresos vía incremento de los rendimientos. Esta mejora se reforzó con la firme política de subsidiar al productor, al mantener precios nacionales de garantía del trigo mayores al precio internacional (véase Cuadro 10 y Gráfica 11)

Para Ardito [4], la inversión en el programa de investigación agrícola sobre trigo en México durante 1943-1964 tiene una tasa interna de retorno en el rango del 60 al 104%, lo que equivale a un monto promedio anual de beneficios netos para el economía de 79 a 203 millones de pesos de 1958-1960.

Por un procedimiento similar, pero considerando que los rendimientos de los productores son menores al potencial productivo obtenido en condiciones experimentales, Becerra [8] estima que el valor de los beneficios netos atribuible exclusivamente al mejoramiento genético de trigo realizado por el INIFAP y el CIMMYT durante el período de 1961-1987, representa 4.46 veces el presupuesto agrícola total ejercido por el INIA-INIFAP en ese mismo período o 1.28 veces el valor de la producción agrícola de 1986. También obtiene una tasa interna de retorno del 114% para las inversiones realizadas en investigación en el programa de trigo. Estos altos valores se explican porque el período estudiado corresponde a los inicios y logros de la “revolución verde”.

No considera las beneficios implícitos de la investigación, i.e., las pérdidas que podrían presentarse en la producción de trigo por enfermedades o gastos en control químico, si se suspendiera la investigación, o en su caso, por las importaciones. Tampoco los beneficios obtenidos por la industria molinera y panificadora en las mejoras de calidad industrial.

IV.RESULTADOS

La revolución intelectual en varios campos de las ciencias a finales del siglo pasado dio origen, entre otras cosas, a los paradigmas agrícolas; su desarrollo y posterior integración con la teoría estadística, sentó la bases de la capacidad de investigación agrícola, lo que ha contribuido a la generación de tecnologías agrícolas adaptadas a condiciones específicas en varios países, siendo la producción del maíz híbrido el primero y más importante logro.

El programa de investigación agrícola que desarrolló en México la Oficina de Estudios Especiales durante 1943-1960 sobre trigo logró importantes avances en la producción y en la productividad por área y por trabajador ocupado, por varias consideraciones: a) antes de 1943 no se había usado en México, de manera intensiva, la experimentación agrícola como instrumento para generar nuevas tecnologías frente a problemas limitantes de la producción locales; b) En los inicios de la “investigación normal” de una ciencia hay rápidos progresos, debido a que se abordan problemas que tienen una solución asegurada; c) la abundancia y calidad de los recursos productivos (tierra, agua y clima) en los distritos de riego, hacia donde primero se orientó la investigación y d) el enfoque de investigación y sistema de trabajo de la OEE-SAG para generar las nuevas tecnologías de producción de trigo.

Para definir las tecnologías a desarrollar, investigadores experimentados, con una perspectiva internacional de los avances en la agricultura y conocimiento directo del “estado de las artes” en agronomía o modo de hacer las cosas en investigación, identificaron y jerarquizaron los problemas de la producción del trigo existentes en México a principios de los años cuarentas, teniendo como antecedente los, para entonces, recientes e importantes avances en la tecnología agrícola de Estados Unidos.

Para realizar la investigación adaptativa dispusieron de un equipo interdisciplinario capacitado (genetistas, patólogos, entomólogos, fisiólogos, agrónomos,

bioquímicos, etc.), asesores externos expertos, coordinación única, continuidad, recursos suficientes y tiempo necesario para madurar los avances.

El ambiente institucional agrícola de México y su operación se modificó, en parte, para responder a la urgencia de incorporar a la producción los insumos materiales y conocimientos de manejo de la tecnología creada por la OEE.

En el esquema conceptual del modelo de desarrollo inducido (MDI), a inicios de los años cuarenta la agricultura mexicana de riego tenía, a nivel general, una dotación balanceada de tierra y mano de obra, aunque a nivel de explotación había diferencias: para el pequeño productor, generalmente ejidatario, la tierra era el factor relativamente más caro que el trabajo; para la gran explotación, interesada en la producción a escala, ocurría lo contrario. Para ambos, los componentes de tecnología química y mecánica eran relativamente caros, si se consideran los estándares de productividad entonces prevalecientes. En las labores de preparación del suelo predominaba el uso de tracción animal. Los agrinsumos eran generados por el mismo sector agrícola. La tecnología mecánica sólo se usaba para realizar la cosecha del trigo, parcial o totalmente.

Así, de acuerdo al MDI, la dotación de recursos de los productores trigueros o las necesidades sociales de investigación, indicaban que las estaciones agrícolas experimentales deberían generar un paquete tecnológico que diera una importancia mayor a las tecnologías que incrementan los rendimientos por área y no disminuyeran significativamente la cantidad de mano de obra ocupada en la producción de trigo: i.e., debería impulsarse a la tecnología biológica, química y agronómica. La mecanización debería ser más bien gradual y complementaria.

En este sentido, los esfuerzos de investigación y avances significativos tuvieron como centro al desarrollo de nuevas plantas de trigo o tecnología biológica, para superar los riesgos de la producción y mejorar la productividad de los factores. Se desarrollaron una serie de nuevas semillas de trigo en fases sucesivas, acumulativamente mejoradas,

que superaban las limitaciones a la producción: resistencia a las royas primero, mayor potencial productivo después; seguidas por precocidad, buen tipo agronómico y calidad harinera.

