



MAESTRIA EN CIENCIAS SOCIALES

Trayectorias tecnológicas en la agricultura sonorense:
el caso del trigo en el Valle del Yaqui

Tesis presentada por:
Iris del Carmen Valenzuela Gastélum

Para obtener el grado de:
Maestra en Ciencias Sociales
en la línea de investigación Globalización y Territorios

Director de tesis:
Dr. Alvaro Bracamonte Sierra

Hermosillo Sonora
Junio de 2014

Agradecimientos

Al *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)* por haberme otorgado el apoyo económico como becaria de este programa de maestría.

A *El Colegio de Sonora* por acogerme como parte de la décimo cuarta promoción de la Maestría en Ciencias Sociales.

A mis *profesores* por compartir sus conocimientos y fortalecer con ello mi formación académica.

A mis *compañeros de la maestría y del doctorado* por nutrir mi formación académica desde tan variadas perspectivas, por ser compañeros de desvelos y tazas de café por las mañanas, por su amistad.

Al *Dr. Alvaro Bracamonte* por haber sido mi tutor en la realización de la presente tesis, por su apoyo y el interés mostrado en el tema de investigación y por ser un ejemplo a seguir como investigador.

Al *Dr. Alejandro Salazar* y al *Dr. Alejandro Valenzuela* por haber sido mis lectores y contribuir con sus consejos a la elaboración de mi tesis.

A cada una de las personas entrevistadas durante la realización del trabajo de campo: *Dr. Erasmo Valenzuela, Dr. Miguel Camacho, Dr. Juan Manuel Cortés, Dr. Karim Ammar* y *Mtro. Jorge Castro Campoy* por el tiempo y la disposición prestada para proporcionarme la información necesaria para el desarrollo de mi tesis.

A *Rosana Méndez* por apoyarme siempre personal y académicamente, por ser mi amiga y compañera de trabajo.

A mis *padres, mis hermanas y mis abuelos* por su amor, por apoyarme y creer en mí siempre.

A mi amor *Darío* por acompañarme en esta aventura que es la vida; por su paciencia y su comprensión mostrados de inicio a fin en este proyecto, mi maestría.; por motivarme a ser mejor; por ser mi soporte; por su amor. *Juntos!!*

A mi suegra *María de Jesús Ravelo* por su amor, su rica comida y sus cuidados.

A mis amigos de la Licenciatura en Economía *Marisa, Silvia, Ernesto, Alejandro, Arturo y Guevara*, por motivarme con su ejemplo a seguir preparándome, por ser grandes!, por su amistad incondicional!

Resumen

Índice

Introducción General.....	02
Capítulo I. Marco teórico conceptual	
Introducción.....	08
1.1 Economía Institucional.....	09
1.1.1 Antecedentes. El “viejo” Institucionalismo: Nuevo Institucionalismo Americano o Escuela Institucionalista Americana.....	11
1.1.2 La propuesta económica del Neo institucionalismo.....	12
1.2 Economía Evolutiva.....	15
1.2.1 Teoría evolutiva del cambio económico.....	16
1.2.2 El enfoque de Joseph Schumpeter.....	18
1.2.3 Principales aportes teóricos de la propuesta evolutiva.....	19
1.2.4 Rutinas, heurística e innovación.....	23
1.3 Sistemas de Innovación.....	25
1.4 Trayectorias Tecnológicas.....	30
1.5 Pertinencia de la perspectiva teórica para el estudio de trayectorias tecnológicas en el sector agrícola.....	39
Capítulo II. Los cambios en torno a la trayectoria tecnológica del trigo en el Valle del Yaqui, Sonora, 1944-2014	
Introducción.....	41
2.1. El Valle del Yaqui, Sonora.....	43
2.1.1 La importancia del trigo en la región.....	48
2.2 Los cambios en torno a la trayectoria tecnológica del trigo en el Valle del Yaqui, Sonora, 1944-2014.....	49
2.2.1 El contexto precursor de la Revolución Verde.....	51
2.2.2 El contexto de la post-Revolución Verde.....	63
2.3 De la Revolución Verde a la post-Revolución Verde. Un proceso de cambio y continuidad.....	68

Capítulo III. Trayectoria de innovación en el trigo del Valle del Yaqui, Sonora

Introducción.....	84
3.1 Evolución de la innovación tecnológica en el periodo de la Revolución Verde (1945-1974).....	86
3.2 Evolución de las innovaciones tecnológicas desplegadas en el periodo de la Post-Revolución Verde (1975-2014).....	111
3.3 Viejos y nuevos retos tecnológicos: fuerzas de cambio técnico.....	138
3.3.1 Prospectivas tecnológicas del trigo en el Valle del Yaqui.....	141
Conclusiones.....	145
Bibliografía.....	154
Anexos	
Anexo 1. Centro Experimental Norman E. Borlaug. Fichas tecnológicas del trigo, 2002-2011.....	171
Anexo 2. Relación de personas entrevistadas en trabajo de campo.....	172
Anexo 3. Guía de entrevistas.....	173

Resumen

Sonora, especialmente el Valle del Yaqui, es reconocido como la cuna de la Revolución Verde que consistió principalmente en el mejoramiento genético del trigo, lo que incrementó sensiblemente su rendimiento y generó transformaciones sociales al posibilitar que las cíclicas hambrunas registradas en algunas regiones del mundo, como es el caso de la India y Paquistán, fueran superadas con mayor celeridad.

Desde entonces la investigación científica no ha sido capaz de incrementar el rendimiento en la misma magnitud que durante la revolución verde. Esto no quiere decir que la investigación se haya detenido pues en los últimos años nuevas variedades de trigo, nuevas especificaciones en el manejo y el uso de modernas tecnologías han elevado el rendimiento aunque a un ritmo más lento que en el pasado. Pese a que los científicos siguen experimentando en esa línea de investigación (mejoramiento genético y agronómico), recientemente los estudios se están reorientando al abatimiento de los costos ecológicos y de producción. En este sentido destaca, la aplicación más responsable y racional de los insumos, tales como el agua y los fertilizantes.

Esta trayectoria tecnológica tiene fuertes repercusiones entre los productores individuales e impacta el desarrollo de las regiones agrícolas como es el caso de la zona del Valle del Yaqui y todo el sur de Sonora que se especializa en el cultivo de ese grano. El propósito central de esta investigación es analizar la naturaleza de la trayectoria tecnológica observada en el cultivo del trigo en la región del Valle del Yaqui a fin de caracterizar su evolución.

Introducción general

En los últimos años se ha dado gran importancia al estudio de los procesos de generación de innovación como vía para impulsar el crecimiento económico de los países, las regiones los sectores productivos y las empresas. Aun cuando el concepto de innovación surgió originalmente en el ámbito industrial, las últimas décadas ha venido tomando mayor relevancia como un factor determinante en el desarrollo del sector agropecuario, en especial en el de la actividad agrícola que es donde se encuadra el objeto de estudio de la presente investigación.

Es gracias al desarrollo y aplicación de innovaciones tecnológicas en el sector agrícola que se podría decir que la hipótesis formulada por Robert Malthus¹ a finales del siglo XIX, según la cual el ritmo de crecimiento poblacional responde a una progresión geométrica mientras que el ritmo de aumento de los recursos para su supervivencia lo hace en progresión aritmética, se ha venido posponiendo, y sin duda México ha desempeñado un papel fundamental en ello.

El agro en México fue por mucho tiempo la columna vertebral de la economía nacional; actualmente, no obstante su relevancia ha disminuido, no ha dejado de ser una substancial fuente generadora de empleo, materias primas, alimentos y divisas. Uno de los factores que explican la situación privilegiada que tuvo y sigue teniendo en algunas regiones del país tiene que ver justamente con los procesos de innovación y aplicación de nuevas tecnologías en el campo sonorenses, en particular en la región del Valle del Yaqui, universo geográfico que interesa a esta investigación.

¹ Fue un economista británico nacido en 1766. Considerado uno de los primeros demógrafos, su obra principal fue el “Ensayo sobre el principio de la población” (1798).

Actualmente, la agricultura de Sonora es una de las más desarrolladas de México y es una actividad importante en la estructura productiva estatal. Históricamente la entidad ha sido reconocida por su liderazgo en la introducción y uso sistemático de tecnologías que mejoran el desarrollo del sector agrícola. Dichas tecnologías traspasaron las fronteras físicas del país durante la denominada Revolución Verde, la cual fue el parte aguas del cambio tecnológico del agro sonorense al ser decisiva en el proceso innovativo experimentado a partir de entonces. La modernización de las técnicas agrícolas y la introducción de nuevas variedades de trigo que implicaron la elevación de los rendimientos promedio permitieron incrementar significativamente la productividad sectorial, hecho por el cual se ganó la denominación de “revolución”. Dicha modernización agrícola, apoyada en un conjunto de políticas de intervención estatal, incubó una fase de desarrollo económico en la entidad distinta hasta entonces al sustituir al sector minero y pecuario como puntal de la economía. En ese sentido, la expansión de la actividad agrícola se fincó principalmente en los grandes valles (Contreras y Rodríguez, 2003) del sur de la entidad, como lo es el caso de la región del Valle del Yaqui, la cual llegó a ser conocida como "El Granero de México" para la década de los años sesenta y setenta.

De acuerdo con lo anterior, la evolución y crecimiento de la agricultura sonorense, especialmente la del Valle del Yaqui, ha estado inmersa en gran medida en una dinámica innovadora desde hace ya algunas décadas, lo que ha dado paso a la configuración de un sendero cimentado en la tecnología, plausible de análisis dada la creciente importancia de los procesos de innovación y cambio técnico al desarrollo agrícola en esa región.

~~Sobre esa base, el objetivo general de la investigación es analizar la trayectoria tecnológica del cultivo del trigo generada a raíz de la Revolución Verde en el Valle del~~

~~Yaqui, Sonora a fin de caracterizar su evolución; el horizonte de tiempo considerado abarca de 1944 a 2014.~~

~~Dicho de otra forma, lo que se busca es establecer el cambio y la continuidad de un patrón que une las innovaciones generadas durante la gestación de la Revolución Verde con las innovaciones desarrolladas hasta la actualidad. Con lo anterior se quiere decir que se mantiene el proceso innovativo a pesar de que se intuye ha disminuido el reconocimiento del trabajo que se lleva a cabo en la región si se compara con el que se gozó en el pasado.~~

El sustento analítico usado para abordar el problema de investigación descansa en el enfoque de trayectorias tecnológicas subyacente en la perspectiva de la Teoría Económica Institucional y Evolutiva, donde el cambio técnico se concibe como un proceso endógeno que posibilita la configuración de senderos tecnológicos de innovación. Con ello, se supone un carácter dinámico en el funcionamiento del sector agrícola en el largo plazo y una visión institucional-evolutiva para explicar su comportamiento y la generación de nuevas tecnologías como basamento esencial de su evolución.

Es a partir de lo anterior, que surge la originalidad e importancia del tema de investigación; pues los procesos de innovación y gestión tecnológica en la agricultura son un tópico poco frecuente en el ámbito académico y en la perspectiva teórica del enfoque evolucionista del cambio tecnológico. En ésta última existen estudios sobre los procesos de innovación que enfrentan las firmas en el sector industrial principalmente, dejando de lado los procesos que en el sector agrícola, el territorio y sus actores e instituciones llevan a cabo para generar innovación. En ese sentido, son pocos los estudios enmarcados en dicha

perspectiva y orientados a describir la evolución tecnológica de la actividad agrícola, sobre todo a nivel estatal.²

Las preguntas fundamentales que guiarán la investigación son las siguientes:

- i. ¿Cuál es la pertinencia de la perspectiva teórica del enfoque evolucionista del cambio tecnológico para el estudio de trayectorias tecnológicas en el sector agrícola?;
- ii. ¿Cuáles han sido los cambios que la agricultura del Valle del Yaqui, Sonora ha experimentado, particularmente en el caso del trigo, desde la Revolución Verde a la actualidad?; y
- iii. ¿Cuál es la trayectoria tecnológica del cultivo del trigo en el Valle del Yaqui, Sonora que se ha configurado a raíz de la Revolución Verde?

Al dar respuesta a las preguntas señaladas arriba, se busca encontrar elementos suficientes que confirmen la hipótesis de que durante las últimas siete décadas la agricultura del Valle de Yaqui, Sonora, particularmente en el caso del trigo, ha experimentado cambios en términos científicos y tecnológicos, de política pública, sociales, institucionales y productivos, los cuales se podría decir han estado asociados a diferentes modalidades de innovación tecnológica. Pues mientras durante el periodo de la Revolución Verde se forjaron innovaciones de carácter radical, a partir de entonces éstas se han caracterizado por darse de forma paulatina e incremental. Por tanto, la trayectoria tecnológica del trigo en el

² A nivel nacional, algunos de los investigadores más destacados que han desarrollado estudios enmarcados en la tradición del referente teórico de esta investigación son el Dr. Arturo Lara (Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco); el Dr. Alejandro García (Universidad Autónoma del Estado de Morelos); la Dra. Carmen Bueno Castellanos (Universidad Iberoamericana); el Dr. Arturo Torres Vargas (Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco); la Dra. Gabriela Dutrenit (Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco); el Dr. Daniel Villavicencio (Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco); el Dr. Oscar F. Contreras (El Colegio de la Frontera Norte); el Dr. Jorge Carrillo (El Colegio de la Frontera Norte); el Dr. Alfredo Hualde (El Colegio de la Frontera Norte); la Dra. Rosalba Casas (Universidad Nacional Autónoma de México); el Dr. Humberto Juárez Nuñez (Benemérita Universidad Autónoma de Puebla); el Dr. José Luis Sampedro Hernández (Universidad Autónoma Metropolitana, Cuajimalpa); la Dra. María del Carmen del Valle (Universidad Nacional Autónoma de México); y el Dr. José Luis Solleiro (Universidad Nacional Autónoma de México). No obstante, la mayoría de los estudios se orientan hacia los procesos de innovación en el sector industrial.

Valle del Yaqui no puede tipificarse de otra manera como de cambio y continuidad del sendero de innovaciones abierto desde la Revolución Verde.

En el aspecto metodológico se utilizó un modelo mixto donde se recolectaron y analizaron datos cualitativos y cuantitativos para lograr una mayor comprensión del tema bajo estudio. En ese sentido, se realizó una investigación documental de fuentes primarias como libros, revistas, tesis, informes científicos y técnicos, artículos periodísticos y páginas de internet. Ello se complementó con trabajo de campo donde se llevaron a cabo cuatro entrevistas semi-estructuradas a un total de cinco personas en calidad de agentes clave que cuentan con la experiencia del pasado y del presente (véase relación de personas entrevistadas y guía de entrevistas en los anexos 2 y 3). Esa integración de métodos contribuyó significativamente a establecer una comparación contextual con el presente y a construir la trayectoria tecnológica del trigo en la región.

El documento se compone de la presente introducción, de tres capítulos, un apartado de conclusiones generales y tres anexos.

En el capítulo uno se presenta el marco teórico conceptual del enfoque evolucionista del cambio tecnológico y se establece su pertinencia para el estudio de trayectorias tecnológicas en el sector agrícola. Si bien es cierto que el estudio del problema de investigación se sustenta principalmente sobre el enfoque de trayectorias tecnológicas, la intención al exponer los principales aportes teóricos de la teoría económica del neo-institucionalismo, la economía evolutiva y los sistemas de innovación tiene como finalidad presentar una “radiografía” completa de la línea de investigación de la que se deriva el concepto de trayectorias tecnológicas.

En el segundo capítulo se caracterizan los cambios experimentados por la agricultura del Valle del Yaqui, particularmente en el caso del trigo, a lo largo de las últimas siete décadas.

En el tercer capítulo se construye la trayectoria tecnológica del cultivo del trigo en la región del Valle del Yaqui configurada a raíz de la Revolución Verde y se hace una reflexión en torno a los desafíos que actualmente enfrenta la investigación científica y tecnológica en el sector agrícola y la prospectiva tecnológica del trigo en la región.

Capítulo I.

Marco Teórico Conceptual

Introducción

Una de las razones del resurgimiento del pensamiento evolucionista en la economía, en los primeros años de la década de los ochenta, fue el intento por romper con las limitaciones estático comparativas de la teoría tradicional de la firma que consideraba a ésta una función de producción sin capacidad para definir trayectorias tecnológicas propias. Actualmente existe una cantidad considerable de estudios que utilizan en el campo de la economía evolutiva metáforas tomadas de la biología (Hodgson, 2007,75), algunos de esos trabajos teóricos ayudan a perfilar el objeto de estudio del presente capítulo. A lo largo de éste se pretende desarrollar los principales aportes teóricos de dicho enfoque analítico poniendo especial énfasis en los planteamientos formulados alrededor del problema de investigación de esta tesis: el estudio de las trayectorias tecnológicas en el sector agrícola.

Los enfoques teóricos a considerar son el Neo-Institucionalismo Económico, la Economía Evolutiva, los Sistemas de Innovación y las Trayectorias Tecnológicas; estas propuestas comparten la idea de que el surgimiento y comportamiento de las instituciones económicas y de las organizaciones se entiende como un proceso evolutivo, premisa sobre la cual se asienta la presente investigación.

La estructura del capítulo es la siguiente. En la primera sección se analizan las ideas medulares formuladas por Geoffrey Hodgson y Bart Noteboom sobre Economía Institucional y Evolutiva; estos autores comparten una misma matriz analítica que aquí denominaremos como Neo-Institucionalismo Económico.

En la segunda se describen las propuestas teóricas de la Economía Evolutiva cuya principal referencia es *The Evolutionary Theory of Economic Change* (Nelson y Winter, 1982) donde se abordan ampliamente los conceptos y categorías generales del citado enfoque y se subrayan sus diferencias con la teoría de la empresa tradicional.

En la tercera sección se esbozan las ideas centrales que constituyen el programa de investigación denominado Sistemas de Innovación (SI) considerado de gran utilidad para los efectos de este estudio pues suponen que la innovación y el cambio técnico es el resultado de un proceso colectivo-institucional y no del comportamiento individual de la firma.

En el cuarto subapartado se exponen los conceptos básicos y la perspectiva teórica en torno al desarrollo de Trayectorias Tecnológicas. Éste planteamiento representa el centro de la discusión de ésta tesis al proponer un carácter dinámico en el funcionamiento de las firmas en el largo plazo mismo que se contrapone a la idea estática de la teoría neoclásica; con ello se establece una visión heterodoxa, es decir, institucional-evolutiva, para explicar el comportamiento de la empresa y la generación de nuevas tecnologías como basamento esencial de su evolución.

Finalmente, en la quinta sección se vincula la discusión conceptual desarrollada en los anteriores apartados con el problema trazado en este estudio, es decir, se intenta implantar su pertinencia teórico conceptual para el estudio de las trayectorias tecnológicas en el sector agrícola.

1. 1. Economía Institucional

El Institucionalismo parte de la pregunta clave ¿por qué surgen las instituciones?; las instituciones y las normas surgen y prevalecen donde quiera que los individuos viven y

trabajan en sociedad. De esa manera, la propuesta del Institucionalismo parte del estudio del comportamiento y las elecciones individuales y el modo en que ambos procesos son moldeados por las instituciones existentes (Ayala, 1999).

Las ideas institucionalistas alcanzaron el máximo nivel en la agenda teórica en la década de los noventa (Hodgson, 2007, 27). En ese sentido, la economía institucional ha desarrollado nuevas ideas para la comprensión del funcionamiento de las actividades económicas y de la firma. De ella se desprenden dos enfoques conceptuales: el Nuevo Institucionalismo Económico y la Teoría Institucional y Evolutiva o Neo Institucionalismo Económico.

El nuevo institucionalismo económico o la nueva economía institucional es aquella desarrollada por Herbert Simon, Ronald Coase, Douglas North y Oliver Williamson. Ésta se mantiene dentro del discurso de la eficiencia y los supuestos metodológicos coincidentes con la teoría neoclásica (Gandlgruber y Lara, 2007, 9). En ese sentido, en esta corriente la economía es estática, no incluye a la innovación y al aprendizaje, está en busca de la concertación de equilibrios y mantiene la doctrina del agente calculador y egoísta (Noteboom, 2000). Sin embargo, aunque el agente sigue siendo egoísta, la racionalidad es limitada, lo que supone que los actores económicos son intencionalmente racionales, pero solo en forma limitada (Simon, 1961 citado en Williamson, 1989). Es por ello que Geoffrey Hodgson la considera una extensión refinada de la economía neoclásica (Gandlgruber y Lara, 2007, 22).

Por otra parte, el Neo-institucionalismo Económico³ es una propuesta desarrollada por Geoffrey Hodgson y Bart Noteboom y es una vertiente más crítica hacia los supuestos

³ Ésta propuesta no intenta construir una teoría general y no ha llegado a desarrollar modelos tan estilizados del comportamiento de la firma y de la economía como lo ha hecho la economía evolutiva, sin embargo, sus coincidentes

de la teoría neoclásica que posee elementos de la economía institucional original o el “viejo” institucionalismo. Más adelante se aborda con mayor detalle esta propuesta.

1.1.1 Antecedentes. El “viejo” Institucionalismo: Nuevo Institucionalismo Americano o Escuela Institucionalista Americana

Los orígenes del neo-institucionalismo económico se remontan, de alguna manera, a finales del siglo XIX con el surgimiento de la Escuela Institucionalista Americana, o lo que Hodgson (2007) denomina “el viejo” institucionalismo.

Los institucionalistas americanos fueron los primeros en destacar la importancia económica de los hábitos y de las reglas como necesarios para la acción de las personas (Hodgson, 2007). Estuvieron muy influidos por los historicistas alemanes y utilizaron conceptos procedentes de la psicología y del evolucionismo darwinista.

Éste Institucionalismo temprano fue dominante en las Facultades de Economía de las universidades de Estados Unidos luego de la Primera Guerra Mundial. Después de la década de 1930 fue desechado por no proporcionar un enfoque sistemático y viable a la teoría económica (por el predominio de la economía neoclásica y la ascendencia del keynesianismo después de la Gran Depresión de 1929). Sin embargo, su influencia persistió por algún tiempo (Hodgson, 2007). Sus principales representantes fueron Thorstein Veblen, John Commons y Wesley Mitchell.