Paralelo a la generación de las nuevas semillas se definieron fórmulas, fechas y métodos de aplicación de fertilizantes químicos para complementar y/o restituir los nutrientes extraídos por las cosechas a los suelos con un manejo intensivo de producción en las diferentes regiones trigueras: el nitrógeno se convirtió en el insumo que más incrementaba rendimientos por área cultivada; por cada kilogramo de nitrógeno aplicado a las nuevas variedades de altura normal, liberadas durante los años cincuentas, se obtenían de 12 a 45 kilogramos de grano de trigo. Visto como inversión: cada peso invertido en fertilizantes generaba de 4 a 10 pesos. En esos años no era necesario aplicar fósforo y potasio. La tecnología química y biológica se convirtió, desde entonces, en un binomio inseparable.

La tecnología agronómica aportó un manejo global de los factores acorde con el desarrollo fenológico de la planta: fechas, profundidad, densidades y formas de siembra; número de riegos y forma del control de agua; tipo y forma de aplicación de agroquímicos para el control de malezas, contribuyendo a elevar los rendimientos por área.

Sin embargo, en el marco de una estrategia económica de apoyo a la industrialización del país, durante los años cuarenta y cincuenta, donde a la agricultura se le asignaba cumplir con sus funciones para el desarrollo, se definieron políticas económicas que modificaron los precios de los factores. En particular: a) salarios agrícolas y no-agrícolas controlados: se incrementaban a ritmos menores a la inflación; b) el establecimiento de un precio real de garantía del trigo mayor al internacional durante 1953-1970; c) el mantenimiento de un tipo de cambio fijo (y en términos reales moneda sobrevaluada que estimulaba las importaciones) durante 1954-74; d) los subsidios a la producción interna de fertilizantes y a su importación durante los

cincuentas y sesentas; y e) el apoyo con crédito de avío y refaccionario a los productores que empezaban a usar la nueva tecnología durante 1953-1963, período clave de adopción generalizada del paquete tecnológico, distorsionaron los precios y ventajas relativas de los factores del productor triguero. Finalmente, al hacer mejoras en la productividad por área, junto con un precio real artificialmente alto del trigo, incrementaron substancialmente los ingresos del productor y abarataron relativamente los precios de los fertilizantes químicos y de la maquinaria agrícola importada, como conceptos de inversión.

La segunda y tercera generación de semillas mejoradas de trigo liberadas durante los años cincuentas, hicieron atractivo sustituir tierra por insumos industriales, si se complementaban, como ocurrió, con un descenso relativo de los precios de los fertilizantes y maquinaria agrícola en términos del producto obtenido por el agricultor.

La tecnología agronómica en su primera etapa, más que disminuir la cantidad de trabajo usada por hectárea, la reasignó en otras labores, complementando a las otras tecnologías en su propósito de elevar los rendimientos por hectárea.

Las ventajas reales de aplicar el nuevo paquete tecnológico hizo que para finales de los años cuarenta e inicios de los cincuentas, las nuevas semillas mejoradas se usaran en la mitad de la superficie de riego sembrada de trigo e iniciara la adopción generalizada de los fertilizantes químicos y un mejor manejo de los factores productivos. La velocidad de adopción de los insumos más productivos, permiten especular que la revolución verde en la producción de trigo se habría producido aún sin una mecanización excesiva.

Agreguemos que paquetes tecnológicos similares se estaban desarrollando para cultivos alternativos o en rotación con el trigo.

Así que la disposición de mayores ingresos por parte del productor triguero, la existencia en el mercado de los nuevos insumos y maquinaria agrícola con facilidades para su adquisición, impulsaron una acelerada mecanización de la mayoría de labores de preparación del suelo de todos los cultivos de las zonas trigueras de riego del país. La justificación técnica era uniformidad, precisión y rapidez de las labores, cuando se requiere un manejo intensivo del suelo. La mecanización fue tan rápida que a principios de los años sesentas se detectó que había excesos de maquinaria en muchos predios de productores de trigo. En condiciones de un mercado distorsionado del precio de los factores productivos se sustituyó gran cantidad de mano de obra, aunque ésta no fuera el factor relativamente más caro.

Para 1960 se había completado la total adopción de las variedades mejoradas de trigo de altura normal y el paquete tecnológico asociado. También se había logrado la total autosuficiencia del país en trigo.

El advenimiento de las VAR dio un impulso aun mayor a la nueva tecnología. La introducción del factor de enanismo modificó la estructura y fisiología de la planta de trigo, haciéndola más eficiente en la asimilación de nutrientes del suelo y en su conversión a grano. El mejoramiento genético produjo con esto el mayor avance en el potencial de rendimiento del trigo en lo que va del siglo, y no es previsible que en un futuro próximo se repita algo similar.

En términos de las teorías del desarrollo, la generación de las nuevas tecnologías (que en esencia sustituyen factores caros, introducen nuevos insumos y modifican los coeficientes insumo-producto), se convirtieron en fuentes de crecimiento económico, porque: a) se genera más producto con la misma cantidad de insumos; b) se impulsa la generación, producción y comercialización de una gama de nuevos agroinsumos por parte del sector industrial; c) la adopción generalizada de los nuevos insumos se hace bajo una nueva matriz insumo-producto, que junto con los efectos del multiplicador de la inversión, activan el comercio de insumos, multiplican el producto agrícola y el

crecimiento regional; e) al incrementar la tasa de crecimiento del producto agrícola y alcanzar la autosuficiencia nacional se substituyen importaciones y se ahorra divisas; f) el desplazamiento de mano de obra en la agricultura por la mecanización crea grandes reacomodos de mano de obra para ser absorbida, en parte, por la industria y los servicios. La interacción entre agricultura e industria, cuando es complementaria, y en la medida que lo sea, es una fuente de crecimiento económico.

Debe señalarse que el programa de trigo de la OEE además de la gestación y mejora de los insumos productivos, generó innovaciones en el modo de llevar a cabo la investigación, particularmente el mejoramiento genético, haciéndolo más versátil y dinámico: a) para su época, manejó una amplia y representativa colección de tipos sobresalientes de trigo, como base para desarrollar las nuevas semillas; b) obtuvo resultados, no esperados al principio, al practicar una selección alternada en medioambientes contrastantes: lo que permitió identificar materiales con amplia adaptación y mejor resistencia a enfermedades; c) realizó dos ciclos de experimentos al año, reduciendo a la mitad el tiempo necesario para desarrollar una nueva variedad; e) introdujo el factor de enanismo a los trigos harineros, incrementando de 4.5 toneladas al rango de 7 a 8 ton/ha el potencial de rendimiento.

De hecho, el CIMMYT nace como organismo internacional para ampliar y diversificar las innovaciones “de procedimiento” a) y b) anteriores, a través de los ensayos internacionales de selección y rendimiento en trigo harinero, trigo cristalino y triticale, manejando una diversidad genética de escala cada vez más mundial, seleccionando y evaluando materiales en una amplia gama de medio ambientes cada año, de manera que los resultados se obtienen ahora más rápido y están al alcance de los programas nacionales de trigo participantes en los ensayos.

La introducción del factor de enanismo, por parte del CIMMYT, a los trigos cristalinos y triticale, ha contribuido a elevar los rendimientos potenciales a niveles comparables con los del trigo harinero.

Después de la liberación de variedades doblemente enanas a inicios de los años setentas, el potencial de rendimiento se elevó al rango de 8 a 9 ton/ha. Los esfuerzos por incrementarlo aún más son lentos y provienen de aprovechar caracteres de los trigos de invierno.

La estrategia en el mejoramiento genético del CIMMYT desde los años ochentas es: a) estabilizar los rendimientos de trigo en ambientes de cultivo óptimos -tipo Noroeste de México- a través de actualizar resistencia a enfermedades y otros caracteres ante cambios del medio ambiente; b) crear semillas de trigo adaptadas a medio ambientes no-óptimos y rendidoras por unidad de área.

Hay una gama de avances para producir trigo en ambientes no-óptimos: tolerancia a sequía y calor; tolerancia a suelos ácidos y con toxicidad de aluminio; resistencia a Septoria, roña y tizón de la planta, etc. Estos avances reducen pérdidas y hacen rentable la producción de trigo en áreas nuevas o no tradicionales: el crecimiento de la producción de trigo durante los años ochentas en suelos ácidos y clima cálido del Brasil es un ejemplo notable. Es posible que estos avances también contribuyan a reacomodar la zonas trigueras de México, ante la reducción de agua en los distritos de riego en los últimos años.

A futuro, las dos vías para mejorar aún mas los rendimientos en trigos harineros y cristalinos son: a) en ambientes óptimos: la creación de semilla híbrida de trigo; viable si se canaliza mayor investigación básica para superar diversos problemas técnicos relacionados con la producción comercial de semilla; b) en ambientes no-óptimos: transferir al trigo genes de resistencia (de trigo aún no explorado, pero sobre todo, de especies diferentes al trigo) a una gama de enfermedades y factores abióticos externos que permitan elevar rendimientos en esos ambientes.

Los avances realizados por el CIMMYT en las cruzas intergenéricas de trigo con diversos pastos silvestres pueden contribuir a una revolución verde del trigo en áreas de temporal.

Sintetizando, el paradigma de la herencia (i.e., el mejoramiento genético convencional) ha contribuido a crear una gama de variedades de trigo acumulativamente mejoradas: con mayor potencial de rendimiento; con rendimientos más estables; con mejor calidad del grano; resistencia a factores bióticos y abióticos extremos. En lo cuantitativo, por si solo es responsable del 50% de los avances en el potencial de los rendimientos unitarios por área; 25% corresponden a fertilizantes y el 25% restante al manejo de los factores.

Más importante aún es que el mejoramiento convencional continuará siendo el mayor contribuyente de los diferentes cambios necesarios para dar al a planta de trigo versatilidad de adaptación: explorando, como se viene haciendo, germoplasma en una escala cada vez más mundial y realizando un mayor número de cruzas para liberar una variedad.

El mejoramiento no-convencional (cruzas intergenéricas con apoyo de cultivo de tejidos y biotecnología) abre nuevas posibilidades, las más prometedoras hasta ahora, pero es probable que por mucho tiempo seguirá siendo complemento del mejoramiento convencional. Por si mismo, es una renovación del paradigma de la herencia que ha predominado durante un siglo.

Diferentes análisis de la inversión en mejoramiento genético convencional del CIMMYT y del INIFAP, indican que para el periodo en estudio tiene tasas internas de retorno entre el 60 y el 100%. No se explican por ello las reducciones de apoyo financiero al programa de trigo mexicano en INIFAP durante los ochentas y noventas.