Según la visión de ésta escuela, la economía es dinámica, pragmática⁴ y no individualista. Por lo que sobre esa lógica la propuesta actual del institucionalismo económico de Hodgson y Noteboom es un reconocimiento, una revisión y una continuación

acercamientos teórico conceptuales acerca de la evolución es lo que la convierte en la propuesta teórica conceptual que enmarca la presente investigación.

⁴ Solo es verdadero aquello que funciona: mundo real objetivo.

del “viejo” institucionalismo. En palabras del mismo Hodgson: “Inconscientemente, las ciencias sociales han vuelto a tomar en cuenta la agenda de investigación evolutiva impulsada por Veblen hace más de un siglo. A nosotros nos corresponde continuar hoy con los nuevos desafíos que quedan por delante” (Hodgson 2007, 43).

1.1.2 La propuesta económica del Neo-institucionalismo

Como se señaló anteriormente, la economía institucional y evolutiva contemporánea es una propuesta desarrollada por Geoffrey Hodgson y Bart Noteboom. Ésta vertiente de la economía institucional formula una fuerte crítica a los supuestos de la teoría neoclásica y combina elementos del “viejo” Institucionalismo de Veblen, Commons y Mitchell complementados por las aportaciones expresadas por Nelson y Winter (1982).

Para Hodgson (2007,10) el foco de interés de la economía institucional se encuentra en la teoría de la empresa y el desarrollo del capitalismo como sistema económico complejo.

Desde la perspectiva de Noteboom (2000) el rol económico de las instituciones es hacer el comportamiento predecible. Pues éstas, según Hodgson, permiten, limitan y contribuyen a construir patrones de comportamiento. Su importancia y durabilidad se debe a su capacidad para crear expectativas estables sobre el comportamiento de los individuos y los grupos, ¿cómo?, a través de lo que ellos denominan reglas y hábitos. Las instituciones moldean a los individuos actuando sobre su punto de vista habitual (Hodgson, 2007, 41): “[...] indican a los individuos cuando reaccionar con una acción particular en circunstancias específicas: reaccionar con la acción Y en la circunstancia X” (ibíd., 76).

Las instituciones funcionan como un mecanismo de continua producción y reproducción de hábitos y rutinas. Las instituciones se forman como entramados duraderos

de costumbres y rutinas y éstas al mismo tiempo, depositarias y preservadoras del conocimiento, primordialmente del conocimiento tácito, son reproducidas a través del tiempo por las mismas instituciones que actúan como “correas de transmisión” (ibíd., 69).

En ese sentido, esta corriente económica institucional admite la idea de que los individuos están “programados” por normas, valores y hábitos incrustados en la cultura, lo que limita y direcciona su percepción, evaluación e interpretación del mundo (Noteboom, 2000).

Pero, ¿qué son los hábitos y las reglas?. Los hábitos son entendidos más como disposiciones que como comportamientos⁵. Son repertorios inconscientes de la conducta potencial, que pueden ser provocados o reforzados a partir de un estímulo o contexto apropiado. Es decir, son una propensión para comportarse de cierta forma en una situación particular (Hodgson, 2007). Por su parte, las reglas son pautas condicionales o incondicionales del pensamiento y la conducta que los agentes pueden adoptar consciente o inconscientemente (ibíd., 76); cuando los hábitos se vuelven parte común de un grupo o una cultura social, se vuelven rutinas o costumbres (Commons, 1934 citado en Hodgson, 2007, 69).

El hábito y la rutina del enfoque institucional se adecuan a los postulados desarrollados por Nelson y Winter, pues “el institucionalismo es congénitamente una economía evolutiva” (ibíd., 61). Cuando los agentes intentan llevar a cabo ciertas mejoras, los hábitos o las rutinas pueden adaptarse o modificarse, por lo que Veblen señala que el paradigma evolucionista proporciona el fundamento para abarcar tanto los procesos de continuidad como los de cambio, la inercia como la innovación (1899, citado en Hodgson, 2007, 61).

⁵ Si se adquiere un hábito no necesariamente se pone en práctica todo el tiempo.

En concordancia con lo anteriormente planteado, hay varias perspectivas desde las cuales el neo-institucionalismo económico se aproxima a las fronteras de la economía evolutiva:

- Los neo-institucionalistas económicos asumen que las instituciones no son de carácter estático sino que cambian y evolucionan a nuevas formas.
- El pasado importa y el tiempo es un elemento fundamental. Pues como señala Veblen (1919, citado en Hodgson, 2007, 39) las instituciones son construidas a través del tiempo y personifican el conocimiento compartido y las adaptaciones sociales.
- Las instituciones, al igual que las organizaciones en la propuesta de Nelson y Winter, prevalecen con el tiempo al sobrepasar un proceso de selección: “la situación presente forma las instituciones del mañana, a través de un proceso coercitivo y selectivo, actuando sobre el sentido común del hombre” (Veblen citado en Hodgson, 2007, 39).
- La realidad económica es dinámica (en contraposición a lo establecido en los modelos micro y macro estáticos de la economía neoclásica).
- No comparten la idea de la economía neoclásica de un proceso de equilibrio.
- Desacredita el modelo del agente económico racional y maximizador de la utilidad y el beneficio, es decir, el modelo teórico de la elección racional y reconoce la existencia del hábito, las reglas y las rutinas.
- Sobre la base de nuevos hábitos/rutinas de comportamiento surgen nuevas preferencias e intenciones.

- El mercado mismo es una institución, pues implica normas sociales, costumbres, relaciones de intercambio instituidas y redes de información, a veces conscientemente instituidas, que deben ser explicadas (Dosi, 1988; Hodgson, 1988, citado en Hodgson, 2007, 72).
- Reconoce la existencia de un proceso heurístico de aprendizaje desarrollado por los actores económicos donde el conocimiento es construido intersubjetivamente (Noteboom, 2000).

Para ambos enfoques las instituciones como las normas y los hábitos, al igual que las rutinas son parte fundamental en el funcionamiento y evolución de las empresas y las actividades económicas.

Como sostiene Hodgson el avance logrado por su propuesta es sólo un paso en la rigurosa formulación del marco conceptual para la economía institucional y evolutiva en general (Gandlgruber y Lara, 2007, 23). Sin embargo, es una propuesta fuerte y consistente que posee al igual que la Economía Evolutiva, la capacidad de ver y resolver viejos y nuevos problemas de una manera distinta a la propuesta hasta ahora dominante de la teoría económica neoclásica.

1.2 Economía Evolutiva

Una expresión particular del neo-institucionalismo económico lo constituye la economía evolutiva, en donde el cambio tecnológico y la innovación son los principales motores de la evolución económica.

En la actualidad, no hay un consenso sobre cuál debe de ser el significado de economía evolutiva (Hodgson, 2007), sin embargo, éste enfoque presenta un marco de análisis alternativo para tratar todo tipo de procesos económicos, por lo que constituye una opción

en el estudio de fenómenos que presenten las siguientes características: por un lado, procesos sensibles a las condiciones iniciales, esto es, caracterizados por lo que se denomina *dependencia de la trayectoria* y por otro lado, situaciones en las que los agentes económicos no son homogéneos, sino que presentan comportamientos diferentes (Bara, Turmo y Rodríguez, s/f).

Es posible afirmar que el empleo actual y cada vez mayor del término economía evolutiva puede asociarse principalmente al impacto que tuvo el clásico trabajo de Richard Nelson y Sydney Winter (1982, op. cit.); trabajo seminal en donde expresan su descontento con las hipótesis utilizadas en los modelos neoclásicos tradicionales, modelos, que si bien resultan adecuados para explicar algunos fenómenos de la actividad económica, no lo son para el más significativo de entre ellos, la relación entre innovación y crecimiento (Bara, Turmo y Rodríguez, s/f).

1.2.1 Teoría evolutiva del cambio económico

La teoría evolutiva del cambio económico de Nelson y Winter constituye un marco teórico general y alternativo a la teoría económica neoclásica; ofrece la posibilidad de abordar distintos fenómenos relacionados con el cambio económico, uno de ellos concerniente a la presente investigación es la innovación.

La principal premisa de la teoría evolutiva es la idea de que el cambio económico es importante. Su punto de vista analítico revela cosas desde un ángulo distinto (Winter y Nelson, 1982, 414) y algunas de sus ideas básicas son construidas con base en conceptos tomados de la biología evolutiva tales como el de selección natural y de genética. Asimismo, centra su atención en las capacidades y el comportamiento de la firma que opera en un ambiente de mercado.

La teoría plantea críticas interesantes al modelo de la teoría neoclásica, una de ellas, y quizá la de mayor relevancia, es la noción de que incluso en sus formas más flexibles, la teoría ortodoxa todavía deja ciega a la disciplina (económica) de los fenómenos asociados con un cambio histórico (Nelson y Winter, 1982). Es así que el término “evolutivo” hace referencia a procesos a largo plazo y de cambio progresivo sensibles a las condiciones iniciales.

Por tanto algunos de los supuestos básicos que la teoría evolutiva incorpora en sus análisis difieren o varían de aquellos prevalecientes en los modelos de la teoría neoclásica.

En el modelo de la teoría neoclásica, la firma opera con base en un conjunto de reglas de decisión que determinan su comportamiento en función de condiciones externas (condiciones de mercado) e internas (capacidades y objetivos). En ese sentido, los principales supuestos teóricos que sustentan el modelo, y que son desacreditados por la propuesta evolutiva de Hodgson y de Nelson y Winter, son el principio de maximización⁶, la idea de un equilibrio⁷ estático y el supuesto de que el avance tecnológico es una variable agregada, tomada como dada y exógena al sistema económico, por lo que no reconoce la generación endógena de procesos de aprendizaje e innovación⁸.

⁶ El principio de maximización es aquél que señala que las firmas se comportan como agentes optimizadores racionales que poseen información perfecta y que buscan maximizar sus ganancias.

⁷ Concepción neoclásica de que los mercados tienden a alcanzar un equilibrio estacionario.

⁸ Paul Rommer (1986) y Robert E. Lucas (1988) son los autores más importantes en la endogenización del cambio técnico.

A principios de la década de los 80 se desarrolló, como una alternativa al modelo neoclásico de crecimiento económico, un modelo (modelo neoclásico Schumpeteriano) que considera como endógeno el cambio técnico. Sin embargo, este nuevo modelo es criticado por la propuesta evolutiva por estar aún apegado a los estilizados modelos de la economía neoclásica basada en la racionalidad, la maximización y equilibrio. Asimismo, constituye una línea de investigación distinta a la de la presente investigación. Véase en (Mulder, De Groot y Hofkes, 2000)

1.2.2 El enfoque de Joseph Schumpeter

El pensamiento evolucionista ha estado presente en la ciencia económica desde la escuela fisiócrata, pasando por la clásica y el pensamiento marxista, hasta llegar a J. Schumpeter y un conjunto de enfoques heterodoxos modernos que conciben a la economía como un fenómeno dinámico y cambiante (Morero, 2007). Por tanto, ha estado influenciado por las ideas de una gran cantidad de teóricos tales como Rosemberg, David, Peck, Mansfield, Pavitt, Freeman, Klein, Knight, Hayek, Kirzner, Alchian, Winter, Farrell, Dunn, Penrose, Hirshleifer, Adam Smith, John Stuart Mill, Marx, Marshall, Pigou y el propio Schumpeter (Nelson y Winter, 1982, 40-45) cuyas ideas merecen mención especial.

La propuesta de la economía evolutiva recoge de la concepción schumpeteriana dos ideas básicas:

- i. *La idea de que la economía es un fenómeno dinámico (evolutivo) e inestable:* “El capitalismo es, por su naturaleza, una forma o método de transformación económica y no solamente no es jamás estacionario, sino que no puede serlo nunca. [...] El punto esencial que hay que tener en cuenta consiste en que, al tratar el capitalismo, nos enfrentamos a un sistema evolutivo” (Schumpeter, 1942, 120).
- ii. *La idea de que el proceso de innovación es un elemento central de dicha dinámica.* Schumpeter subrayó la innovación como una desviación del comportamiento rutinario y argumentó que ésta continuamente trastorna el equilibrio (Nelson y Winter, 1982, 41). Así, concibió la idea del sistema capitalista como un proceso de “destrucción creadora” donde incesantemente se destruye lo viejo y se crea lo nuevo a través de los procesos de generación de innovaciones: todas aquellas transformaciones “[...] que revolucionan incesantemente la estructura económica

desde dentro, destruyendo ininterrumpidamente lo antiguo y creando continuamente elementos nuevos. Este proceso de destrucción creadora constituye el dato esencial del capitalismo" (Schumpeter, 1942, 120-121).

Asimismo, para Schumpeter el cambio tecnológico era considerado como un fenómeno de ruptura, que da lugar a ciclos económicos, a diferencia de Nelson y Winter que lo consideran como un fenómeno continuo.

1.2.3 Principales aportes teóricos de la propuesta evolutiva

La propuesta evolutiva de la economía constituye un claro desafío a la pretensión ortodoxa de circunscribir el alcance de la disciplina al análisis estático de la asignación de recursos dados excluyendo los factores institucionales (Morero, 2007). De esa manera al ser su objetivo el estudio del cambio y desarrollo de los sistemas económicos se centra fundamentalmente en:

- La idea del proceso de cambio tecnológico como eje central del proceso de crecimiento.
- El proceso de crecimiento económico no se analiza bajo la concepción de la existencia de agentes racionales y maximizadores de utilidad. Los agentes económicos buscan los beneficios y la satisfacción más alta (la segunda mejor opción).
- La economía es un proceso dinámico, continuo e ilimitado donde no es necesario alcanzar un equilibrio estacionario.
- El mercado y las instituciones constituyen los mecanismos de selección en el sistema económico.

- El proceso de selección de la economía opera sobre la base de rutinas y reglas que gobiernan el sistema.
- La diversidad de las firmas, cuyos comportamientos y características tecnológicas son heterogéneas (los agentes económicos no son homogéneos, presentan comportamientos diferentes).
- Los agentes económicos son agentes que aprenden.
- La incertidumbre como inherente al proceso evolutivo en general y en particular a los procesos de difusión de la innovación (Mulder, De Groot y Hofkes, 2000). Ello con base en que el progreso tecnológico y la innovación son modelados esencialmente como procesos estocásticos.
- La idea de irreversibilidad asociada a la concepción Schumpeteriana de la destrucción creativa, en donde la innovación y la difusión de tecnologías desplazan otras tecnologías imponiendo pérdidas irreversibles a los agentes que se encajonan en tecnologías obsoletas (Mulder, De Groot y Hofkes, 2000).
- La dependencia de la trayectoria (*path dependence*). Es la idea de que la situación actual es dependiente de las situaciones pasadas y que por lo tanto la historia importa.

Para explorar con mayor profundidad algunas de las ideas anteriormente planteadas, a continuación se describen las tres principales analogías que Nelson y Winter toman prestadas de la biología evolutiva para concebir algunas de sus ideas del cambio económico:

- i. la idea de la rutina organizacional;
- ii. el concepto de búsqueda (*search*) y;

iii. la idea del entorno selectivo (*selection enviroment*).

Dichas ideas o conceptos constituyen los cimientos de los modelos de simulación desarrollados en su obra.

El concepto de rutina organizacional conlleva la idea de que las organizaciones en cualquier momento desarrollan un conjunto de formas de hacer las cosas y de maneras de determinar qué hacer ante ciertas circunstancias. Es decir, se aplica para describir los patrones regulares y predecibles de conducta de las firmas⁹. Es el equivalente al concepto de genes en biología evolutiva, pues constituye una característica persistente y heredable que determina un posible comportamiento y puede reproducirse.

En ese sentido, las rutinas y los hábitos constituyen la *memoria organizacional*, que según Nelson y Winter (1982, 99) actúa como depositaria de las habilidades y los conocimientos operativos relativamente duraderos de la firma. Con base en lo anterior, se puede afirmar que el comportamiento de las firmas es gobernado por rutinas y hábitos de conducta. Sin embargo, es importante subrayar que dicha idea no conlleva consigo el que dicho comportamiento sea inmutable.

El término de búsqueda (*search*)¹⁰ es utilizado para aludir a todas aquellas actividades que la organización realiza asociadas con la revisión y evaluación de rutinas y que incluso pueden conllevar a la modificación o sustitución de las mismas. Dichas actividades pueden caracterizarse por ser en parte rutinarias y predecibles, sin embargo, también se caracterizan por ser al mismo tiempo estocásticas, lo que les da la capacidad de generar mutaciones. En este punto es importante destacar que dichas actividades de

⁹ Las rutinas incluyen “las características de las empresas, que oscilan entre rutinas técnicas bien definidas para fabricar cosas, procedimientos de contratación y despido, solicitudes de nuevo inventario, o incrementos en la producción de artículos de alta demanda, o políticas respecto a la inversión, la investigación y el desarrollo, o publicidad y estrategias comerciales sobre la diversificación de los productos e inversión foránea” (Hodgson,2007,232)

¹⁰ Con las actividades de búsqueda el proceso de toma de decisiones se basa tanto en la experiencia y en las alternativas innovadoras pasadas

búsqueda solo se llevan a cabo cuando la firma no es suficientemente productiva¹¹ (rentable) y por tanto no busca conservar sus rutinas. Nelson y Winter adoptan aquí el concepto de *satisfacción* (planteado por Herbert Simón), según el cual los agentes más que optimizar intentan obtener cierto nivel de satisfacción, así, si la utilidad cae por debajo de ese aceptable nivel de satisfacción “bajo la presión de la adversidad [...] se ven obligadas a considerar otras alternativas” e invierten en actividades de investigación y desarrollo (Hodgson, 2007, 233) para alcanzar de nuevo el nivel de utilidad satisfactorio, es decir, invierten en actividades de búsqueda (*search*).

Por último, el entorno selectivo (*selection environment*) de una organización es aquél que conjuga todas las condiciones o factores, en parte determinados externamente (por ejemplo condiciones de oferta y demanda o características y comportamiento de otras organizaciones en la industria o en el sector), que la afectan de una u otra manera fijando el grado en que se expande o se contrae. Éste concepto resulta ser la analogía económica del proceso de selección natural en biología evolutiva, donde con el tiempo el mercado determina qué firmas son redituables cuáles no lo son y se encarga de hacer que éstas últimas no resulten seleccionadas para seguir operando, es decir, para sobrevivir y crecer.

De lo anterior se deriva la idea de que la genética organizacional, es decir, los rasgos organizacionales asociados al concepto de genes en biología, tales como la habilidad para producir resultados y ganancias, son transmitidos a través del tiempo.

La adopción de las tres analogías descritas anteriormente cierra el eslabón entre el concepto de evolución económica de Nelson y Winter y la idea correspondiente en biología. Según Hodgson dicha triada hace específica su propuesta “evolucionista” (Hodgson, 2007, 234).

¹¹ La ganancia es una de las principales motivaciones de la firma.

Sin embargo, cabe destacar que aunque la triada de propuestas se adaptan a los conceptos manejados en biología evolutiva no significa que lo hagan de una manera exacta. Lo anterior principalmente debido a que aunque las rutinas son firmes y “casi” tan duraderas como los genes, la diferencia aquí estriba en el “casi”, pues como ya se mencionó con anterioridad dichas rutinas pueden cambiar y adquirir caracteres distintos. En ese sentido, mientras la biología evolutiva no reconoce la herencia de caracteres adquiridos, la economía sí lo hace, por lo que se dice que más que darwinista, el enfoque evolutivo de Nelson y Winter es de tipo Lamarckiano. Adicionalmente, la teoría puede ser calificada como Lamarckiana en el sentido de que contrariamente al comportamiento genéticamente programado del darwinismo, en el comportamiento humano hay lugar para la intencionalidad y la innovación (Hodgson, 1993a, citado en Hodgson, 2007, 234).

1.2.4 Rutinas, heurística e innovación

La innovación posee un trato distinto entre la propuesta de la economía evolutiva y la teoría económica ortodoxa. Mientras la primera de ellas reconoce el surgimiento endógeno de innovaciones, la segunda lo hace exógenamente.

La teoría económica evolutiva subraya la idea de que la variación en el sistema económico está dada por la generación de innovaciones. En relación a ello, Ulrich Witt (1992, citado en Hodgson, 2007, 133) escribe “para una noción adecuada de la evolución socioeconómica es indispensable apreciar el papel crucial de la innovación”. Asimismo, Nicola Foss (1994 en Hodgson, 2007) afirma que la economía evolutiva del tipo elaborado por Dosi, Nelson, Winter, Witt y otros, se ocupa de “la transformación de estructuras ya existentes y del surgimiento y posible diseminación de innovaciones”. Llegado el punto, es

necesario plantear las siguientes interrogantes: ¿cuáles son esas estructuras? y ¿cuál es su relación con la emergencia y la diseminación de la innovación?.

Según Nelson y Winter (1982, 129) la innovación involucra un cambio en las rutinas. Ese cambio se da cuando las respuestas a la resolución de problemas (problemas evocados por dificultades en las rutinas ya existentes) dentro de la firma pueden producir resultados que conllevan a un cambio mayor, en otras palabras, los esfuerzos en la resolución de problemas que son iniciados con las rutinas en ese entonces ya establecidas pueden conducir a la emergencia de innovaciones (ibíd.).

Generalmente, los procesos de innovación conllevan un alto grado de incertidumbre, principalmente asociado a los resultados. Sin embargo, dentro de los procesos de generación de innovaciones puede haber incluso patrones de naturaleza altamente predecible, es decir, rutinizados. De acuerdo con Nelson y Winter (1982, 132), una ilustración de ello pueden ser las actividades de investigación y desarrollo que lleva a cabo la firma como parte de sus actividades de búsqueda. Dicha búsqueda opera siguiendo una estructura secuencial rutinaria¹² para encontrar la solución a un problema existente. En ese sentido, es posible afirmar que incluso los esfuerzos de resolución de problemas de la firma caen en patrones rutinarios de comportamiento, cuyo esquema general puede ser anticipado con base en la experiencia de previos esfuerzos emprendidos en la resolución de problemas.¹³

La teoría heurística de la búsqueda (*the theory of heuristic search*) provee un marco referencial para lo anteriormente descrito al considerar como heurístico cualquier principio

¹² Por ejemplo seleccionar un elemento, hacer pruebas de atributos deseables, terminar con éxito si dichos atributos están presentes o seleccionar el próximo elemento si no lo están

¹³ Búsquedas heurísticas (basadas en la experiencia) y no búsquedas racionales

o mecanismo que contribuye a reducir el promedio de búsqueda a la solución de problemas (ibíd.).