El desarrollo ad hoc de la tecnología química, complementaria del mejoramiento genético de las VAR de trigo, se orientó a un manejo preciso de fertilizantes químicos, y a mejorar los resultados inmediatos en la producción bajo un sistema de unicultivo, desechando como complementaria, la fijación biológica de nitrógeno o el reciclaje de diversos fuentes de materia orgánica.

No se han evaluado aún los efectos indeseables de este sistema en la química y en la reducción de la materia orgánica del suelo en las principales zonas trigueras del país (estos también son los problemas de la agricultura intensiva en otros países). La fertilización química no puede ni debe reemplazarse ahora, sino complementarse con un manejo más integral de los factores, buscando una productividad más estable del suelo.

El paradigma de la ciencia del suelo puede aportar mucho todavía para corregir y mejorar el manejo del suelo. Tal vez la microbiología del suelo pueda hacer ahora aportaciones a la productividad.

Los estudios de fisiología de la producción del trigo reportados por el CIMMYT explican la racionalidad de los avances logrados, pero aportan pocos elementos nuevos para mejorar los rendimientos potenciales en ambientes óptimos. Aporta más elementos que pueden coadyuvar a los mejoradores a seleccionar materiales prometedores para medioambientes no-óptimos.

La tecnología agronómica, entendida como la integración de todos los factores de la producción con la fenología de la planta bajo cultivo, seguirá adecuándose a los cambios de comportamiento de variedades, del medioambiente y de los insumos.

La limitación de esta revisión es que se reduce a precisar los progresos en el desarrollo de las diferentes tecnologías en la producción de trigo; que el señalamiento del grado de adaptación de estas tecnologías a las necesidades de los productores del cereal, se queda en una apreciación cualitativa, sin hacer mayores precisiones o

mediciones; que en la enumeración de los progresos tecnológicos implícitamente se acepta al parámetro de productividad por área, como el principal o único criterio de evaluación de la bondad de la tecnología (o al criterio homólogo de un mayor excedente del consumidor). Pero este tipo de evaluaciones no consideran costos sociales en la forma de subsidios a la infraestructura y al agua de riego, los subsidios en la adquisición de agroinsumos y los precios de garantía por encima de los precios internacionales, ni los efectos de largo plazo en la química y biología de los suelos.

Ahora se sabe que la agricultura intensiva estilo noroeste no es eficiente energéticamente y su alta productividad se debe a los altos subsidios de energía en la forma de agroinsumos.

Puesto que la innovación tecnológica esencialmente es producir más con los mismos recursos, entonces los parámetros de eficiencia (energética y económica) en el uso de los recursos escasos del productor deben ocupar un lugar en el modelo de tecnología a desarrollar. De hecho, este principio ha estado presente de manera preeminente, por ejemplo, en los cocteles tecnológicos de la agricultura de Holanda y constituyen un estilo de desarrollo agrícola diferente al norteamericano.

Lo señalado hasta aquí aporta elementos para afirmar que las hipótesis uno y dos del trabajo pueden considerarse válidas . No se aportan elementos suficientes de comprobación de las hipótesis tres y cuatro.

V. CONCLUSIONES

La eficacia del programa de investigación en trigo de la Oficina de Estudios Especiales para generar tecnologías, que superaron las limitantes a la producción del cereal existentes en México a inicios de los años cuarenta, se debe a la combinación de varios factores:

El enfoque y diseño del plan de trabajo fue formulado por un equipo de científicos, reconocidos expertos en su campo, con conocimiento de los avances de la agricultura internacional y del modo de hacer las cosas en investigación. Se plantearon objetivos alcanzables en tiempos definidos, teniendo como antecedente los avances de la tecnología agrícola de EE.UU.;

El modo de operar del equipo de trabajo: (a) uso de métodos, técnicas y estrategias de investigación que venían aplicándose para el mismo propósito en países avanzados. Ejemplo de estrategias: reunión y selección de un amplio, diverso y adecuado germoplasma. Innovaciones de procedimiento: selección de las nuevas plantas híbridas en dos medioambientes contrastantes (Cd Obregón y Toluca) al año; (b) equipo interdisciplinario capacitado y continuidad del personal científico; asesoría de expertos; (c) recursos suficientes al programa y certeza en la continuidad del apoyo; (d) coordinación única y tiempo para madurar los avances;

Antes de 1943 no se había usado en México de manera intensiva a la experimentación agrícola como instrumento para generar tecnologías de producción;

La abundancia y calidad de los recursos productivos en los distritos de riego, hacia donde primero se orientó la investigación;

Cuando la OEE obtuvo los primeros resultados prácticos (primera y segunda generación de nuevas semillas de trigo a inicios de los cincuentas), y había la certeza

técnica de seguir las mejorando, se decretaron medidas de política agrícola para promover la adopción de los nuevos insumos.: a) precio de garantía del trigo por encima del precio internacional; b) subsidios a la producción interna o importación de fertilizantes químicos y maquinaria agrícola; c) apoyo con crédito de avío y refaccionario a quien iniciaba la adopción del nuevo paquete. El resultado fue que para 1960 se había alcanzado la total adopción de los nuevos insumos.

Las diversas medidas de política económica, agrícola y no agrícola, distorsionaron los precios relativos de la maquinaria y de la tierra respecto al precio de la mano de obra, fomentando una acelerada y aun excesiva mecanización en las zonas trigueras a fines de los cincuentas y principios de los sesentas.

Las fuentes de la alta productividad por hectárea alcanzada en México en cinco décadas bajo condiciones de riego, son el conjunto de tecnología biológica, química y agronómica; y que en cierto modo operan de manera independiente de la tecnología mecánica. Lo que permite especular que la revolución verde en la producción de trigo pudo haberse dado sin la excesiva mecanización que la acompañó.