Finalmente, en la medida en que dichos patrones heurísticos de innovación y resolución de problemas subsistan con el tiempo, se convierten en parte del mecanismo genético del proceso evolutivo de la firma.

1.3 Sistemas de Innovación

En la sección anterior se plasmó la importancia del rol de la innovación en el proceso de evolución económica, así como algunos de sus mecanismos de emergencia. Sin embargo, antes de continuar, es preciso establecer una definición del término afín a los planteamientos teóricos del presente capítulo.

La innovación es un factor determinante en el crecimiento de las economías regionales y las empresas. En palabras de Albornoz (2009), la innovación puede ser concebida como:

Aquella que entraña el propósito de mejorar la posición competitiva de las empresas mediante la incorporación de nuevas tecnologías y conocimientos de distinto tipo. El proceso de innovación consiste así en una serie de actividades no solamente científicas y tecnológicas, sino también organizacionales, financieras y comerciales; acciones que, en potencia, transforman las fases productiva y comercial de las empresas.

Freeman y la versión de Aalborg University hacen referencia, en su sentido más amplio, al concepto de innovación, como un proceso continuo de acumulación que abarca no solo el desarrollo de innovaciones radicales e incrementales sino también la difusión, absorción y el uso de las mismas (Lundvall, 2007).

Según Schumpeter, la innovación, al igual que el sistema capitalista, constituye una perturbación de las estructuras existentes, una incesante novedad y cambio y transcurría en un escenario caracterizado por la toma de decisiones individuales. Sin embargo, la necesidad de una mejor comprensión de los procesos vinculados al cambio tecnológico condujo a una revalorización de sus ideas. En la década de los ochenta surgieron nuevas perspectivas teóricas que concebían la innovación como un proceso colectivo cuya ocurrencia depende de un número mayor de circunstancias que aquellas que se reducen al comportamiento individual de las empresas. De esa manera, se planteó la idea que ésta debía ser analizada como parte de la teoría de sistemas (Albornoz, 2009), y fue así que para la década de los noventa, la perspectiva teórica de sistemas de innovación tomó relevancia analítica.

Los teóricos evolucionistas echan mano de dicho enfoque para estudiar el efecto que este contexto institucional tiene sobre la capacidad innovativa de las firmas (Zabala, 2004). De esa manera la estructura de relaciones que las firmas poseen con el entorno, influencia, como se organizan y como llevan a cabo sus actividades de innovación (Tunzelmann, Malerba, Nightingale y Metcalfe, 2008).

Uno de los análisis pioneros sobre sistemas nacionales de innovación fue el elaborado por Richard Nelson (1993, citado en Hodgson 2007, 236) donde argumentaba que la innovación y el cambio técnico no son solo asunto de empresarios individuales, sino que involucran características culturales e institucionales a nivel nacional. Desarrolló la idea de que el conocimiento es tácito, idiosincrásico y sobre todo dependiente del contexto, es decir, que las competencias se establecen y se desarrollan dentro de un sistema adecuado de instituciones y cultura.

De acuerdo con lo anterior, los evolucionistas reconocen que el accionar de las firmas y el desarrollo de sus competencias no sucede aisladamente, sino que, por el contrario, se apoya en un amplio complejo institucional (Zavala, 2004). Por tanto, la perspectiva de los Sistemas de Innovación, enfatiza el papel de las trayectorias tecnológicas y las dotaciones institucionales en el aprendizaje colectivo (Contreras y Carrillo, 2011).

En ese sentido, el enfoque de sistemas de innovación constituye un enfoque económico de desarrollo local al promover la interacción entre los actores socioeconómicos para la generación de procesos de innovación y de aprendizaje como factores de fomento a la competitividad y el crecimiento económico. No se enfoca solamente en los oferentes de ciencia sino en la totalidad de actores involucrados en la innovación y en su interacción.

Los principales representantes de ésta perspectiva teórica son Christopher Freeman, Bengt-Åke Lundvall, Carlota Pérez, Giovanni Dosi, entre otros.

Aunque en la bibliografía referente a sistemas de innovación se pueden encontrar diversas definiciones, de manera general, un sistema de innovación puede ser definido como un conjunto de instituciones que contribuyen al desarrollo de la innovación y a la capacidad de aprendizaje de un país, una región, un sector o una localidad; comprende una serie de elementos y relaciones que vinculan la producción, asimilación, uso y difusión del conocimiento (Cassiolato y Lastres, 2007).

Por su parte, Lundvall (1992) define al sistema de innovación como un número de elementos y sus relaciones, los cuales interactúan en la producción, difusión y uso de nuevo, y económicamente útil, conocimiento.

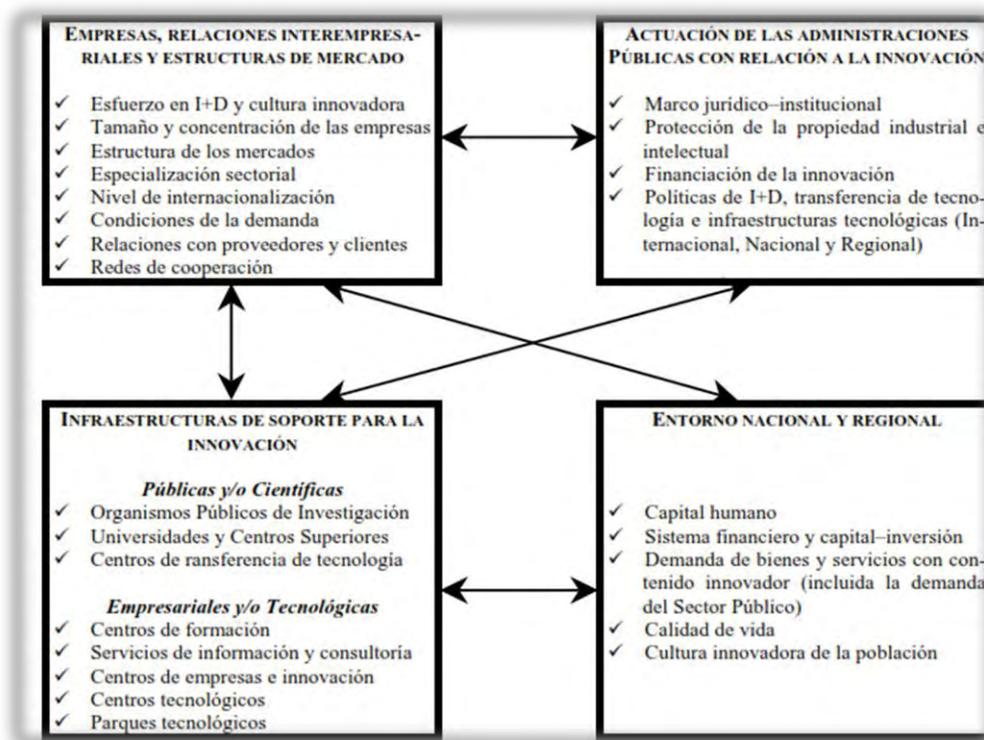
Asimismo, Nelson y Rosemberg (1993, citado en Zabala, 2004) definen un sistema de innovación (nacional) como aquél constituido por agentes interconectados que interactúan e influyen la ejecución de la innovación en la economía (nacional). La

importancia de su concepción reside en la idea de que dichas interacciones se desenvuelven en un contexto específico bajo ciertas normas, rutinas y prácticas establecidas.

Según Heijs (2001) los componentes de un sistema nacional y regional de innovación se pueden agrupar analíticamente en cuatro subsistemas. Esos subsistemas o elementos están conformados por:

- i. *Las empresas.* Constituyen un elemento fundamental ya que son capaces de generar conocimiento y resultados materializados tanto en productos como en procesos, además de ser las que introducen las innovaciones tecnológicas en el mercado.
- ii. *La administración pública.* Ésta posee una parte importante del ámbito científico de las regiones, a la vez que ejerce un papel notorio como agente financiador, lo que deriva en reconducir las actividades propias de la innovación. Pero además, su papel es también muy relevante como agente vinculado al desarrollo de las políticas tecnológicas.
- iii. *La infraestructura de soporte a la innovación.* Está conformada por el conjunto de entidades de muy diversa utilidad concebidas para facilitar la actividad innovadora de las empresas, proporcionándoles medios materiales y humanos para su I+D, tanto propios como de terceros, expertos de tecnología, soluciones a problemas técnicos, y de gestión, así como información y toda una gran variedad de servicios de naturaleza tecnológica.
- iv. *El entorno regional y global de la innovación.* Engloba a todos aquellos aspectos, que de forma indirecta, inciden sobre las capacidades propias de una región en los ámbitos tecnológicos y de la innovación.

Figura 1. Elementos del Sistema de Innovación



Fuente: Heijjs, 2001.

A través de dichos elementos, los sistemas de innovación tienen como función la creación de condiciones que favorezcan los procesos de innovación. Para lograrlo, la confianza resulta ser un elemento fundamental al ser una forma de aminorar la incertidumbre, la cual siempre es alta en el desarrollo de la innovación (Noteboom, 2010). Es incluso un fenómeno de redes (ibíd., 9), que promueve procesos interactivos de aprendizaje dentro de un sistema de innovación.

Al igual que la disciplina económica, los sistemas de innovación son sistemas dinámicos, por lo que su enfoque puede ser inscrito en la tradición analítica desarrollada por los economistas evolucionistas.

Sobre esa base, los sistemas de innovación se desarrollan siguiendo y configurando trayectorias históricas y tecnológicas, y el desenvolvimiento de sus interacciones es lo que permite comprender su comportamiento dinámico.

A dicha evolución del sistema se le conoce como dependencia de la trayectoria o *path dependent*, ya que una vez que un territorio ha escogido una trayectoria determinada, su evolución depende de la opción elegida (Zabala, 2004).

De acuerdo con lo anterior, el estado de un sistema en un momento t , es dependiente del estado observado en un momento anterior $t-1$. Asimismo, el estado de un sistema en un momento t influye sobre su futuro estado en un momento $t+1$ (ibíd.).

En suma, teniendo en cuenta que las innovaciones tienen lugar como consecuencia de interacciones entre los agentes económicos, políticos y científicos de un sistema de innovación (ibíd.), el análisis de la forma en la que evolucionan y se modifican las interacciones, es un elemento clave que proporciona una perspectiva adecuada al estudio de las trayectorias tecnológicas.

1.4 Trayectorias Tecnológicas

En el enfoque evolucionista, el cambio tecnológico¹⁴ es concebido como un proceso endógeno que posibilita la configuración de senderos tecnológicos de innovación. Ante

¹⁴ Generalmente el cambio tecnológico se registra en los siguientes ámbitos¹⁴: introducción de un proceso productivo nuevo o modificaciones del mismo; introducción de un producto nuevo o mejoras del mismo; modificación que implique una mejora en la organización de la producción; utilización de nuevos o insumos modificados. Los cambios en productos y proceso -maquinaria y equipo- pueden generar cambios en la organización. Por tanto existen por lo menos tres ámbitos del cambio tecnológico: producto, procesos y organizacional (s/a. s/f. Consideraciones teóricas sobre el cambio tecnológico en países industrializados y semiindustrializados)

ello, el propósito de ésta sección es presentar los conceptos básicos y la perspectiva teórica sobre dichos senderos, igualmente denominados como trayectorias tecnológicas.

Carlota Pérez (2009), señala que el espacio significativo donde el cambio tecnológico debe ser estudiado es el de la innovación, en la convergencia de la tecnología, la economía y el contexto socio-institucional. Ese espacio es esencialmente dinámico y, en él, el concepto básico es el de una trayectoria o paradigma, lo que representa el ritmo y la dirección del cambio en una determinada tecnología.

Una tecnología, una vez establecida y aceptada, pasa a formar parte del conocimiento y de la heurística tecnológica, lo que se denomina paradigma tecnológico. Éste concepto ha sido utilizado por Nelson y Winter, G.Dosi (1982) y P.P.Saviotti (1987, 1996) para señalar cierto tipo de invariabilidad en la tecnología de las firmas, a consecuencia de que las innovaciones que se introducen son sólo de tipo gradual con respecto a los cambios y fluctuaciones del entorno. Esta invariabilidad hace referencia a un conjunto de características tecnológicas que permanecen estables durante un periodo de tiempo relativamente largo hasta que sobreviene una crisis consecuente de la aparición de un conjunto de innovaciones radicales que provocan un cambio de paradigma (Feixa y Tañá, s/f).

Sin embargo, cabe señalar que la dominación de los paradigmas se debe no sólo a las fuerzas tecnológicas, sino también a las fuerzas sociales, políticas y organizativas. Lo que exige atención a la integración social de los procesos de innovación tecnológica (Ulhøi y Gattiker, 2000), y puede asociarse al concepto de sistemas de innovación presentado en la sección anterior.

La discusión general en la literatura referente a trayectorias tecnológicas, está ligada a la definición de paradigmas tecnológicos. Así, empezando por el trabajo seminal de

Giovanni Dosi (1982) *Technological paradigms and technological trajectories*, académicos en el campo de los estudios de la innovación empezaron a usar el concepto de paradigmas tecnológicos y trayectorias tecnológicas como conceptos estrechamente ligados. En ese sentido, Dosi et al. (1982 citado en Cruz, 1997) han sugerido que paralelamente a la definición de paradigmas científicos¹⁵ existen paradigmas tecnológicos. Con base en ello, constatan la existencia de grandes rupturas tecnológicas que tienen lugar de manera irregular en el tiempo y que dan lugar al nacimiento de nuevas áreas tecnológicas al nutrirse del surgimiento de innovaciones radicales.

En esa lógica, Dosi define un paradigma tecnológico como un modelo y un patrón de solución a problemas¹⁶ tecnológicos seleccionados, basados en principios seleccionados derivados de las ciencias naturales y sobre materiales tecnológicos seleccionados.¹⁷ En un paradigma tecnológico los procesos de cambio tecnológico son actividades que se desarrollan según trayectorias tecnológicas precisas (Dosi 1982, 152).

Según Carlota Pérez (2009), Dosi enfatizó la idea de que una trayectoria implica direccionalidad dentro de un espacio de posibilidades, cuando introdujo el término de paradigma técnico para representar un acuerdo tácito entre los agentes involucrados sobre cuál es una dirección de búsqueda válida (de solución de problemas) y lo que se considerará una mejora o una versión superior de un producto, un servicio o una tecnología.

Según Ulhøi y Gattiker (2000) el concepto de trayectorias tecnológicas fue primeramente introducido por Nelson y Winter (1977) y posteriormente fue

¹⁵ Un paradigma científico comprende un conjunto de métodos, principios, y estrategias que dominan la forma de hacer y de pensar de una determinada actividad (Cruz, 1997).

¹⁶ La actividad de resolución de problemas ha sido caracterizada en el trabajo de Nelson y Winter como un proceso de naturaleza irreversible, contingente, dependiente e incierto que genera avance técnico y competencia tecnológica de los actores que lo llevan a cabo (Cimoli y de Ila Giusta, 1998)

¹⁷ A model' and a 'pattern' of solution of selected technological problems, based on selected principles derived from natural sciences and on selected material technologies

complementado por otras alternativas. Sin embargo, la idea de que “algo” estaba guiando la dirección del proceso de búsqueda innovador se remonta al final de la década de los sesenta cuando la noción de “imperativos tecnológicos” fue acuñada por primera vez por Rosenberg (1969).

Nelson y Winter (1977) denominan trayectorias naturales de progreso técnico a los patrones que contribuyen a configurar la dirección en la cual la actividad de resolución de problemas se mueve (Cimoli y de Ila Giusta, 1998). En ese sentido, una trayectoria tecnológica representa el sendero, determinado por un paradigma, de la actividad “normal” de resolución de problemas (Dosi, 1982). Ésta constituye la dirección tomada por el desarrollo de una tecnología durante su evolución.

Por su parte Morero (2007), señala que un paradigma define los problemas relevantes y los patrones de investigación y desarrollo de un sector y condiciona las oportunidades para desarrollar innovaciones. Asimismo, las trayectorias tecnológicas dentro de cada paradigma tecnológico representan la ruta de evolución de las innovaciones introducidas en un sector específico. Representan un proceso heurístico específico sobre la manera de hacer algo y de cómo mejorarlo.

De acuerdo con Cruz (1997) la definición de trayectoria está directamente vinculada al patrón o sendero de la actividad innovativa de la organización. Ese patrón presenta la sucesión ordenada y continua de agrupamientos de invenciones o innovaciones de productos, procesos, campos tecnológicos y desarrollo organizacional.

En suma, la configuración de trayectorias tecnológicas direcciona la aplicación de soluciones específicas a problemas específicos presentados en un sector y en un espacio temporal determinado. Es decir que representa la senda de evolución por la que pasan las tecnologías surgidas en el seno de un paradigma tecnológico. Y la adopción de un camino u

otro se encuentra supeditada en gran medida por el ambiente institucional, económico y social prevaleciente.

Al igual que un sistema de innovación, como se señaló en la sección anterior, las trayectorias tecnológicas representan un proceso dinámico cuya evolución es gobernada por su propia historia, es decir que es dependiente de la trayectoria¹⁸ (*path dependent*). La noción de dependencia de la trayectoria como marco para comprender las trayectorias tecnológicas se ha desplegado en la historia económica para explicar las secuencias de acontecimientos relacionados principalmente con la evolución tecnológica e institucional (Araujo y Harrison, s/f). De acuerdo a esa noción, Rosenberg (1994) señala que la forma y la dirección del cambio tecnológico es influenciada por la sucesión particular de eventos pasados, es decir, como señala Dosi (1982, 1988 citado en Bathelt y Boggs, 2005), que la dirección del cambio tecnológico es en cierto grado pre-estructurada por las tecnologías existentes, aunque no de una manera determinista. De esa manera, la historia del desarrollo de nuevas tecnologías y de la adaptación de las ya existentes define una trayectoria tecnológica particular. A lo largo de este camino, según Nelson (1995 citado en Bathelt y Boggs, 2005), las empresas acumulan conocimientos especializados sobre tecnologías específicas y sus usos.

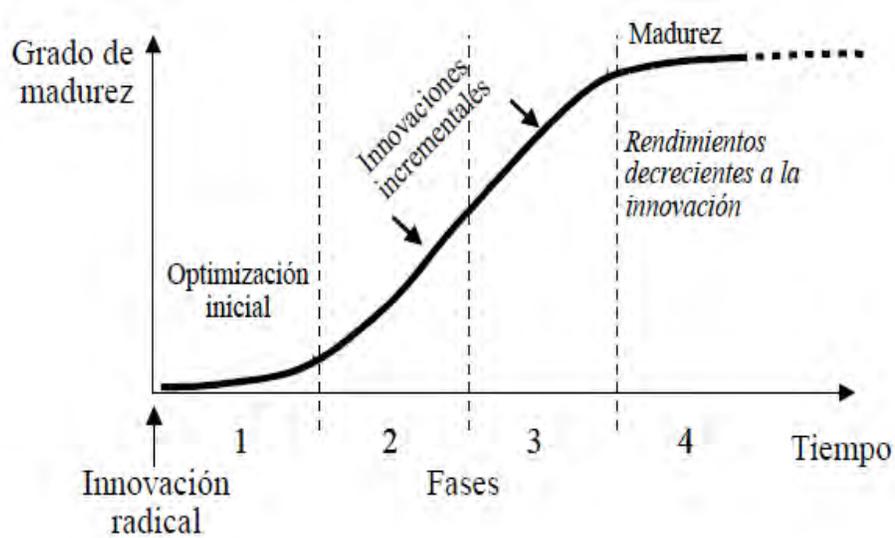
La producción de conocimiento tácito también actúa en la configuración de trayectorias en formas fuertemente dependientes de la trayectoria (Zysman, 1994, citado en Gertler, 2005). Ello significa que la dirección del cambio tecnológico está conformada fuertemente por las experiencias de aprendizaje pasadas, las prácticas y las relaciones de los actores económicos envueltos en él. En relación a esto último, Gertler (2005) señala que el

¹⁸ La noción de dependencia de la trayectoria en las ciencias sociales ha sido ampliamente desarrollada por economistas preocupados por la evolución de la tecnología y las instituciones, y ha servido en parte como una plataforma para restablecer la "historia" de nuevo en la teoría económica (Araujo y Harrison, s/f).

conocimiento no fluye unidireccionalmente desde los productores de tecnología a los usuarios. En su lugar, los usuarios proporcionan el conocimiento tácito a los productores, a fin de que éste pueda encontrar soluciones innovadoras a los problemas prácticos de los usuarios. Al mismo tiempo, al proveer a los usuarios con tecnologías innovadoras, los productores están también compartiendo su conocimiento tácito con sus clientes. El producto final que emerge de la interacción, beneficia a ambos, productores y usuarios, e incorpora en su interior un nuevo conocimiento tácito.

El carácter evolutivo implica gradualismo y cambios abruptos. Es decir que gran parte del aprendizaje tecnológico es incremental y eventualmente radical. Según Carlota Pérez (2009) las nociones de trayectoria o paradigma destacan la importancia de las innovaciones incrementales en la senda de crecimiento después de cada innovación radical. Aunque es cierto que las grandes innovaciones tienen un papel central en la determinación de nuevas inversiones y el crecimiento económico, la expansión depende de la innovación incremental. Lo anterior quiere decir que innovaciones de mejora de productos y de procesos que siguen a la introducción de un nuevo producto tiene un impacto importante en el aumento de la productividad y el crecimiento del mercado.

Figura 2. La evolución de una tecnología: una trayectoria tecnológica.



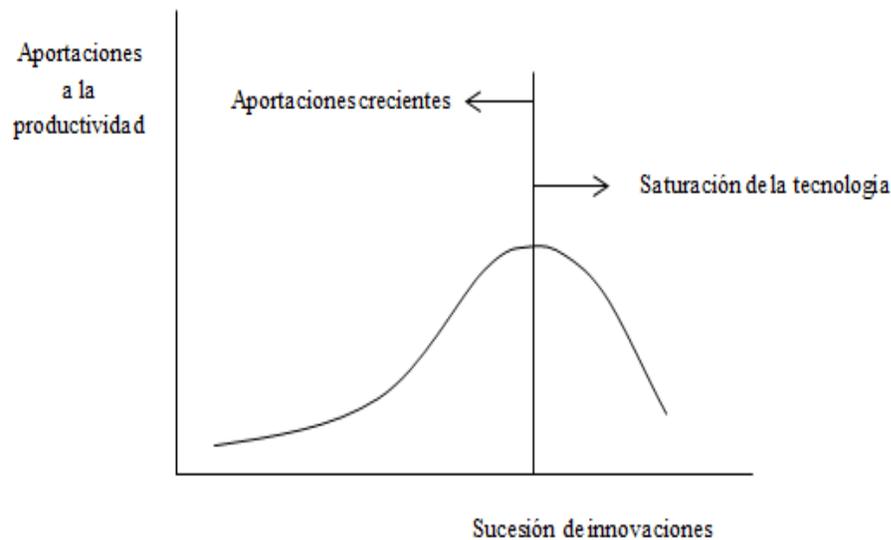
Fuente: Pérez, 2001. Basado en Nelson y Winter (1977), Dosi (1982), Freeman y Pérez (1988), Wolf (1912) y Abernathy y Utterback (1975) y otros autores.

La Figura 2 ilustra el desarrollo de la trayectoria tecnológica. Luego que una innovación radical da lugar a la aparición de un nuevo producto, capaz de sustentar el desarrollo de una nueva industria, hay un período inicial de intensa innovación y optimización, hasta lograr la aceptación del producto en el segmento correspondiente del mercado. Cada una de las innovaciones radicales representa una discontinuidad seguida por una evolución constante, hasta que la reducción de las posibilidades de aumentar la productividad y los beneficios impulsa la búsqueda de otras innovaciones radicales (Pérez, 2001).

Bramuglia (2000) define las innovaciones incrementales o marginales como mejoras continuas y sucesivas en la tecnología, ya sea en producto o en proceso, que ocurren continua y espontáneamente. Asimismo, dichas innovaciones pueden ser producto de actividades de investigación y desarrollo dentro de la firma, resultado del “learning by doing” en la actividad de los ingenieros de planta y los trabajadores, o propuestas de los consumidores y personas relacionadas con el proceso de innovación. Las innovaciones

incrementales ocurren en un sendero relativamente conocido, de ese modo, Nelson y Winter (1982) conceptualizan el sendero de innovaciones incrementales con una trayectoria tecnológica que se desenvuelve sobre una base técnica conocida. Estas innovaciones representan aportaciones considerables de productividad, aun cuando no sean reconocidas como una mera innovación.

Figura 3. Trayectoria natural: auge y declinación de los efectos de las innovaciones incrementales.

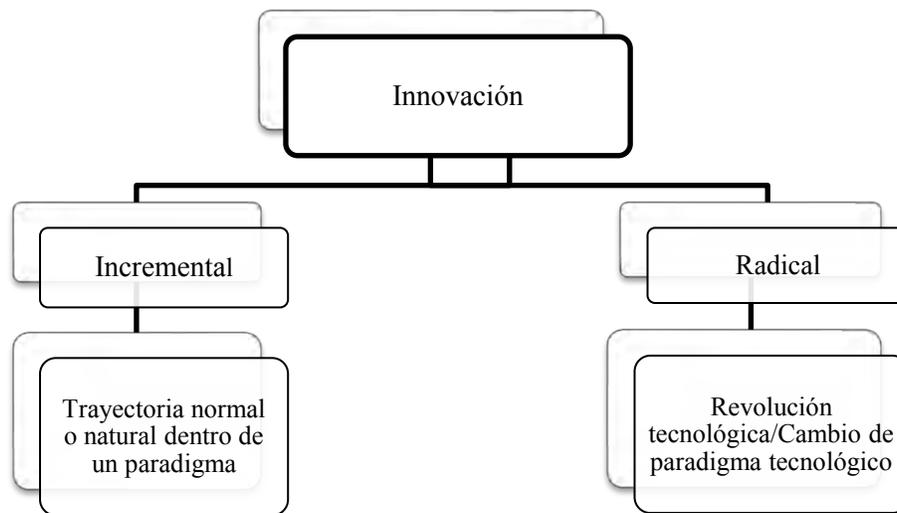


Fuente: s/a. realizado a partir de Nelson y Winter (1982) en Consideraciones teóricas sobre el cambio tecnológico en países industrializados y semiindustrializados.

En contraste, una innovación radical es concebida como aquella que comprende la introducción de nuevos productos y procesos, y constituye eventos discontinuos a veces impredecibles que representan una modificación de la trayectoria normal de una tecnología. Los cambios en las trayectorias representan grandes aumentos de productividad. Con frecuencia son el resultado de actividades de investigación y desarrollo de las firmas y/o de los laboratorios de investigación (Bramuglia, 2000).

Las innovaciones radicales propician un nuevo horizonte productivo en cualquiera de los sectores de la economía (industrial, agrícola o de servicios), lo que algunas veces representa el fin de una trayectoria tecnológica y el inicio de otra de naturaleza diferente. Lo anterior puede ser asociado a la idea del surgimiento de las revoluciones tecnológicas en donde dichos cambios o innovaciones reflejan el proceso de “destrucción creativa” de Schumpeter, donde surgen nuevas tecnologías que se expanden drásticamente modificando la forma de producir y de organizar la producción, y difundiendo profundos cambios en la sociedad.

Figura 4. Trayectoria tecnológica normal y cambio de paradigma tecnológico



Fuente: elaboración propia con base en Nelson y Winter (1977), Pérez (2001,2009), Feixa y Tañá, (s/f), Dosi (1982), Bramuglia (2000), Morero (2007) y Cruz (1997)

1.5 Pertinencia de la perspectiva teórica para el estudio de trayectorias tecnológicas en el sector agrícola

Derivado del referente teórico presentado a lo largo del capítulo, se desprende la premisa en torno a la cual se desarrolla la presente tesis: el sector agrícola, al igual que las instituciones económicas y la firma, constituye un fenómeno dinámico cuyos procesos de innovación y cambio tecnológico son afectados en parte por el ambiente institucional y socioeconómico prevaleciente en el pasado y el presente.

La evolución productiva y la configuración de trayectorias tecnológicas en el agro, se fundamenta en un reconocimiento de los cambios ocurridos en el sector desde el inicio de los avances científicos producidos en el periodo de la Revolución Verde en la década de los años 50 y 60. El uso de la tecnología que caracterizaba el periodo anterior era simple y tradicional; en la medida en que surgieron los desarrollos tecnológicos característicos de ese periodo y se empezaron a configurar redes de cooperación integral entre asociaciones de productores, gobierno y la infraestructura para la investigación y el desarrollo, es válido plantearse cómo se llega de un punto a otro en la competencia del sector agrícola.

En ese sentido, el enfoque de trayectorias tecnológicas incrustado dentro de la lógica del institucionalismo económico y la economía evolutiva resulta un marco conceptual útil para el estudio del sendero tecnológico del sector agrícola regional. Ello, en cuanto a que otorga un papel relevante a la historia del sector, argumentando que su situación actual no es más que el resultado del conjunto de decisiones que han direccionado de una manera particular la aplicación de soluciones a problemas específicos que se presentan en él.

En los próximos capítulos se propone caracterizar la trayectoria de innovación tecnológica del cultivo del trigo en la región del Valle del Yaqui en Sonora, se pretende desarrollar un análisis que incluya los hitos¹⁹ más relevantes y describir el contexto histórico que secundó dicha trayectoria a lo largo del período de análisis.

Al indagar sobre la trayectoria tecnológica, se pretende desarrollar la idea de que las innovaciones tecnológicas de la Revolución Verde irrumpieron con tal fuerza que propiciaron un cambio de paradigma tecnológico cuya evolución se ha venido desdoblado gradualmente desde entonces y ha venido configurando una trayectoria específica de innovación tecnológica en torno al cultivo del trigo en la región.

¹⁹ Se entiende por hitos, aquellos hechos o procesos cuya ocurrencia resulta clave para un colectivo, ya sea en ese período o en perspectiva histórica. En el ámbito de la tecnología y la innovación, los hitos serán aquellos eventos o procesos que marcaron transformaciones importantes en las “formas de hacer las cosas”, y que son reconocidas como tales por algún colectivo. En el caso del sector agrícola, los hitos referirán a cambios en la producción del cultivo del trigo en la región del Valle del Yaqui, y que hayan sido reconocidos como tal por los actores ligados a la investigación, al gobierno y la producción.

CAPÍTULO II

Los cambios en torno a la trayectoria tecnológica del trigo en el Valle del Yaqui, Sonora, 1944-2014

He luchado con el problema del hambre, y he visto algunos resultados muy positivos en la llamada Revolución Verde, la cual trajo espectaculares rendimientos por hectárea - primero en trigo y luego en arroz y otros cultivos – en los países en desarrollo. Estos incrementos en los rendimientos fueron el resultado de la aplicación apropiada de un paquete tecnológico [...] Después, gran parte de la tecnología mexicana, al menos en el caso del trigo, fue transferida a las partes más densamente pobladas del mundo, tales como India, Pakistán y Bangladesh

(Borlaug en Vietmeyer, 2009^a, 226).

Introducción

Uno de los hitos en la historia de la civilización humana fue la conversión de los grupos de cazadores y recolectores errantes a grupos asentados dedicados a la agricultura. Desde entonces, el trigo²⁰ ha ocupado un lugar privilegiado al ser uno de los cereales más importantes en la alimentación humana. A lo largo de su historia ha experimentado muchos cambios inducidos por la misma naturaleza (selección natural) y por el hombre desde su domesticación; cambios que se han venido dando a lo largo de miles de años a ritmos más graduales que radicales y en distintas regiones del mundo; una de ellas, en México, es la región sur del estado de Sonora, en particular las tierras del Valle del Yaqui, reconocidas a nivel nacional e internacional por ser ahí donde tuvieron lugar algunas de las más importantes innovaciones tecnológicas para la mejora del grano.

²⁰ El trigo es una planta gramínea anual con espigas (SIAP, trigo grano) cuyo granos pueden ser duros (cristalinos) o suaves y blandos (harineros), los cuales al molerse sirven para la elaboración de alimentos tales como pastas y pan, entre otros.

El sistema embriónico de investigación iniciado en la región a mediados de la década de los cuarenta dio origen a los súper trigos que desencadenaron la Revolución Verde tras posibilitar que las cíclicas hambrunas registradas en algunas regiones del mundo, como es el caso de la India y Paquistán, fueran superadas con mayor celeridad, fenómeno que culminó en el otorgamiento del Premio Nobel de la Paz en 1970 al Dr. Norman E. Borlaug.

Desde entonces la investigación y experimentación agrícola en torno al cultivo del trigo en el Valle del Yaqui se ha caracterizado por ser emprendedora e innovadora en el mejoramiento y uso continuo de variedades de trigo, así como de las técnicas agronómicas empleadas. Sin embargo, poco se ha divulgado de cómo mediante la conjunción de ciertas condiciones y el esfuerzo acumulado de cientos de personas el cultivo se ha consolidado en la región como el más importante (Figuroa, 2013) en superficie, uso de recursos y sobre todo productividad si de rendimiento se habla.

Al ser esa trayectoria de innovación tecnológica de fuerte repercusión entre los productores y en el desarrollo de la región, es válido plantearse cómo se llega de un punto a otro en la competencia del cultivo, por lo que este capítulo tiene por objetivo caracterizar los cambios que la agricultura del Valle del Yaqui ha experimentado, particularmente en el caso del trigo, desde la Revolución Verde a la actualidad; en otras palabras, se pretende explorar las condiciones que en el pasado permitieron el despliegue de la Revolución Verde y establecer una comparación con las condiciones que prevalecen en el presente.

El capítulo está integrado por cuatro apartados, después de la presente introducción, se hace una caracterización del Valle del Yaqui y se establece la importancia del cultivo del trigo en la región; en la tercera sección se hace un recuento de las condiciones que en conjunto permitieron la gestación y desarrollo de la Revolución Verde en México y en la

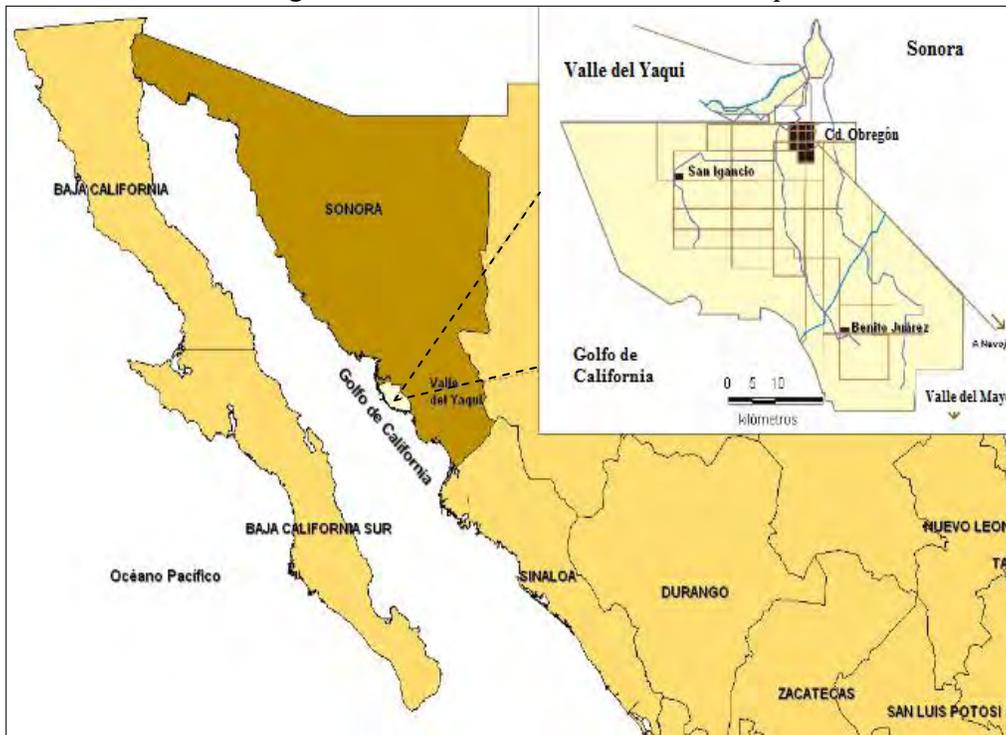
región del Valle del Yaqui, así como un recuento del contexto posterior al auge de la RV a fin de establecer una comparación en la cuarta y última sección.

2.1 El Valle del Yaqui, Sonora

Actualmente, el Valle del Yaqui es una de las mayores zonas de producción agrícola en el Estado de Sonora. Se localiza en la región suroeste de la entidad. Hacia el este y el norte lo limitan las estribaciones de la Sierra Madre Occidental; al sur se extiende hasta el Valle del Mayo, y por el oeste limita con el Golfo de California. Cuenta con unas 225,000 hectáreas de tierra bajo un sistema de riego para uso agrícola. Su diseño posee forma de cuadrícula; la cual es regida por dos grandes ejes que forman una “T”: la calle base, que corre de oriente a poniente, y la calle meridiano, de norte a sur, dividiendo al Valle en dos partes: “valle viejo” y “valle nuevo”. Los blocks, como generalmente se conocen, poseen una superficie de 400 ha. y se subdividen en lotes de 10 ha. (Obson Wordpress, El Valle del Yaqui, reseña de su historia); en ellos se cultiva trigo, cártamo, maíz, sorgo grano, algodón, sandía y varias hortalizas.²¹

²¹ Para efectos del presente documento, debido a que en las posibles fuentes de información y en literatura existente hay inconsistencias en cuanto a los municipios que conforman la región del Valle del Yaqui, se optó por considerar con base en la regionalización propuesta por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) para la generación de estadísticas con referencia al trigo; de esa manera se considera como Valle del Yaqui a los municipios que integran el Distrito de Desarrollo Rural (DDR) 148 Cajeme, éstos son Bácum, Benito Juárez, Cajeme, Etchojoa (parcial), Guaymas (parcial), Navojoa (parcial), Rosario y San Ignacio Río Muerto.

Figura 5. Localización del Valle del Yaqui



Fuente: Hernández, 2006.

La historia del desarrollo agrícola del Valle constituye un proceso evolutivo que tiene como antecedente el año de 1890 cuando el gobierno federal otorga una concesión al Sr. Carlos Conant para abrir al cultivo 300 mil ha. al margen de los ríos Fuerte en Sinaloa, y Yaqui y Mayo en Sonora, con lo cual se fundó la *Sonora and Sinaloa Irrigation Company* que logró contruir 40 km del canal principal bajo en el Valle, así como una presa derivadora en la bocatoma del canal (en el punto denominado "Los Hornos" de donde tomó su nombre) con la que se beneficiaron un total de 15,000 ha. para cultivo. Sin embargo, doce años después la compañía se declaró en quiebra y liquidó con terrenos a sus acreedores (Distrito de Riego del Río Yaqui. Historia). Esa misma concesión es adquirida en 1905 por los hermanos Richardson quienes fundaron la *Compañía Constructora Richardson S.A.*, la cual abrió más terrenos al cultivo, continuó con los proyectos de irrigación logrando poner bajo riego 40,000 ha. y estableció en 1910 las primeras pruebas experimentales en el predio

conocido como “Ontagota” como parte de un programa que buscaba estudiar y evaluar el comportamiento y el rendimiento de más de 90 cultivos con el fin de determinar su adaptabilidad a las condiciones agroecológicas del Valle, hecho que se convirtió en el primer antecedente de investigación en la región (Distrito de Riego del Río Yaqui. Historia; Campo Experimental Valle del Yaqui. Introducción). Sin embargo, en 1928 el gobierno federal adquiere todas las acciones de la compañía a través del Banco Nacional de Crédito Agrícola, S.A. con lo cual su denominación cambia a *Compañía Constructora Richardson en Liquidación* y se inician planes para la construcción de presas sobre el río Yaqui (Distrito de Riego del Río Yaqui. Historia)

Poco después, en la década de los años treinta, con el apoyo del entonces gobernador del Estado Rodolfo Elías Calles, se establece el Campo Experimental "El Yaqui" en los terrenos del block 611 del Valle del Yaqui. Lugar a donde llegaría el Dr. Norman Bolaug en 1945 para establecer sus primeros ensayos de mejoramiento del trigo.

Figura 6. Estación Experimental Valle del Yaqui, cuna de la Revolución verde, 1951



Fuente: Vietmeyer, 2009.

En el periodo que va de 1937 a 1941 la infraestructura del Valle se consolida con el inicio y conclusión de la construcción de la presa Lázaro Cárdenas “La Angostura” en el norte del estado sobre el río Bavispe (afluente del río Yaqui), incorporándose con ello un total de 60,000 ha. más al cultivo (ibíd.).

En 1944, la *Compañía Richardson en Liquidación* cambia de razón social a *Compañía Irrigadora del Yaqui, S.A.*, con lo que se hace una ampliación a los canales ya existentes; se construyen la red de irrigación del sur y del oeste del Valle del Yaqui con lo cual para 1951 ya se regaban 123,552 y 15,000 ha. con agua rodada y con agua de pozos artesianos respectivamente (ibíd.).

En 1951, un año antes de culminada la presa Álvaro Obregón (“Oviáchic”), cuya construcción inició en 1947, se establece el Distrito de Riego del Río Yaqui a cargo de la Secretaría de Recursos Hidráulicos (Distrito de Riego del Río Yaqui. Historia; Campo Experimental Valle del Yaqui. Introducción).

A la par de las obras de infraestructura hidroagrícola, la infraestructura carretera y ferroviaria también se vieron beneficiadas. En ese sentido, mientras que en 1946 se tendieron los primeros 40 km. de asfalto en el Valle, para 1961 la región contaba ya con 211 km de carreteras secundarias pavimentadas (Hewitt, 1988, 131). Asimismo, de una inversión anual promedio entre 1943 y 1946 de 144 millones de pesos en ferrocarriles propiedad del estado, entre 1946 y 1950 el presupuesto nacional se elevó a 592 millones promedio anual. El programa comprendió en 1951 la compra y el equipamiento con una flotilla de motores diesel, de la Pacific Railway Company, principal vínculo ferroviario entre Sonora y el Centro de México (Hewitt, 1988, 131). Con esas obras lo que se buscaba era facilitar el transporte de la producción de trigo y la de otras cosechas del Valle.

Posteriormente, las obras de infraestructura desplegadas en el periodo que va de 1953 a 1988 beneficiaron un total de 220,000 ha. del recién establecido Distrito de Riego. Pues en esa época se termina el Canal Principal Bajo y el Canal Principal Alto; se inicia y se culmina (1963-1965) la construcción de la presa Plutarco Elías Calles (“El Novillo”) cuya principal finalidad era la de generar energía eléctrica; se perfora una gran cantidad de pozos por parte de particulares; y se construyen drenes y diversas obras de infraestructura hidroagrícola por parte de la Secretaría de Recursos Hidráulicos²² (con las aportaciones de productores).

En 1992, los productores agrícolas del Valle del Yaqui son los primeros en aceptar administrar, operar y conservar el Distrito de Riego Núm. 41 del Río Yaqui bajo la normatividad de la Comisión Nacional del Agua²³ acerca de la transferencia de los Distritos de Riego a los usuarios, con lo que se constituyó la *Sociedad de Responsabilidad Limitada de Interés Público y Capital Variable del Distrito de Riego del Río Yaqui*. Sociedad que ha rehabilitado la infraestructura hidráulica e incrementado la eficiencia de conducción de las redes Mayor y Menor de canales (Distrito de Riego del Río Yaqui. Historia).

Los antecedentes presentados en las líneas de anteriores, dejan por sentado que las numerosas obras de infraestructura desarrolladas en la región a la par del avance de la investigación agrícola desplegada a partir de mediados de la década de los cuarenta, como se verá en la siguiente sección, fueron las bases que sentaron el temprano desarrollo agrícola del Valle del Yaqui.

²²La cual se fusiona en 1977 con la Secretaría de Agricultura y Ganadería formando la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos;

²³ Creada en 1989 como órgano administrativo y desconcentrado de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos; misma que a partir de 1995 cambia su nombre por Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural.