En las últimas dos décadas los avances más relevantes en trigo provienen del CIMMYT y ocurren en el renglón de tecnología biológica: plantas resistentes a una gama de enfermedades distintas a las royas y/o tolerantes a factores abióticos (frío, sequía, salinidad, etc.), condiciones propias de medioambientes no óptimos, lo que está haciendo posible producir de manera económica trigo en áreas no tradicionales o donde antes no era posible.

VI. BIBLIOGRAFIA

1. Aguilar I., M. y R.A Fisher. 1975. "Análisis de crecimiento y rendimiento de 30 tipos de trigo bajo condiciones ambientales optimas de cultivo", Agrocincia, México.
2. Andrade F., J. y D.K Freebairn. 1965. "Economía agrícola en el Valle del Yaqui: los ejidatarios individuales", folleto técnico No. 49, SAG-INIA, México.
3. Ahmad, S., 1976 "On the theory of induced invention", *Economic Journal*, 76: 06.
4. Ardito B., N. 1971. Cost and social returns of agricultural research in Mexico, Ph.D. Thesis, University of Chicago.
5. Arnon, I. 1978 Organización y administración de la investigación agrícola, ed. IICA, San José, Costa Rica.
6. Arvizu R., Z. y R. J Laird. 1958. "Fertilización del trigo en el Valle del Yaqui", folleto técnico No. 26, SAG-OEE, México.
7. Austin, R. B. *et al*, 1980. "Genetic improvement in winter wheat since 1900 and associated physiological changes" in *J. Agric. Sci., Camb.* 94, 675-689.
8. Becerra M., S. 1989. Evaluación económica del mejoramiento genético del trigo en México 1961-1987, Tesis profesional, Chapingo, Méx.
9. Bernard, M. and Bernard 1984. "Genetics and breeding of triticale," *Proceeding of the 3rd EUCRPIA Meeting*, Francia.
10. Binswanger, H.P. 1978. Induced innovation: technology, institutions and development, Baltimore, Johns Hopkins University Press.
11. Binswanger, H.P. "The measurement of technical change biases with many factors of production", *American Economic Review*, 64: 06/74.
12. Blaug, M. "Reseña de la teoría de las innovaciones de procesos", 1963; in Rosenberg, N. (Comp.), *Economía del cambio tecnológico*, FCE, México, 1979.
13. Borlaug, N. E. 1948. "Programa para el mejoramiento del trigo", OEE, México.
14. Borlaug, N. E. 1948. "Present status of improvement program for Mexico".
15. Borlaug, N. E., et al. 1949 "Nuevos trigos para Mexico", folleto técnico no. 5, SAGOEE, México.

16. Borlaug , N. E., y J.A Rupert. 1949. "Métodos que pueden aumentar la producción de trigo en México", folleto de divulgación no. 4, SAG-OEE, México.
17. Borlaug , N. E. 1950. "Métodos empleados y resultados obtenidos en el mejoramiento del trigo en México", folleto miscelaneo no. 3, México.
18. Borlaug , N. E. s/f [1956]. "Methods used in mexican breeding program".
19. Borlaug , N. E., "The impact of agricultural research on mexican wheat production", transactions of the New York Academy of sciences, Vol. 20:03/58.
20. Borlaug , N. E. 1958. "The use of multilineal or compositae varieties to control airborne epidemic disease of self-pollinated crop plants", in First international wheat genetics symposium, Canada.
21. Borlaug , N. E. 1969. "Mejoramiento del trigo: su impacto en el abastecimiento mundial de alimentos", CIMMYT.
22. Borlaug , N. E.. "CIMMYT's past role, present position and future challenges" *in* Anderson, R.G., Proceedings on wheat, triticale and barley seminar, CIMMYT, 1973.
23. Borlaug , N. E., "Introduction" *in* CIMMYT report on wheat improvement, CIMMYT, 1978.
24. Borlaug , N. E., "Accomplishments in maize and wheat productivity" *in* The future development of maize and wheat in the third world, CIMMYT, 1987.
25. Brajcich P., et al, 1986. "Trigo duro. Nombres, progenitores, genealogía y origen", CIMMYT.
26. Boltvinik, J. 1976. "Estrategia de desarrollo rural, economía campesina e innovación tecnológica en México", Rev. Comercio exterior, julio.
27. Boyer, J.S., "Plant productivity and enviroment", Science, 218: 29 october/82.
28. Browning, G.M., "History and Challenges in soil and water conservation and management", Soil Sci. Soc. Am. J. 41: 1977.
29. Burton, G. W., "Plant breeding 1910-1984" *in* Stadler Genetics Symposium, Gene manipulation in plant improvement, University of Missouri-Columbia, 1984.
30. Campos T., A. 1960. Importancia de las razas fisiológicas de *Puccinia graminis tritici* en la producción de variedades resistentes a la roya, Tesis profesional, Chapingo, Estado de México.