Figura 7. El desarrollo agrícola del Valle del Yaqui



Nota: El primer tractor de combustión interna y la primera cosechadora trilladora que llegaron al valle fueron comprados en 1918 por un alemán, Herman F. Bruss.

Fuente: obson wordpress

2.1.1 La importancia del trigo en la región.

El trigo se ha convertido desde 1950 en el cultivo de mayor importancia en el Valle del Yaqui en cuanto a productividad y ocupación de superficie sembrada.

Durante el ciclo agrícola Otoño-Invierno 2013-2014 se cosecharon en el Valle del Yaqui un total de 184,498²⁴ ha. de las cuales el 90% correspondieron al cultivo del trigo con una producción de 1,070,096 toneladas equivalentes al 77% del total producido (1,393,864 ton.). Esto representa alrededor del 68.4 y 44.2% del producto estatal y nacional de trigo durante el mismo periodo respectivamente. En el 2012 (ciclo agrícola O-I 2011-2012) el valor de la producción de trigo en la región representó el 69.5 y el 39.6% del valor total de la producción estatal y nacional del grano respectivamente. En cuanto a rendimiento, el promedio del grano en el ciclo O-I que acaba de culminar (2013-2014) fue de 6.47 ton/ha. lo que significa que se produce con rendimientos por arriba del promedio estatal y nacional (véase figura 9).

²⁴ Datos preliminares. Situación al 30 de mayo de 2014 (SIAP)

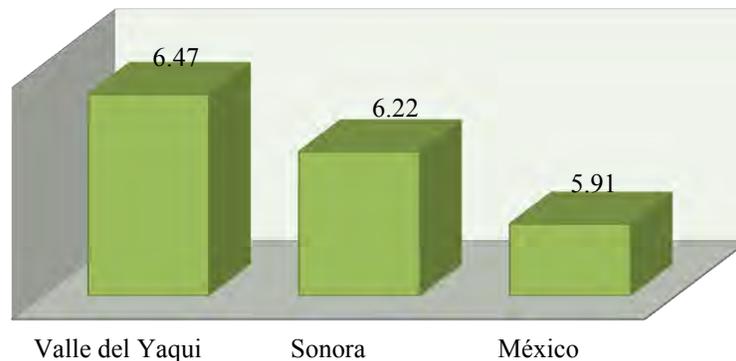
Figura 8. Estadísticas del trigo 2011/12 y 2012/13

Ciclo Agrícola	Trigo	Valle del Yaqui	Sonora	México	Valle del Yaqui	
					Part.% en el Estado	Part.% en México
O-I 2013-2014*	Superficie cosechada (Ha.)	165,448	251,526	409,189	65.8	40.4
	Producción (Ton.)	1,070,096	1,564,996	2,418,505	68.4	44.2
O-I 2011-2012	Valor de la producción (miles de pesos)	4,400,204	6,331,099	11,114,439	69.5	39.6

*Datos preliminares. Situación al 30 de mayo de 2014 (SIAP)

Fuente: elaboración propia con estadísticas del SIAP

Figura 9. Rendimiento medio del trigo (Ton/ha.)



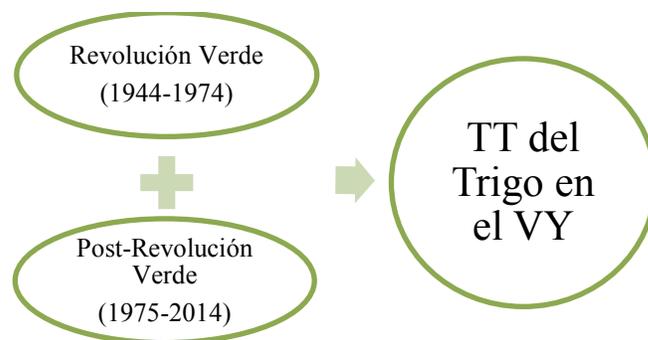
Fuente: elaboración propia con estadísticas del SIAP

2.2 Los cambios en torno a la trayectoria tecnológica del trigo en el Valle del Yaqui, Sonora, 1944-2014

El surgimiento de lo que llegaría a conocerse como la Revolución Verde en el mundo, tiene su origen en la década de los cuarenta del siglo pasado en México y gran parte de su desarrollo en el Valle del Yaqui, Sonora.

Actualmente el hecho de que el Valle del Yaqui sea una de las principales regiones productoras de trigo en el país y fuente de suministro de semilla y grano para gran parte del mundo se deriva de una trayectoria tecnológica ligada a la investigación y la innovación desde hace más de medio siglo. Dicha trayectoria tiene su origen en la conjunción de ciertas condiciones de carácter político, científico-institucional y social que transformaron a la región en “un vasto emporio agrícola” (Hewitt, 1988, 120) para la década de los años sesenta y cimentaron las bases para el desarrollo de la Revolución Verde a nivel mundial. Pero ¿cuáles fueron esas condiciones? y ¿cuál es la diferencia que existe entre el contexto entonces y el contexto que prevalece actualmente?. Para dar respuesta a esas interrogantes y facilitar el análisis comparativo, la trayectoria tecnológica del trigo en el Valle del Yaqui, puede ser segmentada en dos periodos en función de las características de la innovación y su evolución productiva:

Figura 10. Segmentación de la trayectoria tecnológica del trigo en el Valle del Yaqui



Fuente: elaboración propia

El primero de ellos, el de la revolución verde, comprende un horizonte temporal de treinta años que va de 1944, cuando el Dr. Norman Borlaug asume la Dirección del programa de

investigación en trigo de la OEE²⁵ y el rendimiento promedio del grano en el Valle del Yaqui alcanzaba apenas la tonelada y media por hectárea, hasta 1974 cuando la magnitud del progreso en la productividad del cultivo en la región fue tal que de ser considerada una de las peores tierras para el cultivo del grano a nivel mundial (Vietmeyer, 2009a, 8) llegó a convertirse en una de las más productivas; de allí que cabe considerar que éste periodo se caracterizó por una predominante intervención estatal de impulso al desarrollo del sector agrícola.

El segundo periodo, el de la post-revolución verde, es el trayecto configurado a lo largo de las últimas cuatro décadas y se caracteriza por ser un periodo donde las reglas y condiciones de producción, no solo del trigo, pasan a ser determinadas por las fuerzas del mercado internacional al darse una transición hacia una desregulación económica y una liberación comercial. En este periodo se podrá observar que las características de la innovación y la productividad del cultivo se delinearán de distinta manera si se le compara con el primer periodo.

2.2.1 El contexto precursor de la Revolución Verde

Desde 1940 hasta la segunda mitad de la década de los setenta, el desarrollo económico del país estuvo basado en una fuerte intervención del Estado para promover un rápido proceso de industrialización a través de una estrategia de sustitución de importaciones. En ese sentido, mientras que durante la presidencia del General Lázaro Cárdenas (1934-1940) la estrategia del desarrollo entrañó una reforma agraria de gran alcance orientada hacia el desarrollo económico y social del agro mediante la redistribución de la riqueza (reparto de tierras) e ingresos basada en la visión de un México rural próspero compuesto por

²⁵ No obstante es hasta 1945 que traslada la investigación al Valle del Yaqui

comunidades campesinas con acceso a la tierra, al crédito, a la ayuda técnica y a los servicios sociales (Hewitt, 1988, 19 y 21), iniciado el gobierno de Manuel Ávila Camacho en 1941 (hasta 1946), la política dio un giro importante, pues el sector agrícola pasó a desempeñar un nuevo papel, ya no como base del desarrollo rural (ibíd., 22) sino como base de una estrategia de rápida modernización industrial. En ese sentido, el objetivo era convertir al campo en el principal proveedor manufacturero y con ello a la región noroeste en el “Granero de México”.

Esa política tuvo su basamento en grandes obras de infraestructura física, primordialmente de irrigación²⁶, carretera y ferroviaria; en la expansión del crédito agrícola²⁷; en el fomento a la mecanización del sector²⁸ (Hewitt, 1988); el establecimiento de un precio de garantía²⁹; y en el impulso a la investigación y experimentación agrícola cuyo fin era elevar la productividad del campo.

Como parte de esa última estrategia, en 1943 se crea un programa pionero y cooperativo entre la Fundación Rockefeller y la Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG) para asistir a México en el incremento de la producción de maíz, trigo y frijol; el programa realizó importantes inversiones en el desarrollo de recursos humanos, la

²⁶En el periodo que va de 1941 a 1970 el estado de Sonora fue el tercer estado, después de Sinaloa y Tamaulipas, con mayor inversión en proyectos de irrigación a nivel nacional con un 7.73% del total (452, 664 de 5, 853, 550 miles de pesos de 1950) (Memorias de la Comisión Nacional de Irrigación; Memorias anuales de la Secretaría de Recursos Hidráulicos; Secretaría de Presidencia en Hewitt, 1988, 29).

²⁷Para fines de la década de los cuarenta la característica sobresaliente de las operaciones bancarias en el estado era el predominio del crédito agrícola, en contraste con lo que ocurría generalmente en el resto del país. De esa manera para 1958 del presupuesto de créditos en Hermosillo y en Ciudad Obregón el 42% estaba destinado a la agricultura (Hewitt, 1988)

²⁸ El fácil acceso a los créditos dotó a los agricultores de capacidades para adquirir maquinaria de una manera rápida. Así para 1950 según Yañez Pérez (en Hewitt, 1988) las máquinas proveían el 68% de la energía agrícola en Sonora, en contraste con el 17% que suministraban una década anterior, es decir, en los años 40. Para 1988 los distritos de riego de Sonora ya estaban 94% mecanizados (García de León y Ruiz, 1988).

²⁹ El precio de garantía, como subsidio para aliviar la inferioridad de los precios del trigo a nivel internacional, fue una de las políticas más influyentes en la decisión de los productores agrícolas sonorenses de dedicarse a la siembra de trigo. De esa manera entre 1953 y 1954 el precio se fijó entre 750 y 830 pesos por tonelada, alcanzando para 1955 y hasta 1964 los 913 pesos. Sin embargo en el periodo que va de 1965 a 1972 éste disminuyó a 800 pesos; para 1973, 1974 y 1975 alcanzaría los 870, 1300 y 1750 pesos respectivamente (con datos de Hewitt, 1988 y Solís 1990 en Bracamonte y Méndez, 2011).

formación de decenas de científicos mexicanos³⁰ y ayudó a establecer el sistema nacional de investigación agrícola en el país (Borlaug, 2000).

La iniciativa fue impulsada en Estados Unidos a través del entonces vicepresidente Henry A. Wallace quién pugnó por apoyar a la agricultura mexicana en tiempos en que su país hacía un frente común ante la Segunda Guerra Mundial, logrando que una organización que tradicionalmente no apoyaba proyectos de desarrollo agrícola, la Fundación Rockefeller (Figueroa, 2013), financiara la operación. Según Viertmeyer (2009) Henry Wallace tuvo esa visión con base en un programa que en aquél entonces el Presidente de la Fundación Rockefeller, Raymond Fosdick³¹ había iniciado para combatir la malaria y la malnutrición en niños mexicanos; Wallace pensó que para complementar ese objetivo era necesario que los niños se alimentaran bien y para ello era necesario mejorar la actividad agrícola. A pesar de que la agricultura no era una prioridad en los programas de la Fundación Rockefeller, la Segunda Guerra Mundial cambió el panorama y desde 1943 a 1963 proporcionó permanentes facilidades a la investigación y experimentación agrícola a través del “Programa de Agricultura Mexicana” (MAP, por sus siglas en inglés), el cual fue el primer y único programa operativo directo de la Fundación Rockefeller fuera de la División de Salud Internacional³² (IHD por sus siglas en inglés). El programa permitió capitalizar la experiencia de académicos como el Dr. Elvin Charles Stakman fitopatólogo de la Universidad de Minnesota, que aquél entonces había estudiado la roya del tallo en el trigo (Viertmeyer, 2009, 17) y fue propuesto por Fosdick para encabezar la “La comisión

³⁰ Para 1959, la Fundación Rockefeller estaba concesionando las últimas de 250 becas para estudiar en programas de agricultura la mayoría en Estados Unidos, Canadá y Europa. En ese sentido, de tener unos cuantos agrónomos con maestría y ninguno con doctorado, México tenía para entonces alrededor de 100 graduados con maestría en ciencias de la agricultura y casi 30 más con doctorado (Viertmeyer, 2009, 264).

³¹ Fue Director de la Fundación Rockefeller de 1936 a 1948; En esos años, la organización contribuyó sustancialmente a la investigación y el control de la malaria y la fiebre amarilla. Durante este tiempo la Fundación Rockefeller también desarrolló el programa revolucionario en la agricultura con la esperanza de aumentar la producción de cultivos en todo el mundo (Fundación Rockefeller, S/f)

³² Para más información consultar <http://rockefeller100.org/exhibits/show/health/international-health-division->

de evaluación de la Agricultura Mexicana”,³³ hecho que un año después, posibilitaría a Borlaug trabajar en México, mientras, éste como estudiante de Stakman estaba en proceso de completar su Doctorado en la misma universidad.

La comisión estuvo integrada por Stakman y otros dos investigadores: Paul Manglesdorf y Richard Bradfield. En un periodo de dos meses de exploración, la comisión inspeccionó un total de cien localidades a lo largo del país llegando a la siguiente conclusión:

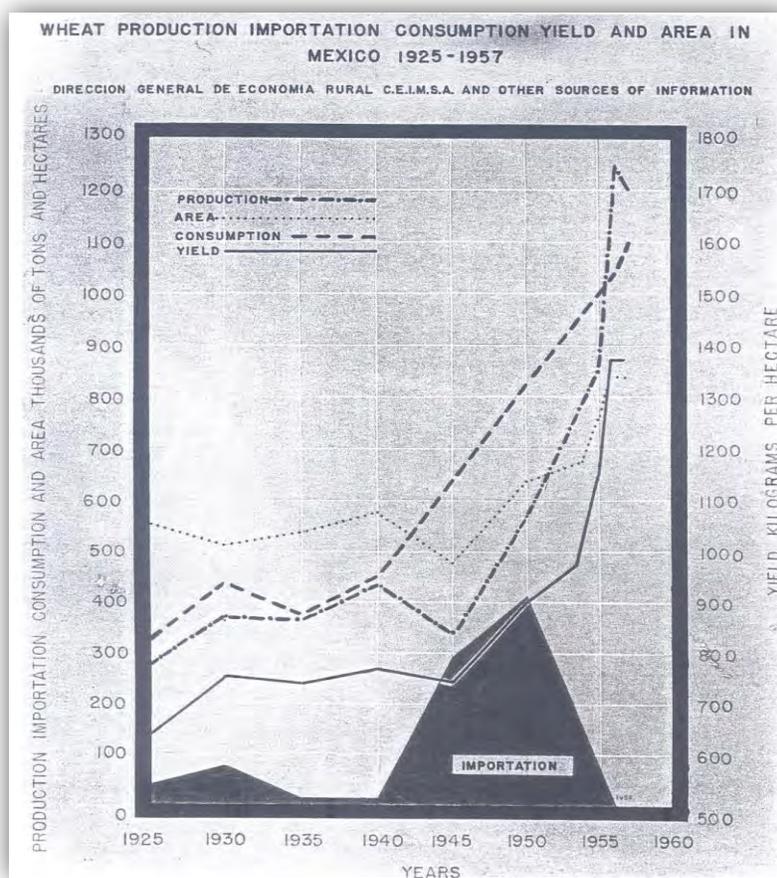
Es evidente que la mayoría de los mexicanos están pobremente alimentados, pobremente vestidos y habitan pobremente. Las condiciones sanitarias están muy por debajo de los estándares a los cuales están acostumbrados los americanos: como consecuencia plagas y pestilencias florecen. El analfabetismo es común y la adecuada educación es rara. La transportación, las comunicaciones y las facilidades de mercado están lejos de ser satisfactorias. En resumen, el estándar general de vida de la gente mexicana es lamentablemente bajo y el país [...]. Uno piensa porque esas condiciones existen. México es una cuarta parte del tamaño de Estados Unidos; y todavía, su población es menos de la sexta parte. La cantidad de tierra arable per cápita es mayor que en muchos países. El clima sobre la mayoría del país es estimuladamente y un gran rango de condiciones climáticas permite cultivar una amplia variedad de cultivos. Hay sustanciales recursos minerales incluyendo petróleo, plata, oro, zinc, cobre y antimonio. Todos esos factores llevan a la pregunta: ¿por qué el estándar de vida es tan bajo? No puede haber una simple respuesta. Sin embargo, desde que México es un país predominantemente agrícola, con el 77% de su población ocupada relacionada en la agricultura y otras industrias rurales, es obvio que al menos una parte de la respuesta debe buscarse en el campo de la agricultura. (Vietmeyer, 2009, 19)

Ante tal panorama, los tres científicos hicieron tres recomendaciones al programa de la Rockefeller: 1) criar mejores variedades de los principales cultivos alimenticios; 2) mejorar el manejo del suelo y la protección del cultivo; y 3) entrenar a estudiantes mexicanos en ciencias de la agricultura.

³³ En inglés: “Survey Commission on Mexican Agriculture”

Seguindo las recomendaciones de la comisión, expertos en fitopatología, genética y suelos empezaron a trabajar en 1944 cuando se da inicio a las operaciones de la OEE, la cual se ubicó físicamente en las instalaciones de la Secretaría de Agricultura y Ganadería en México. En este entonces, el país importaba la mitad del trigo que consumía y el rendimiento era bajo y estático con un promedio de 750 kg/ha. (Borlaug, 1970) (véase figura 11).

Figura 11. Comportamiento de la producción, importación y rendimiento del trigo en México, 1925-1957.



Fuente: Vietmeyer, 2009.

Esos resultados revelaban que la situación del cultivo era deplorable. A decir de Borlaug:

El trigo se cultivaba primordialmente en invierno y en regadío. Se sembraba de septiembre a diciembre y se cosechaba de abril a junio, según las variedades y la

altura. Las variedades eran todas de primavera y de origen desconocido, menos dos de ellas, la Ramona y la Baart, que procedentes de California habían sido introducidas en el estado de Sonora. No había variedades en el sentido corriente de la palabra, sino mezcla de muchos tipos diferentes. Todas las variedades eran susceptibles al chahuixtle o roya de tallo y de las hojas. En los años en que las condiciones ecológicas eran favorables al moho patógeno del tallo, como fue en el caso de Sonora en 1939, 1940 y 1941 y en la región central del Bajío en 1948, devastadoras epidemias llevaron a la ruina a los cultivadores de trigo. Las prácticas [de cultivo] eran primitivas en todas las regiones menos en Sonora, que estaba mecanizada. En todas las demás partes el único instrumento empleado en la preparación de la tierra y las operaciones de siembra era el antiguo arado de madera, tirado por bueyes o mulas. En todas partes, menos en Sonora se cosechaba con una hoz y la trilla se efectuaba con pequeñas trilladoras fijas o más comúnmente se hacía salir el grano pisando las espigas los bueyes o las mulas, y zarandeándolo después para limpiarlo. Los rendimientos eran bajos y estancados, con un promedio nacional de 750 kg. por hectárea [...] los suelos estaban empobrecidos y los fertilizantes eran desconocidos (Borlaug, 1968 citado en Hewitt, 1999, 37).

Con Borlaug a la cabeza del programa de mejoramiento en trigo de la OEE, se inicia la trayectoria tecnológica del cultivo en México. El primer objetivo en aquél entonces fue incrementar el rendimiento. Para ello era necesario mejorar el aspecto varietal para evaluar y seleccionar las variedades de mejor comportamiento³⁴ para su posterior multiplicación. Con base en ese objetivo el equipo de investigación puso en práctica la recolección de semillas nativas e importadas; en total se reunieron 11,000 plantas indígenas diferentes y se trajeron del extranjero unas cuatrocientas variedades (Hewitt, 1988, 38). De acuerdo a lo anterior, el contar con un acervo varietal constituyó el inicio del mejoramiento del trigo en México. A partir de 1945 el proceso de selección se llevó a cabo junto con esfuerzos

³⁴ “En el caso del programa triguero de la OEE, los criterios que rigieron la preferencia de los investigadores por una planta y no por otra fueron los siguientes: 1) alto rendimiento; 2) resistencia al chahuixtle de tallos y hojas; 3) brevedad del ciclo de desarrollo, para que el trigo se salve de las heladas y las lluvias; 4) resistencia a la sequía; 5) adaptabilidad a la siembra de verano; 6) menor tendencia a la caída o soltar el grano antes de la cosecha; y 7) resistencia a los insectos (Borlaug en Hewitt, 1988, 39).

sistemáticos para cruzar las mejores variedades locales y extranjeras, y a producir nuevas variedades adaptadas a las condiciones del país (ibíd., 39).

A pesar de que originalmente el programa de la OEE fue estructurado para ser desarrollado en el centro de México, cuando Borlaug se incorporó tuvo la visión de que el Valle del Yaqui era una de las tierras más promisorias para el cultivo del grano: “[...] es la región de México más prometedora en trigo, he iré a echar un vistazo. Si podemos controlar la roya del tallo todo el mundo estará mejor. Deberíamos al menos considerar trabajar en Sonora. Es lo correcto” (Viertmeyer, 2009, 41).

El grado de tecnificación de los agricultores, el diseño y trazado del terreno agrícola y la canalización de canales para riego, eran características que le proporcionaban ya para entonces una ventaja comparativa ante el resto de las regiones agrícolas del país:

Cuando nos levantamos sobre Cajeme miré hacia abajo la vasta extensión del Valle del Yaqui y en mi mente se arraigó un nuevo concepto: el programa de trigo de la OEE necesitaba cambiar, tenemos que repensar nuestra estrategia. Resolviendo el problema de la roya de tallo en el Valle del Yaqui realmente podríamos dar a México todo el pan que pueda comer!” (palabras de Borlaug en Vietmeyer, 2009,43).

Aunque su visión no sería reconocida sino años después, la decisión de confrontar a sus superiores al trasladar la investigación al noroeste de México fue el primer paso en su lucha por proveer de comida al mundo, no solo a México y no solo a los que más lo necesitaban³⁵.

Cuando llegó al Valle del Yaqui en 1945 en lo que fue su primer viaje de exploración, pudo observar a unos sonorenses que a pesar de parecer “desencantados,

³⁵ Los superiores de Borlaug consideraban que no valía la pena invertir en su trabajo en el norte de México, pues el objetivo y la prioridad de la investigación desde un principio fue la zona centro de país, pues ahí es donde se encontraban los agricultores más atrasados en cuanto a conocimiento en técnicas de cultivo y sobre todo falta de maquinaria y equipo, ello aunado a que eran tierras de temporal. Sin embargo, Borlaug argumentó que al trabajar en zonas con maquinaria agrícola e infraestructura de riego, como la región del Valle del Yaqui, se podría dar más certeza a los resultados de la investigación del trigo al no ser el agua un factor limitante en el desarrollo de la misma.

tercos, escépticos y tal vez de mente cerrada, parecían comprometidos con mejorar su vidas” (ibíd.), por lo que se puede decir que encontró además de un medio muy propicio en las condiciones físicas, uno muy propicio en las condiciones humanas.

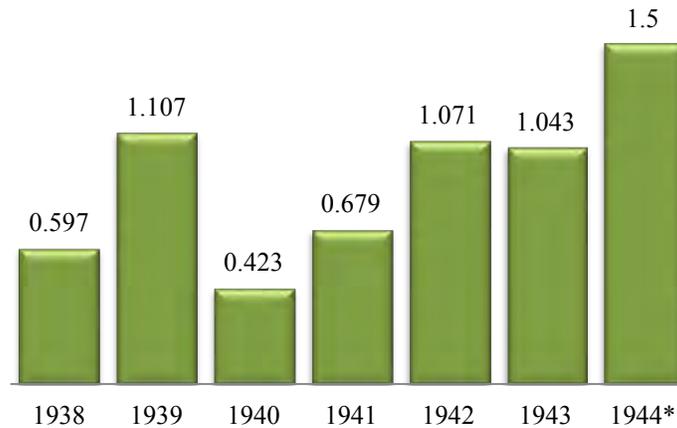
Las evidencias anteriores bastaron para que Borlaug decidiera iniciar el proceso de investigación y experimentación para ese mismo ciclo agrícola (noviembre, 1945–abril, 1946) y fue así, que la Revolución Verde empezó de “cero” en el Valle del Yaqui. Borlaug inicia su trabajo sin nada y sobre todo sin la certidumbre de que los avances de la investigación fueran a ser adoptados por los productores.

En ese entonces, se tenían problemas de productividad; a pesar de que crecía en tierra irrigada, el trigo era superado en importancia (volumen de la producción) por el cultivo de arroz, sin embargo a la par de los avances de la investigación y el desarrollo de las grandes obras de infraestructura hidroagrícola que hicieron más consistente el sistema de riego, el trigo estaría superando a la vuelta de unos cuantos años al arroz³⁶.

No obstante el rendimiento medio del trigo en la región era superior al nacional, con un promedio de 1.5 ton/ha., su desempeño bien podría calificarse como bajo y estacionario, sobre todo si se revisan las cifras de los seis años previos a la llegada de Borlaug a la OEE (véase figura 12).

³⁶ El arroz domino la agricultura del Valle del Yaqui hasta 1950 (Hewitt, 1988, 168).

Figura 12. Trigo: rendimiento promedio en el Valle del Yaqui, 1938-1944



Nota: 1938=ciclo agrícola 1937-1938, 1939= ciclo agrícola 1938-1939, etc.
Fuente: Banco Nacional de Crédito Ejidal en Hewitt, 1988. *Hewitt, 1988, 37.

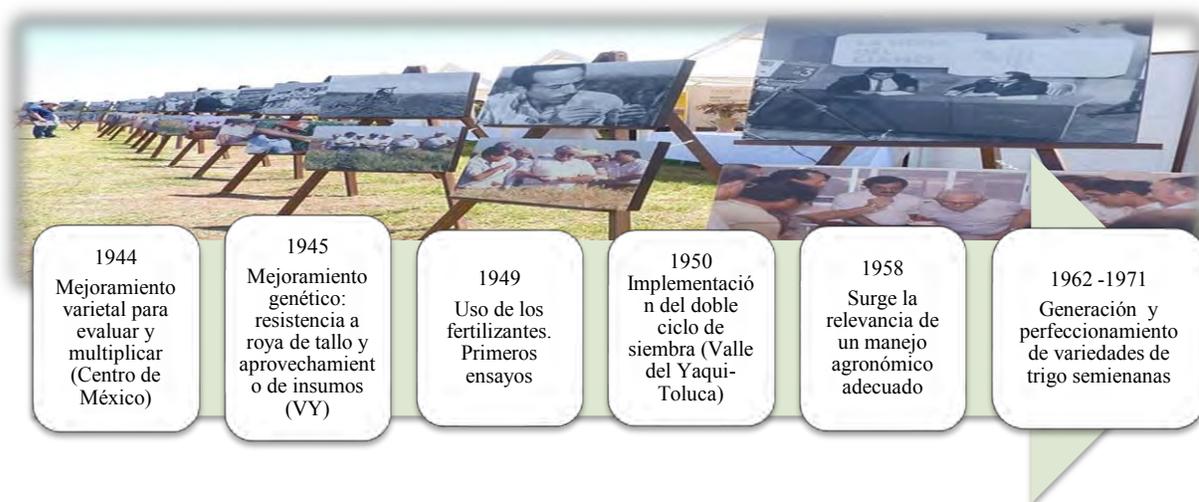
El sistema de investigación embriónico iniciado por Borlaug y su equipo de colegas mexicanos y extranjeros proporcionaron al mundo trigos revolucionarios que rendían tres veces más que nunca. Biológicamente, se cambió el comportamiento fundamental de la planta hacia una mayor producción de grano y menos de paja (Ammar, 2013). En ese proceso, el primer logro de la investigación fue poner resistencia a la roya de tallo; ese primer adelanto no constituyó una revolución en sí, más bien fue una evolución relativamente menor de la planta, la cual tras no enfermarse incrementó su rendimiento sin que fuera algo espectacular. Lo anterior significa que hubo un pequeño progreso al principio, pero el gran logro precursor de la revolución sería técnicamente el acortar la altura de la planta, posibilitándola para aguantar cualquier cantidad de insumos y al mismo tiempo convertirlos más en grano que en paja. En palabras de Borlaug:

[...] fueron dos décadas de una agresiva investigación en trigo que no sólo permitió a México ser autosuficiente³⁷ en lo que respecta a la producción de trigo, también

³⁷ México se volvió autosuficiente en la producción de granos para 1956

preparó el camino para un rápido incremento de la producción en otros países. Fue en México que las variedades enanas de alto rendimiento fueron diseñadas, criadas y desarrolladas. Allí, también, se desarrolló la nueva tecnología de producción que permite a dichas variedades, cuando se cultivan adecuadamente, expresar su alto potencial de rendimiento genético, en general, el doble o el triple de lo que daban las viejas variedades más rendidoras de paja alta (Borlaug, 1970)

Figura 13. Innovaciones tecnológicas precursoras de la Revolución Verde



Nota: La fotografía corresponde a una exposición fotográfica histórica montada en el Día del Agricultor 2014
Fuente: Elaboración propia

Detrás del éxito de la investigación, además de la capacidad mostrada por Borlaug y el equipo de científicos y técnicos que lo acompañaron en el trayecto, estuvo el hecho de que por primera vez en la historia de México los productores se organizaron y apoyaron materialmente la investigación “eso nunca había pasado y fue determinante para todo lo que ocurrió después” (Ammar, 2013). A pesar de que al principio los productores se mostraron desinteresados y renuentes a acatar las recomendaciones derivadas de los avances en la investigación, después de unos años empezaron a darse cuenta que Borlaug era una persona seria y dedicada, y cuando logró incorporar la resistencia a la roya en el

trigo, le dieron su confianza,³⁸ empezaron a apoyarlo y le otorgaron un terreno y las herramientas necesarias para seguir con el desarrollo de los trabajos de experimentación.

A este respecto, el CIANO (Centro de Investigación Agrícola del Noroeste) fundado en 1955, ya era para la década de los sesenta, la única estación experimental que recibía grandes contribuciones financieras de los agricultores locales:

En esas instalaciones ultra modernas nunca nadie había oído hablar de la investigación en trigo y la práctica agrícola operando en un continuo, con resultados dirigidos a los agricultores y una retroalimentación de sus necesidades prácticas a los investigadores. En el CIANO la confianza era el ethos operativo. Éste no era un centro científico, era un centro de servicio. Y sus directores eran los socios agricultores del distrito (Vietmeyer, 2009a, 233).

Fue tan grande el compromiso de los productores con la investigación que para 1968, año en que decidieron unir esfuerzos y fundar el Patronato para la Investigación y Experimentación Agrícola del Estado de Sonora (PIEAES),³⁹ éstos ya proveían al CIANO cinco veces más el presupuesto que se recibía del gobierno estatal y federal (ibíd., 187). Es decir que además de construirle la mejor estación experimental, voluntariamente aminoraban sus propias ganancias para mantener sus operaciones (ibíd.).

³⁸Los productores locales se convirtieron en sus amigos, tanto que lo rescataron de ser deportado por el gobierno mexicano y evitaron que su programa de investigación desapareciera por intención de sus mismos superiores en Nueva York (Vietmeyer, 2009a, 8).

³⁹El PIEAES fue creado para canalizar fondos provenientes de organizaciones de productores y de crédito y así llevar a cabo investigación agrícola en el estado de Sonora y facilitar la transferencia de la tecnología producida en el CIANO a los productores. La iniciativa fue llevada a cabo ante la percepción de que el gobierno resolvía de manera muy lenta las necesidades tecnológicas de los productores y que la falta de un abastecimiento derivado de fondos era un factor limitante de gran envergadura. En vista de lo anterior, los productores aportaron los recursos y patrocinaron una investigación complementaria junto con el programa público de investigación vigente (Hobbs, 1989 en Trigo 1993). La principal fuente de ingresos del Patronato la constituyen las aportaciones de los productores, que consisten en cuotas voluntarias por hectárea de los diferentes cultivos que producen en las regiones agrícolas del Estado. También obtiene ingresos por la venta de semilla registrada a los organismos de productores, los convenios de colaboración con instituciones de investigación y con empresas públicas y privadas y las donaciones de fundaciones y de instituciones públicas y privadas que están interesadas en el desarrollo agrícola de la región (Vázquez, 2011). La mayor parte de los fondos del Patronato se destinan a apoyar y complementar programas de investigación prioritarios para resolver la problemática que los productores tienen en sus cultivos, así como para apoyar la operación de los campos experimentales y el mantenimiento del equipo y la infraestructura del ahora CIRNO (Vázquez, 2011).

Para finales de los años cincuenta era poco justificable la coexistencia de dos centros de investigación agrícola en México (Hewitt, 1988, 51) (la OEE y el Instituto de Investigaciones Agrícolas creado en 1947) por lo que para 1960 se anuncia el cierre de la Oficina de Estudios Especiales y su personal se incorpora a un nuevo organismo el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), antecedente del Instituto Nacional del Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ; con ello las responsabilidades en materia científica pasan a manos del gobierno mexicano.

No obstante lo anterior, el éxito desplegado por el programa de investigación conjunto entre México y la Fundación Rockefeller fue tal que al tiempo que se clausuraba la OEE⁴⁰ surgió la idea de un centro de investigación internacional. Y es así que en 1966 durante el gobierno del presidente Adolfo López Mateos se funda oficialmente el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT)⁴¹ por un acuerdo entre la misma Fundación Rockefeller y la Secretaría de Agricultura, nombrando a Borlaug director del Programa de Trigo. En el Valle del Yaqui, el CIMMYT se establece en los terrenos del Centro Experimental del Valle del Yaqui (CEVY), del entonces instituido CIANO.

Además fue también a raíz de la experiencia mexicana con el trigo, que criadores de otros cultivos como maíz, arroz, papas entre otros, rápidamente siguieron los pasos de la investigación gracias al programa de entrenamiento del CIMMYT liderado por Borlaug,⁴² y

⁴⁰ Durante la ceremonia de clausura de la OEE, el presidente Adolfo López Mateos expone públicamente la idea de crear un centro internacional de investigación agrícola tras su reciente visita, en aquel entonces, al Centro Internacional de Investigación del Arroz fundado en 1960 en Filipinas. López Matos explicó que durante su estancia en el IRRI había sido congratulado verbalmente por el fructífero avance de la investigación en trigo en México, lo cual repercutió de manera significativa en la creación del mismo IRRI. Fue tal el orgullo del presidente que en vez de concluir con el esfuerzo de investigación llevado a cabo hasta entonces, decide en convertirlo en una iniciativa permanente de cooperación internacional (Vietmeyer, 2009).

⁴¹ El CIMMYT es actualmente uno de los principales centros del Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (Consultative Group on International Agricultural Research CGIAR) el cual es un consorcio de centros de investigación. Entre sus propósitos está la seguridad alimentaria, reducir la pobreza rural, mejorar la salud y la nutrición humana y asegurar un manejo sostenible de los recursos naturales.

⁴² Borlaug había sido requerido por la FAO para trabajar en aquéllos países azotados gravemente por el hambre (Afganistán, Egipto, Libia, Irán, Iraq, Pakistan, Syria, Turkía, Etiopía, Jordania, Arabia Saudita), sin embargo,

junto con el trigo detonaron una explosión de alimentos que salvó la vida de millones de personas. Dicho de otro modo, lo que la hizo una revolución es la magnitud del progreso productivo que alivió por un tiempo la presión demográfica sobre la producción de alimentos:

En la India se triplicó el rendimiento y la producción a nivel nacional. En mi país, Túnez al Norte de África, aunque es un país donde el 90% del trigo es sembrado en temporal, la introducción de las variedades mexicanas multiplicó también por tres la producción y eso ha tenido un efecto social, ha tenido un efecto económico, ha tenido un efecto político porque gran parte del mundo estaba amenazada por el hambre. Se dio una burbuja de oxígeno a esos países para organizarse un poco mejor; se le dio a la gente pobre que vivía solamente de granos o del trigo, suficiente energía para tener acceso a un poco de educación y salir de la pobreza pues prácticamente un hombre sin energía no puede aprender nada, no puede salir de su miseria; la magnitud del incremento en la producción frenó la catástrofe del hambre, dio una oportunidad a esta gente para sobrevivir y tener prosperidad; en mi país la presión demográfica realmente era tan fuerte que no había manera de tener un desarrollo social equilibrado, balanceado, pero con el incremento de la producción si lo hubo; la generación de mi padre y la generación anterior eran muy diferentes, una tenía problemas de escasez de comida, la otra no tenía; el trigo es tan importante para tantas personas en el mundo, incluyendo México, que cuando se vuelve abundante da posibilidades de sobrevivir y prosperar a tanta gente; fue por ese impacto tan fuerte que se le llamó Revolución Verde (Ammar, 2013).

2.2.2 El contexto de la Post-Revolución Verde

Para mediados de la década de los sesenta la consideración de que la agricultura mostraba una evolución satisfactoria por el lado de la oferta, posiblemente tuvo como consecuencia que el sector fuera perdiendo importancia paulatinamente dentro de las prioridades de la agenda nacional (Bracamonte y Méndez, 2011).

reflexionando, llegó a la conclusión de que sería mejor y más eficiente que de cada país fuera seleccionada una comisión de jóvenes con estudios básicos en agricultura (aunque no era una limitante) para ser entrenados en el cultivo del trigo durante un año en México con la finalidad de que cada uno de ellos implementara sus conocimientos en la batalla contra el hambre en sus países de origen.

Entrada la década de los ochenta, derivado del agotamiento del modelo de sustitución de importaciones como la vía para conseguir la industrialización, la economía nacional se debilita y cae en una crisis generalizada cuyo detonador es el endeudamiento externo (Del Valle et al., 1996). En ese sentido, durante el mandato presidencial de Miguel de la Madrid (1982-1988) se empezaron a establecer una serie de reformas económicas para alejar la economía de su tradicional estrategia de desarrollo controlada por el Estado (Bracamonte y Méndez, 2011, 32). A partir de entonces el modelo económico nacional se vuelca de orientarse hacia el mercado interno a orientarse al exterior tras el establecimiento de una política económica de corte neoliberal que buscaba la inserción del país a la economía internacional globalizada.

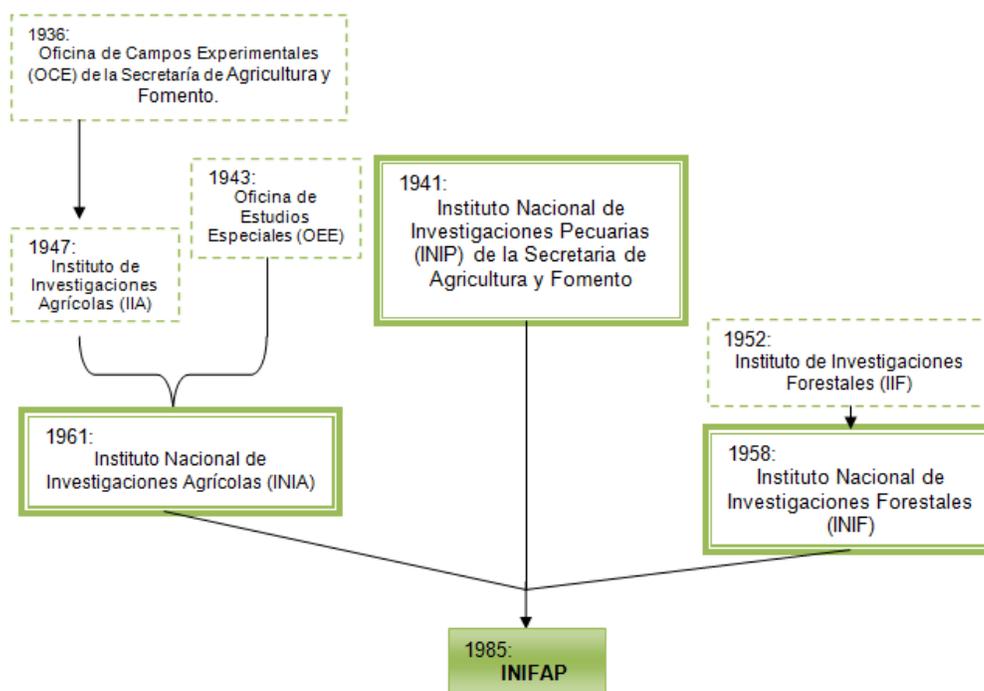
En ese contexto, la agricultura estaba sumergida en una crisis estructural que trajo como consecuencia lógica la pérdida de la tan afamada autosuficiencia alimentaria y se da paso a una dependencia mayor del exterior.

En el caso del extensionismo agrícola, las reformas provocaron la disolución del sistema de extensión nacional y estimularon la creación de un mercado de extensión privada en todo el país que apoyaría la ejecución de los programas gubernamentales en el nivel local (OCDE, 2011). En efecto, la política de precios de garantía que se tenía hasta 1988 se elimina partir de 1989 y éstos son sustituidos por pagos directos a los productores agrícolas.

Del lado de la investigación agrícola, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) creado en 1985 fue designado en 2003 como un centro público de investigación autónomo. Asimismo, la creación de las Fundaciones Produce, instituidas en 1996, fue una innovación institucional importante. Se trata de instituciones dirigidas en forma privada, constituidas en el nivel estatal con un órgano de

coordinación federal, la Coordinadora de las Fundaciones Produce (COFUPRO). Las fundaciones son financiadas a partes iguales por los niveles federal y estatal. Se pusieron en marcha para asegurar una mejor identificación de la demanda y permitir los productores influir más sobre el programa de tecnología (ibíd.).

Figura 14. Origen del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias



Fuente: Valenzuela, 2011.

Asimismo, no obstante hasta la década de 1990 la ley agraria prohibía la renta o venta de las tierras si su tenencia era ejidal o comunal (y cerca de la mitad de la tierra agrícola nacional lo era, y aún lo es), en 1992 se dio el primer paso hacia la privatización de la tierra ejidal y comunal con la modificación del artículo 27 de la Constitución al abrir la posibilidad de que un ejidatario o comunero pueda disponer de su predio en propiedad privada, rentarlo o venderlo (Hewitt , 2007).

Por otro lado, sobre la idea de que para finales de la década de los ochenta el deterioro de la infraestructura de irrigación en México había comenzado a afectar seriamente la productividad de las tierras bajo riego (Banco Mundial, 1995 y Kloezen, 1998, en Naylor y Puente-González, 2001), el gobierno decide transferir, también en 1992, el control del agua a los grupos agrícolas locales sobre la idea de que conocían mejor las condiciones específicas de sus localidades y estarían dispuestos a pagar la mayoría de los costos de mantenimiento si los resultados fueran claramente visibles (Naylor, R.L., W.P. Falcon, and A. Puente-González, 2001)

En ese mismo contexto, dos años después, en 1994, entra en vigor el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) con el principal objetivo de eliminar todas las barreras arancelarias entre México y Estados Unidos. Para sectores protegidos como la agricultura se estableció que todos los intercambios entre ambas naciones estarían libres de impuestos para el 2008, es decir, en un plazo posterior de 15 años (Valle, 2002).

Cabe mencionar que a pesar de los malos augurios que los especialistas vaticinaban al campo sonorenses a raíz de la puesta en marcha del TLCAN, el agro local no registró cambios sustanciales en el patrón de cultivos, pues se mantuvo la misma estructura conformada mayoritariamente por granos y oleaginosas (Contreras y Bracamonte, 2012). En el caso del Valle del Yaqui, posiblemente el cambio más notorio se dio en las variedades de trigo sembrado, al pasar de trigo harinero a cristalino, un producto con mayor demanda en los mercados internacionales (ibid).