31. Cardwell, V. B., " Fifty years of Minnesota corn production: sources of yield increase" *in* Agronomy Journal, vol 74, No. 6, nov-dic 1982.
32. Castillo C.,M. "La economía agrícola en la región de El Bajío", *in* Rev. Problemas agrícolas e industriales de México, vol.8, núm. 3 y 4, México, 1956.
33. Contreras A.,A.1941. El trigo en México. El clima., Banco Nacional de Crédito Agrícola, México.
34. Chávez R.,S. y R.J Laird,1959. "Calificación de algunos aspectos de las practicas de riego usadas en las siembras de trigo en El Bajío y su relación con la respuesta a fertilizantes", folleto técnico No. 36,SAG-OEE, 195.
35. CIMMYT, "Preliminary reports of the first three Inter-American and the first two NearAmerican spring wheat yield nurseries", *in* Miscellaneous report 1-5, El Batán, México, 1966.
36. CIMMYT, "Instructions for the management and reporting of the results for all international yield nurseries and screening nurseries: bread wheat (INWYN, IBWSN), durum(IDYN,IDSN), triticale(ITYN, ITSN), Septoria(ISEPTON)", *in* Information bulletin No. 38, El Batán, México, s/f.
37. CIMMYT, Reportes de los viveros internacionales de selección y rendimiento de trigo harinero (ISWYN e ISWSN, por sus siglas en ingles), trigo cristalino (IDYN e IDSN) y triticale (ITYN e ITSN), El Batán, Mexico, varios años.
38. CIMMYT, Informe anual. El Batán, México, Números de 1967-68 a 1994.
39. CIMMYT, Informe sobre avances hacia el mejoramiento de rendimientos del maíz y trigo, El Batán, México. Varios números.
40. CIMMYT, Revisión de programas, El Batán , México. Varios números.
41. CIMMYT, Report on wheat improvement, El Batán , México, 1978 a 1985.
42. CIMMYT, Wheat for more tropical enviroments: a proceedings of the international symposium, El Batán , México, 1984.
43. CIMMYT, "Wheat production and grower practices in the Yaqui Valley, Sonora, Mexico", El Batán , México, 1992.
44. CIMMYT, "Intercropping cereals with N-fixing legume species: a method for conserving soil resources in low-input system", El Batán , Mexico, 1993.

45. Dalrymple, D.G., "Development and spread of high-yielding varieties of wheat and rice in the less developed nations" *in* USDA, Econ. Research Serv., Foreign Agric. Econ. Report. No. 95, 1976.
46. De Janvry, A., "A socioeconomic model of the induced innovation for Argentine agricultural development", *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 83, Num. 3, 1973.
47. Derek, B. and Moya, P., "Impacts of international wheat breeding research in the developing world 1966-1990", CIMMYT, 1993.
48. Diario Oficial del 27 de diciembre de 1909.
49. Duvick, D.N., "Progress in conventional plant breeding", *in* Stadler Genetics Symposium; op. cit. 1984.
50. Enciclopedia Británica, 15th edition: Propaedia pp. 434-436: T.I. p.335; T.18: pp.21-24.
51. Evans, L.T. "Opportunities for increasing the yield potential of wheat", *in* The future development of maize and wheat in the third world, CIMMYT, 1987.
52. Evenson, R.E. y Y. Kislev. 1976. Investigación agrícola y productividad, ed. Tecnos, Madrid.
53. Fernández, G., R. y R.J. Laird. 1960. "Efectos de la humedad del suelo durante el ciclo del trigo en El Bajío y su influencia en varias características del cultivo", Folleto técnico No. 38, SAG-OEE, México.
54. Fisher, R.A. and P.C. Wall, "Wheat breeding in Mexico and yield increases" *in* Aust. J. Agric. Res. 42: 139-48, 1976.
55. Fisher, R.A. and O.R. Maurer "Crop temperature modification and yield potential in a dwarf spring wheat" *in* Crop Science, 16: 855-59, 1976.
56. Fisher, R.A. *et al* , "Post-anthesis sink size in high-yielding dwarf wheat: yield response to grain number" *in* Aust. J. Agric. Res. 28: 165-75, 1977.
57. Fisher, R.A. and O.R. Lambers "Effect of environment and cultivar on source limitation to grain weight in wheat" *in* Aust. J. Agric. Res., 29: 443-58, 1978.
58. Fisher, R.A., "Wheat", *in* Symposium on potential productivity of field crops under different environments", Los Baños, Filipinas, 1983.

59. Fisher, R.A., "Physiological limitations to producing wheat in semitropical and tropical environments and possible selection criteria", *in* Proceedings of the internal symposium on wheat for more tropical environments, CIMMYT, 1984.
60. Garay R., B. 1968. La genética Mendeliana. Evolución y proyección de los descubrimientos de Mendel, ed. INAH, México.
61. García M., R. *et al*, Análisis de precios de diez productos agrícolas en diferentes etapas del proceso de comercialización, Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillos, Méx., 1982.
62. Ghiasi, H. *et al*, "Selection procedures for developing fertility restorer lines in wheat" *in* Crop Science, 22:523-26, 1982.
63. Gray, R.B. 1975. The agricultural tractor: 1855-1950, American Society of Agricultural Engineers, Michigan.
64. Griliches, Z., "Hybrid corn: an exploration in the economics of technological change" *in*, Econometrica, 25:501-22, october, 1957.
65. Griliches, Z., "El maíz híbrido y la economía de la innovación", 1960, *in* Rosenberg, N., op.cit., 1979.
66. Griliches, Z., "Los costos de la investigación y los rendimientos sociales: el maíz híbrido y algunas innovaciones afines", 1958, *in* Nieto (comp.), Economía de la investigación agraria, Madrid, 1973.
67. Griliches, Z., "Agricultura: productividad y tecnología", *in* Enciclopedia internacional de las ciencias sociales, ed.. Aguilar, 1977, vol. 1, pp. 164-67.
68. González G., A. 1939. El trigo en México. Rendimiento , abonos, variedades y especificaciones comerciales, BNCA, México.
69. González H., G. 1941. El trigo en México. Los costos de producción, BNCA, México.
70. Hansen, M. *et al*, "Plant breeding and biotechnology" *in* Bio-science, vol. 36, january, 1986.
71. Hanson, H.E. *et al*, Trigo en el tercer mundo, CIMMYT, 1982.
72. Harrar, J. G., "Programa agrícola mexicano", Fundación Rockefeller, Nueva York, 1950.
73. Hayami, Y. and V. W Ruttan. 1971. Agricultural development: an international perspective, The Johns Hopkins press.