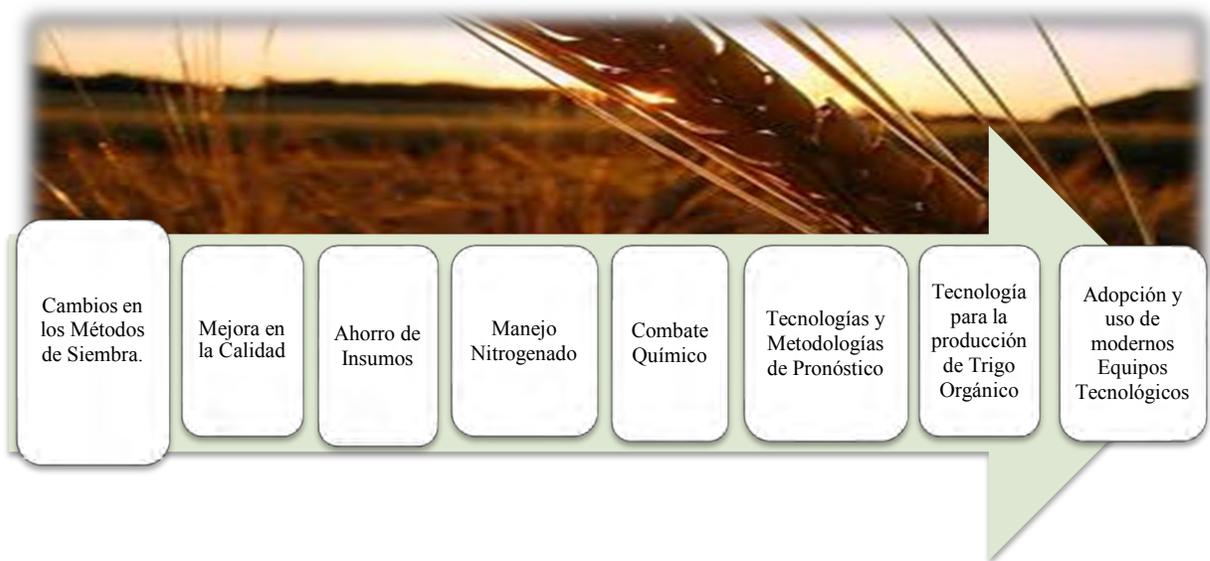
En suma, entre los cambios más importantes que afectaron al sector agrícola durante este periodo fueron:

- ✓ Una política de desregulación económica que disminuyó considerable la intervención estatal;

- ✓ La eliminación del extensionismo agrícola;
- ✓ La descentralización en la administración de los Distritos de Riego;
- ✓ Los cambios al artículo 27 de la Constitución; y
- ✓ La apertura comercial con la firma del TLCAN;

A pesar de la nueva realidad, la investigación y le experimentación agrícola en torno al cultivo del trigo en el Valle del Yaqui ha continuado generando, validando y difundiendo hasta hoy en día innovaciones tecnológicas que han cambiado la forma de llevar a cabo la agricultura en la región.

Figura 15. Clasificación de las innovaciones tecnológicas desplegadas en la post-Revolución Verde



Fuente: Elaboración propia

2.3 De la Revolución Verde a la Post-Revolución Verde. Un proceso de cambio y continuidad

Sobre la base de la narrativa precedente, se podría decir que durante el primer periodo de análisis fueron varios los factores que convergieron y propiciaron la generación de un ecosistema para el desarrollo de la innovación agrícola en torno al cultivo del trigo en la región del Valle del Yaqui y cimentaron con ello las bases para el desarrollo de la revolución verde no solo en México sino en el mundo. Esas condiciones fueron concretamente:

- ✓ Una estrategia política de modernización nacional favorable;
- ✓ La creación en 1943 de la Oficina de Estudios Especiales (OEE);
- ✓ La visión del Dr. Norman Borlaug para trasladar el programa de investigación en trigo al noroeste de México, específicamente al Valle del Yaqui;
- ✓ La actitud y el apoyo brindado por los agricultores del Valle del Yaqui hacia la investigación; y
- ✓ El apoyo institucional a la investigación con la localización de dos Centros de Investigación agrícola y un Patronato.

Desde entonces hasta hoy en día, mientras algunas circunstancias han cambiado, otras han logrado prevalecer:

- *Transición de una política proteccionista a una de corte neoliberal: el sector agrícola deja de ser prioritario en la agenda estatal.*

Resulta evidente que de una política de modernización nacional que impulsó el auge del sector agrícola durante el periodo de sustitución de importaciones, se transitó hacia una desregulación económica y comercial que ha provocado que los agricultores del Valle del Yaqui tengan que estar en una constante búsqueda por ser más competitivos:

Las condiciones de aquél tiempo eran muy distintas; en aquél tiempo era más redituable la actividad agrícola, había precios de garantía, el gobierno intervenía de otra manera, te subsidiaba mucho la cadena de insumos...había muchas más condiciones favorables; ahora espérame tantito me están diciendo “oye Castro hay que jugar en grandes ligas, ahorita te vas a dar un tiro con el productor de Canadá y EU”; espérame! si le entro pero dame armas! no?, la maquinaria que compramos es la maquinaria usada que desechan los gringos, los subsidios que tenemos, además de ser pocos siempre llegan retrasados; por eso yo critico y cuestiono mucho los comentarios acerca de que los productores de trigo del Yaqui nos estancamos, no es cierto!, ponme a mí al mejor productor de trigo del mundo aquí y órale! vamos a darnos “un tiro” a ver si es cierto; o llévame a Canadá o a EU a sembrar con él, en otras condiciones, y vas a ver que no somos tan malos (Castro, 2013).

- *Agricultores menos adversos al cambio técnico.*

Aquellos agricultores conservadores y desinteresados por los beneficios que los avances tecnológicos de la investigación agrícola podría traerles, se han transformado en agentes menos adversos al cambio técnico, pues “en cuanto ven una tecnología buena y rentable la adoptan de inmediato” (Valenzuela y Camacho, 2013), con base en esa premisa se intuye también que las nuevas generaciones de agricultores se encuentran inmersos en una lógica distinta a la de sus padres o abuelos en cuanto al acceso y uso de la tecnología. Un pequeño ejemplo de ello es que lo que en aquel tiempo por intuición se preveía como un “buen” año agrícola, hoy en día se evalúa y se pronostica con herramientas de medición y pronóstico del clima.

- *Productores más competitivos. El mercado se ha convertido en un importante incentivo al cambio*

Se ha dado un proceso constante de criba en los productores, que bien podría asociarse a un proceso de “selección natural”, donde se van quedando los que realmente pueden

competir en un contexto de máxima competencia como es el proceso de integración global que prevalece actualmente. Como diría Jorge Castro (2013):

[...] o eres bueno o eres el mejor o te chingas!, no te queda otra; aquel que no tiene la organización, el conocimiento, la actitud, que no sabe administrar va para afuera! Si tu quieres entrarle al negocio y no tienes el conocimiento pues te vas agarrar de alguien que sepa y lo que él haga lo vas imitar [...] el agricultor sin vocación con un terreno malo (en calidad) fue lo primero que tronó hace muchos años, ya no existe eso; el agricultor sin vocación con un terreno regular pues también tronó, habrá sus excepciones; y el agricultor con vocación y con terreno bueno, sí existe, los hay más pero son sumamente pocos [...] hoy en día el encajonamiento en el que estamos los productores de grano como consecuencia del tratado de libre comercio nos obliga a ser, además de agricultor, economista, administrador y contador; a estar monitoreando constantemente el “Chicago Board of Trade”,⁴³ la variación de los precios, conocer cuando hacer ventas a futuro y estar comprando coberturas, poseer credibilidad para el acceso al crédito, acceder a tecnología de punta para la mejora continua; eso nos ha orillado a ser más eficientes, más productivos, a manejar economías de escala; si yo sembrara las 80, 100 ha. que sembraba mi papá, por más bueno que fuera no la hubiera hecho...sembrando trigo no! [...] entonces definitivamente aquí prevalece la lucha entre los agricultores muy buenos que tienen las tres modalidades de terreno; son los agricultores que ahorita mantienen viva la economía de la región.

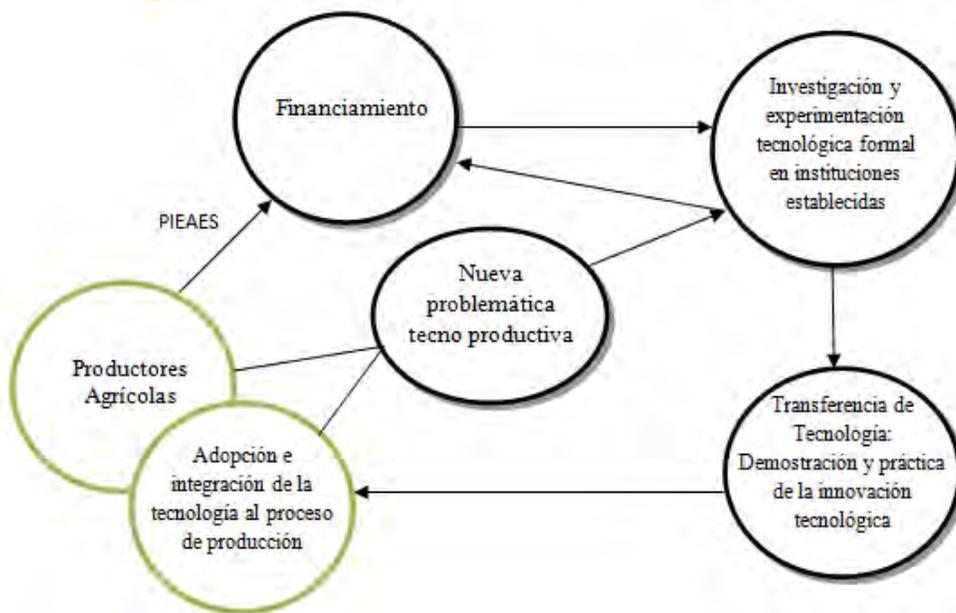
- *De un proceso de innovación lineal se pasó a un proceso de innovación interactivo.*

No obstante hasta hoy en día los objetivos de la investigación se siguen centrando en las necesidades y problemas de los productores agrícolas, de un proceso de innovación lineal centrado en la oferta tecnológica se paso a un proceso de innovación interactivo centrado en la demanda. Mientras en la década de los años 40 la investigación nació de una agenda agrícola definida por el gobierno federal y el proceso de innovación era unidireccional basado en la oferta tecnológica con poca retroalimentación entre el

⁴³ EL Chicago Board of Trade se fundó en 1848, es el mercado de futuros y opciones más antiguo del mundo. El CBOT originalmente sólo se comercializaban productos agrícolas básicos como trigo, maíz y soja. Luego, pasó a ofrecer opciones y contratos de futuros sobre una amplia gama de productos, incluido el oro, la plata, los bonos del Tesoro de EE.UU. y la energía (http://es.wikipedia.org/wiki/Chicago_Board_of_Trade)

productor y la investigación, ahora el proceso de innovación posee un carácter participativo, pues los agricultores son tomados en cuenta por la investigación científica y tecnológica al ser éstos los que operan y manejan directamente la producción y por tanto los que se enfrentan a las problemáticas del campo. Se trata de un esquema interactivo basado en un fuerte intercambio entre la identificación de las demandas basadas en las necesidades del sector, y la búsqueda de soluciones. En ese sentido, los productores definen primero las necesidades o problemáticas a las que se enfrentan en el proceso productivo y con base en ello demandan las innovaciones. Sin embargo su rol no se limita a ser demandantes de soluciones, también contribuyen con el proceso de generación de innovación al proveer de recursos financieros a la investigación por medio del Patronato (PIEAES). Una vez identificada la problemática, la hacen del conocimiento de las instituciones de investigación: INIFAP y CIMMYT. Posteriormente éstas escalan la problemática de los productores a la Fundación Produce Sonora quién canaliza los fondos públicos y privados para el desarrollo de la investigación y la experimentación. Acto seguido las instituciones de investigación desarrollan y validan las innovaciones tecnológicas para su posterior transferencia a los productores para su adopción. En suma, es un proceso dinámico de demanda y oferta tecnológica donde prevalece una fluida relación de intercambio mutuo.

Figura 16. Proceso de innovación interactivo centrado en la demanda



Fuente: elaboración propia

- *El apoyo del sector triguero a nivel de los productores nunca ha fallado y sigue siendo así:*

Siguen tratando de influenciar la política de los gobiernos, estatales y federales, para que apoyen la investigación; nunca nos quitaron los terrenos, acabamos de firmar con el patronato un convenio para 200 has. de tierra con todo su equipo de riego para 30 años más, otra generación!; entonces no estamos hablando de una ayuda simbólica o de puras palabras, estamos hablando de gente que realmente se involucra en la investigación. Lo único que ha cambiado con referencia al apoyo de los productores a la investigación es que antes eran contados los que lo hacían, era un apoyo muy personalizado; ahora es un apoyo institucionalizado “no es fulano de tal que apoya a fulano de tal para la investigación del INIFAP, no!; es el PIEAES, es la Fundación Produce Sonora los que apoyan a una entidad institucional donde se realiza la investigación pero la intensidad y las ganas de ayudar, de apoyar la investigación sigue siendo tan intensa que en la época de Borlaug (Ammar, 2013)

- *El sistema de producción de trigo sigue siendo un modelo a seguir a nivel mundial:*

Es quizá de lo más organizado, de lo más exitoso, de lo más visionario que he visto en todo el mundo y que muchos países en el mundo deberían de tomarlo como ejemplo, por lo menos ver el por qué del éxito y tratar de aplicar algo similar. En ningún lugar los agricultores tienen bajo control la semilla con el Patronato y los usuarios del agua; en el aspecto sanitario se protegen de los problemas a través de la junta local de sanidad etc. [...] (ibíd.).

- *Las técnicas y las herramientas han cambiado.*

No obstante el objetivo sigue siendo el mismo, hoy en día son diferentes desde luego las técnicas y las herramientas para la investigación y la experimentación agrícola. Mientras en aquél entonces las únicas herramientas disponibles eran un cuaderno y un lápiz, hoy en día el ritmo de los avances tecnológicos es considerablemente más acelerado, lo que en consecuencia hace posible que los procesos de mejoramiento vegetal sean también más rápidos y precisos:

A pesar de la ausencia del Dr. Borlaug, la lucha y los principios que nos guían son los mismos que lo guiaron a él, si bien la ciencia de la genética ha cambiado mucho tecnológicamente, los fundamentos no; lo que nos motiva, nuestra lucha por ayudar a los agricultores a mejorar, es la misma, somos la misma bola de científicos con la misma mentalidad, herramientas nuevas pero siempre con el mismo objetivo (ibíd.).

- La investigación agrícola moderna es mayormente competitiva.

La competitividad de la investigación agrícola moderna es mucho mayor si se le compara con la del periodo de la Revolución Verde. Desde ese punto de vista lo que se ha hecho después de la RV es de igual o de mayor relevancia de lo que se hizo entonces. Evidencia de ello es la rápida capacidad de respuesta que hoy se tiene ante las crisis. Por ejemplo, en el 2001 hubo una crisis provocada por la roya en el Valle del Yaqui y todos

los campos se volvieron cafés. Ante ello, en un periodo de 18 meses se reemplazaron las más de 150 mil hectáreas de una variedad susceptible con otra variedad resistente:

Nunca en el mundo, incluyendo a países como china u otros países donde el gobierno manda todo, nunca se ha visto una respuesta tan rápida de todo el sistema; la investigación, el reproductor de semilla, las autoridades estatales, las autoridades federales; todo el sistema se movilizó como en periodo de guerra para responder a esa crisis; y eso es uno de los logros de la investigación moderna post-revolución verde (ibíd.).

Asimismo, la crisis de agua que se presentó en el ciclo agrícola 2003-2004 derivó en el desarrollo de variedades de trigo que pueden producir seis ton/ha. con la mitad de agua. Es decir, se dio un paso adelante en el uso eficiente del agua, lo cual “es un logro muy significativo pero nadie habla de eso y es un logro no solamente de la investigación sino de los productores que están aprendiendo a manejar de una mejor manera el recurso y otros insumos como el nitrógeno” (ibíd.).

Otra crisis que se tuvo que enfrentar es la de exportación; hace unos años los agricultores no podían exportar el trigo por no contar con la calidad requerida por el mercado internacional. En dos años se desarrollaron nuevas variedades que tenían la misma calidad de los mejores trigos canadienses o estadounidenses. A pesar de que no se expandieron mucho a nivel de los productores, pues ya no había mercado, esa respuesta tan rápida no se ve en muchos lugares en el mundo (ibíd.).

Lo que se quiere decir con todo lo expuesto líneas arriba, es que a pesar de que en los últimos años no se dio una multiplicación de los rendimientos, sí se dio una progresión muy notable de los mismos con un menor costo; se respondió a las crisis, crisis que pudieron haber marcado la producción triguera en la región y que por el contrario la fortalecieron. Entonces a decir del Dr. Ammar (2013) “ahora la investigación y el sistema producto del trigo en México y en especial en el Valle del Yaqui es mucho más

fuerte, más eficiente y más competitivo. Se tiene mucha menos vulnerabilidad, mayor capacidad de respuesta y mayor potencial de producir progreso”.

- *De un enfoque productivista de se está evolucionando a un enfoque sustentable de la producción.*

Mientras en el periodo de la Revolución Verde se instauró un enfoque productivista que buscaba más que nada un aumento masivo en el rendimiento y la producción, hoy en día la investigación está orientada hacia una producción más sustentable. Visto desde esa perspectiva, mientras en el pasado uno de los logros de la investigación fue hacer que las plantas hicieran un uso más eficiente de los insumos al ser capaces de soportar dosis en mayores cantidades, ahora el concepto del uso eficiente de insumos se apega a la idea de lograr que las plantas mantengan o incrementen su productividad con la menor cantidad posible de ellos.

- *Diferentes modalidades de innovación tecnológica.*

La idea de que durante el periodo de la Revolución Verde se forjaron innovaciones de carácter radical y a partir de entonces éstas se han caracterizado por darse de forma paulatina e incremental constituye uno de los puntos centrales de esta investigación.

El periodo de gestación y desarrollo de la Revolución Verde (1943/44-1974/75) constituyó un periodo de optimización inicial caracterizado por la generación de innovaciones de carácter radical. Ello, sobre la base de que la innovación tecnológica más palpable fue la derivada del componente genético,⁴⁴ el cual tras constantes años de

⁴⁴ La trayectoria tecnológica del trigo en el Valle del Yaquí consta de dos componentes, el genético y el agronómico. El componente genético asociado al cultivo del trigo puede ser descrito como el proceso de mejora genética llevado a cabo

investigación y ensayos hizo posible el desarrollo de variedades de trigo que posibilitaron un incremento significativo en la productividad del cultivo. De acuerdo a lo anterior, no obstante el sistema de investigación embrioncito iniciado por el Dr. Borlaug en 1945 inició de cero en el Valle del Yaqui, se lograron notables saltos en el rendimiento promedio del trigo, de tal manera que entre los ciclos agrícolas O-I 1943/44 y 1973/74, éste se triplicó al pasar de 1.5 a 4.58 ton/ha, es decir, experimentó un incremento absoluto de 3.08 ton/ha (un incremento promedio anual de 102.6 kg/ha), lo que representa un cambio porcentual del 205% y una tasa de crecimiento promedio anual de 6.8% (véase figura 18 pág. 78).

Por su parte, el periodo de la post-revolución verde (1974/75-2013/14) constituye un periodo de evolución caracterizado por la generación de innovaciones de carácter incremental, donde, a diferencia del primer segmento de la trayectoria, la generación de innovaciones orientadas hacia el mejoramiento agronómico del cultivo ha venido tomando mayor relevancia. El carácter incremental de la innovación puede verse reflejado en la productividad del cultivo, la cual ha tenido un crecimiento paulatino si se le compara con la del periodo anterior (véase figura 17). En ese sentido, a lo largo de las últimas cuatro décadas, el rendimiento medio del trigo en el Valle del Yaqui pasó de 4.58 a 7.13 ton/ha., éste último alcanzado en el ciclo O-I 2011/2012. Lo anterior significa que durante el periodo de la post-revolución verde se ha experimentado un incremento absoluto de 2.55 ton/ha (un incremento promedio anual de 63.8 kg/ha), lo

por medio de un proceso de cruzamiento, o hibridación sexual, entre dos variedades distintas de trigo con la finalidad de transferirle características nuevas y deseables a una nueva variedad. Por su parte, el componente agronómico, corresponde a la parte del manejo del cultivo a través de distintas especificaciones, tales como fechas, métodos y densidades de siembra, métodos de labranza, calendario de riegos, fertilización y control fitosanitario, que hacen posible que el material genético de la planta exprese todo su potencial de rendimiento, además de buscar mejorar la calidad del producto y la rentabilidad del agricultor.

que representa un cambio porcentual del 55.7% y una tasa de crecimiento promedio anual de 1.4%.