- 74.Hayami, Y., 1964 "Demand for fertilizer in the course of japanese agricultural development" *in* J. of farm economics, vol. 46, No. 4, nov .
- 75.Hayes, H.K.1963. A professor's story of hybrid corn, Burges Publishing company, Minneapolis, Minnesota.
- 76.Hernández S., A. 1975. Correlaciones genéticas y caracteres determinantes del rendimiento del grano del trigo, Tesis profesional, Chapingo, Estado de México.
- 77.Hernández, S.A., "Avance en el mejoramiento genético del trigo en México" *in* Agronomie, 8(7): 633-638, 1988.
- 78.Hewitt, A. C. 1978. La modernización de la agricultura mexicana 1940-1970, ed. Siglo XXI, México.
- 79.Hicks, J.R.1932. The theory of wages, ed. MacMillan, London.
- 80.INIA-CIANE, Guía para la asistencia agrícola en el CIANE, México, 1969.
- 81.INIA-SAG, Adelantos de la ciencia agrícola en México 1961-1962, México, 1964.
- 82.INIA-SAG, Adelantos de la ciencia agrícola en México 1963-1965, México, 1968.
- 83.INIA-SAG, Adelantos de la ciencia agrícola en México 1966-1968, México, 1971
- 84.INIA-SAG, XV años de investigación agrícola, México, 1976.
- 85.INIA-SAG-SARH, Diversos folletos técnicos sobre trigo.
- 86.Jackson, M.L. 1970. Análisis químico de suelos, ed. Omega, Barcelona.
- 87.Johnston, B.F.y J.W Mellor. 1968 El papel de la agricultura en el desarrollo económico, ed.. Limusa- Wiley, México.
- 88.Jorgenson, D.W. 1961. El desarrollo de una economía dual, México.
- 89.Krull, Ch. F. *et al*, "Results of the fourth Inter-American spring wheat yield nursesey 1963-1964" *in* Research bulletin No. 7, CIMMYT, 1967.
- 90.Kuhn, T.S.1971. La estructura de las revoluciones científicas, ed. FCE, México.
- 91.Kuhn, T.S.1982. La tensión esencial, ed. CONACYT-FCE, México.
- 92.Laird, R. J. *et al*, "Manejo de los residuos de las cosechas en una rotación de maíz y trigo en El Bajío", Folleto técnico No. 37, SAG-OEE, 1959.

93. Lewis, W.A. 1963. El desarrollo económico con oferta ilimitada de mano de obra, ed. FCE, México.
94. Lynam, J.K., "Comentarios a la teoría de la innovación inducida de cambio técnico en el agro de los países desarrollados" *in* Piñeiro y Trigo, op. cit.
95. Marquis, D.G., The anatomy of successful innovations, 1969.
96. Martín, C.A. 1955 Trabajos experimentales con cruza de trigo resistentes al chahuixtle del tallo, Tesis profesional, Chapingo, Estado de Mexico.
97. McRae, D.H., "Advances in chemical hybridation" *in* Plant Breeding Reviews, 3: 169-191, 1985.
98. Mendel, G. 1868. Experimentos de hibridación en plantas,. UNAM, México. 1965.
99. Moseman, A.H., Investigación agrícola para países en desarrollo, ed. Roble, México, 1974.
100. Mujeeb, K. and Hettel, G.P., "Utilizing wild grass biodiversity in wheat improvement: fifteen years of wide cross research at CIMMYT", El Batán, México, 1995.
101. Mûntzing, A., "Triticale: problems and results" *in* Supplement of plant breeding, 1979.
102. Nelson, R.R., "The economics of invention: a survey of the literature" *in* The J. of Business, vol. 32, april, 1959 (a).
103. Nelson, R.R., "La economía sencilla de la investigación básica", 1959(b) *in* Rosenberg, op.cit.
104. Nelson, L.B. *et al* (ed.) , Changing patterns in fertilizer use, Madison, Wisconsin, 1968.
105. Núñez, E.R. y R.J Laird "¿ Conviene asociar leguminosas con el trigo?" *in* Agricultura Técnica de México, vol. 1, Num. 8, Mexico, 1959.
106. Nuñez E. R. *et al*, "Variaciones en la humedad del suelo durante el ciclo del trigo en El Bajío y su influencia en varias características del cultivo", Folleto técnico No. 38, SAG-OEE, México, 1960.
107. Oasa, E.,K. y Jennings, B.W., "La naturaleza de la investigación social en la agricultura internacional: la experiencia norteamericana", *in* El trimestre económico, vol. 49, Num. 196, México, 1982.

- 108.Olsen, R.A. *et al* (ed) , Fertilizer technology and use, Madison, Wisconsin, 1971.
- 109.Parker, J.E.S., The economics of innovation. The national and multinational enterprise technology change, 2nd edition, Longman, New York, 1978.
- 110.Peterson, W. L.1967. "Rendimiento de la investigacion sobre aves de corral en Estados Unidos" *in* Nieto (comp.), op. cit.
- 111.Piñeiro, M y Trigo, E. (comp.), Cambio técnico en el agro latinoamericano. Situación y perspectivas en la década de 1980, IICA, San José, Costa Rica, 1983.
- 112.Quick, G.R. and W.F Buchele.1978. The grain harvesters, American Society of Agricultural Engineers..
- 113.Quिñones L.,M.A., Mejoramiento genético del anfidiplóide triticales, CIMMYT, 1967.
- 114.Ranis, G. y Fei, J.C.A., Development of the labor surplus economy, AEJ 51: 533-565, 1961.
- 115.Rajaram, S. *et al*, Durum wheats: challenges and opportunities, CIMMYT, 1992.
- 116.Rockefeller Foundation, Fourth annual progress report, 1º de septiembre de 1953 al 31 de agosto de 1954.
- 117.Rockefeller Foundation, Mexican agricultural program, 1º de septiembre de 1954 al 31 de agosto de 1955.
- 118.Rockefeller Foundation, Mexican agricultural program, 1ª de septiembre de 1955 al 31 de agosto de 1956
- 119.Rockefeller Foundation, Program in the agricultural science, Annual report, de 1956-57 a 1964-65.
- 120.Rockefeller Foundation, Program in the agricultural science, Progress report: toward the conquest of hunger, 1965-66, New York.
- 121.Rockefeller Foundation, President's Review, Annual report 1967, New York.
- 122.Rodríguez, R.R. *et al*, 1966 Trigo híbrido: su potencial para alimentar una creciente población mundial, CIMMYT.
- 123.Rodríguez, R.R. *et al*, 1969 Herencia de la fertilidad restauradora en una línea de trigo hexaploide derivada de la cruce de T. timopheevi x Marquis2, Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Estado de México.

- 124.Rostow; N. W., 1965Las etapas del desarrollo económico. Un manifiesto no comunista, ed. FCE, México..
- 125.Russel, D. A. and Williams, G. G., 1977 "History of chemical fertilizer development" *in* Soil Sci. Soc. Am. J., vol. 41.
- 126.Ruttan, V.1959. "Usher y Shumpeter en la invencion, la innovacion y el cambio tecnologico" *in* Rosemberg (ed.) , op. cit., 1979.
- 127.Ruttan, V. "La teoría de la innovación inducida del cambio técnico en el agro de los paises desarrollados" *in* Piñeiro y Trigo(ed), op. cit., 1983.
- 128.Shumpeter, J.A.,1939 Business cycles. A theoretical, historical and statistics analysis of the capital process, McGraw-Hill, Necw York.
- 129.Schultz, T.W., 1968 La modernizacion de la agricultura, ed. Aguilar, Madrid.
- 130.Silos, J. S. y D.K Freebairn 1964 "Economía agrícola del noroeste. la agricultura en el sistema de la pequeña propiedad", Folleto técnico No. 48, SAG-INIA, México.
- 131.Simonds, N. W., "Gene manipulation and plant beeding" *in* Stadler Genetics Symposium, op.cit. 1984.
- 132.Smith, A., Investigación sobre la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones, ed. FCE, México, 1958.
- 133.Skovmand, B. and Rajaram, S.,1978 "Semidwarf bread wheats, names, parentaje, pedigrees origen, Bulletin" No. 34, CIMMYT.
- 134.Sprague, G.F., Corn and corn improvement, New York Academic Press, 1955.
- 135.Stakman, E.C. *et al*, "Razas fisiológicas de *Puccinia graminis tritici* en México", Folleto técnico Num. 3, SAG-OEE, México, 1950.
- 136.Stakman, E.C. *et al*, Campaña contra el hambre, de. UTHEA, México, 1969.
- 137.Sutcliffe, J.F. y Baker, D.A., Las plantas y las sales minerales, ed. Omega, Barcelona, 1979.
- 138.Swaminathan, M.S., "The green revolution", *in* The future development of maize and wheat in the third world, CIMMYT, 1987.
- 139.Thomas, G.W., 1977 "Historical development in soil chemistry: ion exchange" *in* Soil Sci. Soc. Am. J., vol. 41.

140. Usher, H.P., 1923 "Soil fertility, soil exhaustion, and their historical significance" *in* Quarterly J. of Economics, may.
141. Usher, H.P., "Cambio técnico y formación de capital", 1955, *in* Rosenberg, op. cit., 1979.
142. Varughese, G. B. and Borlaug, N.E., Triticale, CIMMYT, 1987.
143. Vela, C.M., "Wheat: mexican varieties", PRONASE, México, 1972.
144. Villarreal R. y Rajaram, S. 1984 "Trigos harineros semienanos. Nombres, progenitores, genealogía y origen", CIMMYT.
145. Vietz, F. G. Jr., 1977 "A perspective on two centuries of progress in soil fertility and plant nutrition" *in* Soil Sci. Soc. Am. J., vol. 41.
146. Waddigthon, S.R., Ranson, J.R. et al, "Improvement in the yield potential of bread wheat adapted to northwest Mexico" *in* Crop Science, vol. 26: 698-703.
147. Zillinsky, F. J. and Borlaug, N.E. 1971 Progress in developing triticale as an economic crop, CIMMYT.