Figura 17. Comparación del incremento en el rendimiento medio del trigo del Valle del Yaqui por periodos

Periodo	Rendimiento Inicial	Rendimiento final	Rendimiento: Incremento absoluto ton./ha.	Rendimiento: cambio absoluto	Rendimiento: crecimiento promedio anual	Rendimiento: Incremento promedio anual (kg./ha.)
RV: 1944-1974	1.50	4.58	3.08	205.3%	6.8%	102.7
Post-RV 1974-2014	4.58	7.13	2.55	55.7%	1.4%	63.8
1944-2014	1.50	7.13	5.63	375.4%	5.4%	80.4

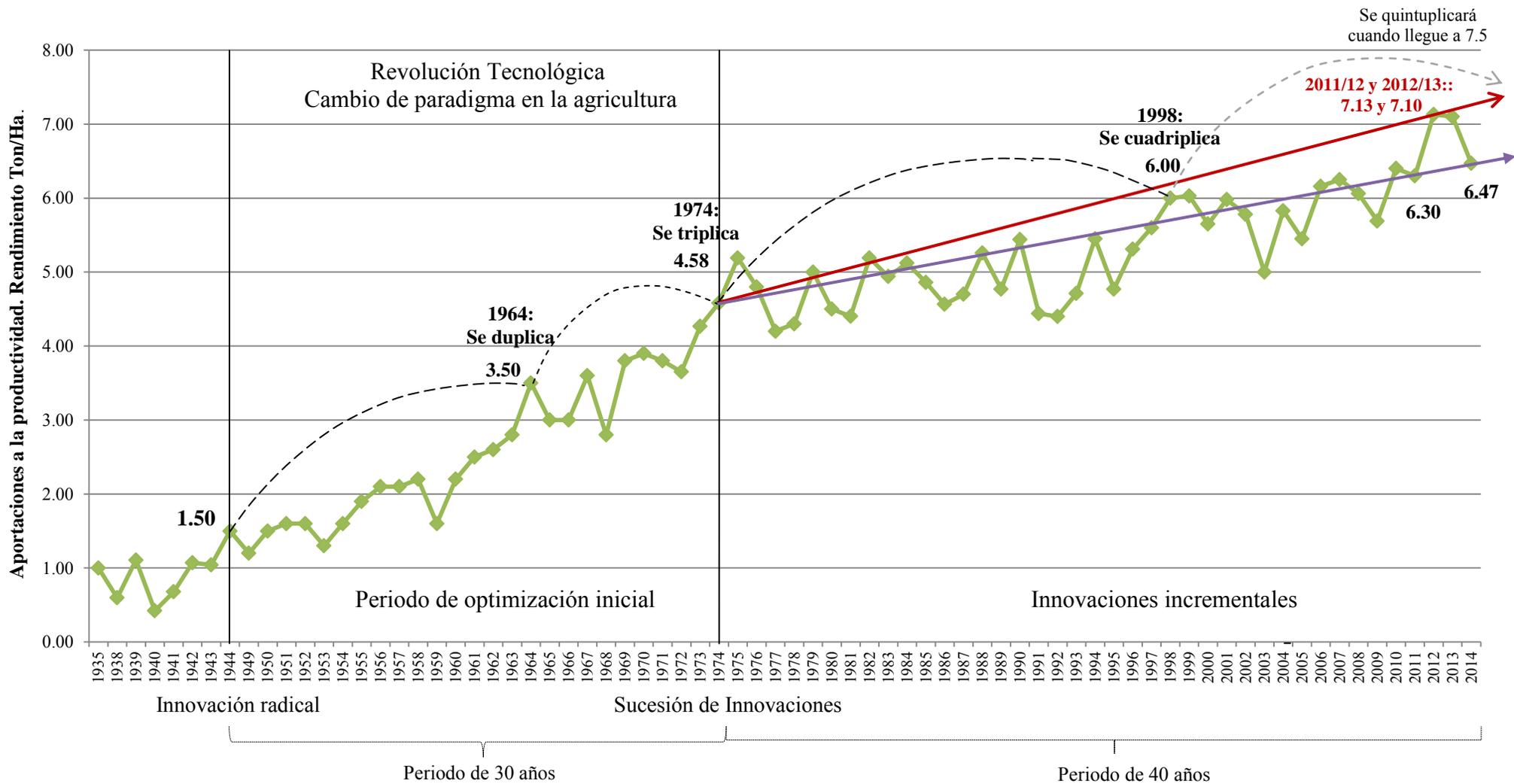
Nota: 1944= ciclo O-I 1943-1944;2014= ciclo O-I 2013-2014, etc.

Fuente: elaboración propia con base en los datos de la gráfica 1.

En perspectiva histórica, la aplicación del paquete tecnológico desplegado a lo largo de las últimas siete décadas, ha contribuido con el incremento promedio de 80 kg/ha anualmente al rendimiento del trigo en el Valle del Yaqui, ello significa que se experimentado un incremento absoluto de 5.6 ton/ha, lo que representa un cambio porcentual del 375% y una tasa de crecimiento promedio anual de 5.41%.

De acuerdo con los datos anteriores y la figura 18, se puede decir que la trayectoria del rendimiento medio del trigo en la región ha venido manteniendo una tendencia positiva a lo largo de las últimas siete décadas:

Figura 18. Trayectoria tecnológica. Evolución del rendimiento medio del trigo en el Valle del Yaqui (ton/ha.), 1935-2014.



Nota: 1944= ciclo O-I 1943-1944; 2014= ciclo O-I 2013-2014, etc.

Fuente: Elaboración propia con datos de los Informes estadísticos anuales de la S.R.H. y de la S.A.R.H., en Margulis y Gibert, 1978; SARH, representación Sonora, Plan de Desarrollo Agropecuario y Forestal 1982-88 en Ramírez, Conde y León, 1997; Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP); Puente González, 2001; Otero, 2004; Vietmeyer, 2009; Hewitt de Alcántara, 1988; Sayre, et al., 2006 citado en Camacho 2011;

Es notable que primero hubo un periodo de adaptación y ejecución de la Revolución Verde y posteriormente aparentemente un periodo de estancamiento donde se dieron innovaciones incrementales que han venido elevando el rendimiento de una manera más paulatina.

Figura 19. Cambios en el rendimiento medio del trigo en el Valle del Yaqui, 1944-2014.

Año	Rendimiento alcanzado (ton/ha.)	Multiplicación del rendimiento inicial	Horizonte temporal	Acumulado
1944	1.50	---	---	---
1964	3.50	Se duplica	20 años	20 años
1974	4.58	Se triplica	10 años	30 años
1998	6.00	Se cuadruplica	24 años	54 años
2014	6.47	---	---	70 años
? año	7.50	Se quintuplicará	? años	? años

Nota: 1944= ciclo O-I 1943-1944 ;2014= ciclo O-I 2013-2014, etc.

Fuente: elaboración propia con base en los datos de la gráfica x.

En ese sentido, tomando como referencia un rendimiento inicial en 1944 de 1.5 ton/ha., se podría decir que para que en el periodo de la post-revolución verde se obtengan resultados de la misma magnitud que se dieron durante el periodo de la RV (es decir, un incremento promedio de 3 ton/ha.), el rendimiento medio deberá llegar a las 7.5 ton/ha. Lo que significa que el progreso productivo que en aquél entonces se alcanzó en un periodo de treinta años, en los cuarenta años que van de la post-revolución verde ese progreso aún no se ha podido igualar.

Los resultados obtenidos en el 2012 y 2013 parecían estar augurando una dirección que pronto podría estar llevando a la quintuplicación del rendimiento, sin embargo, el resultado de este ciclo agrícola reclinó de nuevo la tendencia.

La hazaña del año 2012 (ciclo O-I 2011/12) fue incrementar el rendimiento promedio por hectárea en 830 kg. tras pasar de 6.3 a 7.13 ton/ha. Ese salto en la

productividad representa un hecho sin precedentes en la trayectoria productiva del trigo en el Valle del Yaqui. A raíz de ello, ese año la región se posicionó como la mejor zona productora del mundo (en ciclos de seis meses). Según el Dr. Karim Ammar⁴⁵, genetista y fitomejorador del CIMMYT, la obtención de ese rendimiento no es de lo más alto en el mundo pues hay dos lugares en Europa, que están obteniendo rendimientos promedio de 8 ton/ha. (aproximadamente), sin embargo, es un trigo que se siembra en septiembre y se cosecha en julio, es decir que son trigos de diez hasta once meses con un periodo de frío que permite la formación de muchas espigas y de buen tamaño. En cambio, en palabras del Dr.:

Nosotros obtuvimos una tonelada menos que ellos por hectárea pero en cinco meses, sembrado en diciembre y cosechado en mayo; con la cantidad de materia seca o grano acumulado por día en los trigos mexicanos, bajo las condiciones de producción de los agricultores mexicanos (el riego y el manejo todo es mucho más eficiente y competitivo que en cualquier parte del mundo) estamos llegando casi a los rendimientos record de Inglaterra y de Francia pero en la mitad del tiempo, lo que quiere decir que genéticamente la variedades que se están utilizando, las variedades de los compañeros del INIFAP, que tuvimos la suerte de desarrollar con ellos, y el manejo de los productores de aquí de Sonora, es algo que a nivel mundial es de lo más competitivo y de lo más sobresaliente que hay y esto es muy importante enfatizarlo porque esto también es a raíz de la Revolución Verde (Ammar, 2013).

Para el año 2013 (ciclo agrícola 2012-2013) se pensó que se volvería a los rendimientos normales de seis toneladas por hectárea, sin embargo, la hazaña se volvió a repetir no obstante el rendimiento decreció 30 kg/ha. al pasar de 7.13 a 7.10 ton/ha..

El hecho de que en esos dos últimos ciclos agrícolas se obtuviera un rendimiento medio por encima de las siete toneladas por hectárea parecía estar incubando la idea entre

⁴⁵ El Dr. Ammar cuenta con 18 años de experiencia en el mejoramiento del trigo. De los cuales doce son como parte del equipo de investigación de CIMMYT México, y seis años en Estados Unidos a la cabeza de un programa de mejoramiento de trigo también.

los investigadores y los productores de que se había dado un salto seguro y que el rendimiento podría seguir avanzando a un ritmo más acelerado.

Sin embargo, observando los datos del ciclo agrícola que acaba de finalizar (O-I 2013-2014) el rendimiento cayó hasta en 800 kg. por hectárea en promedio al pasar de 7.10 a 6.47. Lo anterior significa que el rendimiento medio en la región decreció casi en la misma magnitud en que se incrementó para el ciclo 2011/12 (830 vs 800 kg./ha.). Ello significó una caída en la producción aproximada a las 320 mil toneladas, es decir, 18% menos del volumen esperado y alrededor de mil 250 millones de pesos menos (El Imparcial, 27 de mayo de 2014).

Ante dicha situación, el jefe del Distrito de Desarrollo Rural 148 Cajeme expresó que era:

Una situación normal (el rendimiento), no es algo alarmante [...] La producción lograda tiene valores considerados normales [...] Hay estudios estadísticos que nos dicen que ha habido promedios de menos de cinco toneladas por hectárea años atrás, lo más común son rendimientos de 6 toneladas [...] Pero el año pasado y el antepasado tuvimos rendimientos de 7.1 y ya nos habíamos acostumbrado a ese rendimiento, y yo veo que lo que pasa es que nos acostumbramos muy rápido a lo bueno (El Imparcial. 31 de mayo de 2014).

Pero entonces ¿qué fue lo que sucedió?, ¿cuáles son los factores que explican que los resultados de los ciclos agrícolas 2011/12 y 2012/13 sean ahora considerados excepcionales y/o anormales en la trayectoria del rendimiento medio del trigo de la región?

En el Valle del Yaqui las siembras siempre se han cargado sobre una variedad de preferencia por su alto rendimiento y rentabilidad. Tal es el caso de la variedad Cirno-2008 que durante los últimos tres ciclos agrícolas (2011/12, 2012/13 y 2013/14) se mantuvo dominando en un 80% la región. Sin embargo, este último ciclo a diferencia de los dos pasados, Cirno no rindió de igual manera pues se vio afectada por factores

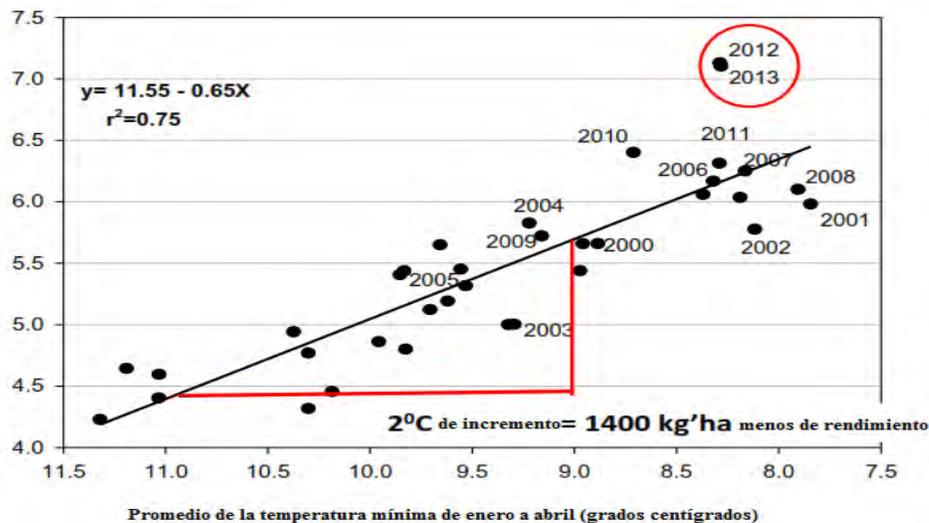
climáticos que incidieron en su desarrollo, tal es el caso, según los expertos, de la disminución de las horas frío⁴⁶ y la lluvia y granizada registrada el 09 de marzo pasado (Diario del Yaqui, 28 de mayo de 214).

En la agricultura el clima es uno de los principales factores que influyen en el establecimiento y desarrollo de los cultivos (Secretaría de Fomento Agropecuario. S/f). Dentro de los elementos climáticos, las horas frío son un indicador que influye de manera directa en el rendimiento anual del trigo, pues un cambio de pocos grados puede propiciar un cambio significativo en la tasa de crecimiento y desarrollo vegetal (Ruiz, Medina, Grageda, Silva y Díaaz, 2005, 19). La experiencia indica que en años fríos se alarga el ciclo biológico del trigo y por lo general se genera un mayor rendimiento del grano (INIFAP, 2009). En ese sentido un año “bueno” o un año “malo” queda supeditado en gran medida a las temperaturas registradas a lo largo del ciclo agrícola.

Por lo tanto, visto desde esa perspectiva, el periodo invernal 2011/12 y 2012/13 para el Valle del Yaqui se puede catalogar como muy bueno; no llegó calor al final del ciclo y se acumularon suficientes horas frío para el buen desarrollo del trigo, situación que difiere con la del último año.

⁴⁶ Las horas frío efectivas se calculan con el método INIFAP aquél que contabiliza el número de horas con temperaturas entre 0 y 10 grados centígrados, restando aquéllas horas del día en que se superen los 25 grados centígrados.

Figura 20. Relación entre el rendimiento del grano de trigo en el Valle del Yaqui Sonora y la temperatura mínima de enero a abril (1979-2013)



Fuente: Joachim Braun, 2014.

No obstante, si bien los datos presentados en la gráfica de arriba muestran que los ciclos agrícolas 2012 y 2013 presentaron un buen promedio de bajas temperaturas, también resulta evidente que históricamente ha habido años (2001, 2002, 2007, 2008) que también se han visto beneficiados por el factor clima en la región, no obstante en ninguno de ellos se logró un rendimiento medio de 7 ton./ha.

Con ello se quiere decir que aunado a las condiciones climáticas, los resultados de la investigación (nuevas variedades de trigo; tecnología de mejoramiento agronómico) y la destreza del productor en el manejo del cultivo también influyen de manera significativa en los resultados de la cosecha. No por nada Valenzuela y Camacho (2013) afirman que Cirno 2008 pasará a formar parte de la historia como la mejor variedad desarrollada hasta entonces, gracias a que entre sus cualidades se encuentra su gran potencial de rendimiento.

CAPÍTULO III

Trayectoria de innovación en el trigo del Valle del Yaqui, Sonora

Dr. Borlaug's last words were: "Take it to the farmers," when he talked to Art Klatt and Bill Raun about the Nitrogensensor technology. I think no other words could summarize better what Dr. Borlaug stood for. Farmers, poor farmers and their families were always in the center of his thinking. This was, is, and will remain the ultimate goal of CIMMYT. If we fail in this aspect, we fail in everything we do and we would not pay the tribute to Norman Borlaug he deserves⁴⁷

Hans Joachim Braun, 2014.

Introducción

El mejoramiento genético ha existido a lo largo de la historia como una función desempeñada por la propia naturaleza, de esa manera, ésta se ha encargado de ir seleccionando genotipos que mejor se adaptan a su medio ambiente, a lo que en Biología se le ha considerado un proceso de selección natural. Dicho proceso continuó cuando el hombre aprendió a domesticar las plantas seleccionando y multiplicando aquéllas con mejores características. En ese entonces, no se contaba con todos los avances tecnológicos que existen hoy en día para determinar cuáles eran los mejores genotipos, de esa manera, las únicas herramientas disponibles eran la vista, el olor y el gusto, es decir, los sentidos organolépticos, y el criterio lógico de conservar y reproducir las semillas de las plantas mejor adaptadas a las inclemencias del clima. Hoy en día, el hombre sigue llevando a cabo esa tarea, esta vez, mediante el uso de herramientas y técnicas avanzadas que aceleran el proceso de mejora.

⁴⁷ Las últimas palabras del Dr. Borlaug cuando hablaba con Art Klatt y Bill Raun sobre la tecnología del sensor de nitrógeno fueron: "Llévenlo a los agricultores" Creo que no hay otras palabras que puedan resumir mejor lo que el Dr. Borlaug representaba. Los agricultores, los pobres agricultores y sus familias estaban siempre en el centro de su pensamiento. Este fue, es y seguirá siendo el objetivo final de CIMMYT. Si fracasamos en este aspecto, fallamos en todo lo que hacemos y no daríamos a Norman Borlaug el tributo que se merece. Traducción propia.

Lo anterior toma relevancia considerando que la región del Valle del Yaqui ocupa un lugar importante en la historia reciente de la evolución de ese proceso de mejora en la agricultura, principalmente en cuanto al cultivo del trigo se refiere. En ese sentido, actualmente es una de las principales regiones productoras de trigo en México y fuente de suministro de semilla y grano para gran parte del mundo, derivado de una trayectoria de producción ligada a la innovación tecnológica desde hace más de medio siglo, la cual se ha venido configurando con base en la dirección que ha tomado la aplicación de soluciones a problemas específicos que se presentan en el sector.

Con base en esa premisa, el objetivo del presente capítulo es caracterizar la trayectoria de innovación tecnológica en torno al cultivo del trigo en el Valle del Yaqui, Sonora, que se ha delineado desde la década de los años cuarenta hasta la actualidad; es decir, establecer el cambio y la continuidad de un patrón que une las innovaciones generadas durante la Revolución Verde con las innovaciones desarrolladas hasta la actualidad.

Es importante señalar que el hecho de considerar el periodo de análisis de la investigación de éste capítulo a partir de 1945, no asume la inexistencia de avances en materia de innovación agrícola en la región del Valle del Yaqui antes de ese año, incluso, como se mencionó en el capítulo anterior, para entonces ésta ya era una región mecanizada e irrigada, lo cual le proporcionó una ventaja comparativa ante el resto de las regiones agrícolas del país y la llevó a convertirse más tarde en la cuna de la revolución verde.

El capítulo se encuentra estructurado en cuatro partes incluyendo la presente introducción. En el segundo apartado se hace una revisión de la evolución del sistema embrionario de investigación emprendido en 1945 por el Dr. Norman Borluag en el Valle

del Yaqui, cuyo enfoque fue el mejoramiento genético de la semilla de trigo.⁴⁸ En el tercer apartado se describen algunas de las tecnologías desplegadas en el periodo de la post-revolución verde donde se ha venido consolidando un sistema de innovación agrícola para la región del Valle del Yaqui, lo que bien puede considerarse como un “Sistema Microsectorial de Innovación”, donde la investigación ha estado sustentada en un entramado de instituciones, constituido principalmente por los productores, representados en la figura del Patronato para la Investigación y Experimentación Agrícola del Estado de Sonora (PIEAES), así como por los científicos y técnicos del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) situados físicamente en el Campo Experimental Norman E. Borlaug (CENEB), entre otros.⁴⁹ Por último, en el cuarto apartado se hace una reflexión sobre los desafíos a los que actualmente se enfrenta la investigación científica y tecnológica agrícola y que constituyen las fuerzas que proyectan hacia donde se perfila el sendero de innovación, especialmente en el caso del cultivo del trigo.

3.1 Evolución de la innovación tecnológica en el periodo de la Revolución Verde (1945-1974)

La primera visita del Dr. Norman Borlaug al Valle del Yaqui en Sonora se remonta al año de 1945. Su objetivo en ese entonces era explorar las condiciones en las que ahí se llevaba a cabo la actividad agrícola. A pesar de que el valle era una de las regiones agrícolas más promisoras en comparación con algunas otras del resto del país, el escenario prevaleciente

⁴⁸ La división en dos segmentos de la trayectoria tecnológica del trigo en éste capítulo se hizo con base en el criterio establecido en el capítulo dos, es decir, en función de las características de la innovación y la evolución de la productividad del cultivo en la región.

⁴⁹ Se hace referencia a otros actores, debido a que como se verá en la segunda sección del capítulo hay una tecnología que es adoptada por el Distrito de Riego 041 del Valle del Yaqui.

era poco alentador; la variedad de trigo que se sembraba era un tipo duro, el Barrigón Yaqui, una variedad obsoleta sin mucho potencial de rendimiento, que incluso no era ni panificable, pero que bajo las condiciones en que se hacía agricultura en ese entonces era la variedad que mejor producto suministraba (Valenzuela y Camacho, 2013). Asimismo, existía un grave problema de roya o “chauixtle”⁵⁰ de tallo que atacaba el cultivo; el cual aunado al elemento varietal constituía una importante limitante en el avance productivo del cultivo y del sector.

Nueve meses después del viaje de exploración, Borlaug regresó al Valle para iniciar su programa de investigación de mejoramiento en trigo bajo la concepción de que si se lograba controlar el problema de roya y se enseñaba a los agricultores el manejo adecuado del cultivo, México podría producir todo el grano necesario para satisfacer su consumo.

Las técnicas de mejoramiento desarrolladas desde entonces se aplicaban, y se siguen aplicando, de manera integral en forma de paquete tecnológico cuyos dos componentes son el genético y el agronómico. El componente genético asociado al cultivo del trigo puede ser descrito como el proceso de mejora genética llevado a cabo por medio de un proceso de cruzamiento, o hibridación sexual,⁵¹ entre dos variedades distintas de trigo con la finalidad de transferirle características nuevas y deseables a una nueva variedad.⁵² Por su parte, el componente agronómico, corresponde a la parte del manejo del cultivo e incluye distintas especificaciones de fechas, métodos y densidades de siembra, métodos de labranza, calendario de riegos, fertilización y control fitosanitario que hacen posible que el material genético de la planta exprese todo su potencial de rendimiento, además de buscar mejorar la

⁵⁰ La roya o “chauixtle” de tallo es una enfermedad que se caracteriza porque las pústulas (uredias) son como herrumbre de color rojo ladrillo. Principalmente se presentan en el tallo, pero pueden atacar a toda la planta (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1980).

⁵¹ El proceso de cruzamiento o hibridación (alineación o apareamiento) sexual se lleva a cabo manualmente incorporando los genes de una planta con características deseables en otra.

⁵² Actualmente existen técnicas de mejoramiento más avanzadas asociadas a la biotecnología.

calidad del producto y la rentabilidad del agricultor. A lo largo de esta sección se podrá observar que la innovación tecnológica más palpable de éste periodo fue la derivada del componente genético, el cual requirió de un total de dieciocho constantes años de investigación y ensayos para llegar a desarrollar una semilla integral poseedora de lo que Vietmeyer (2009) considera los pilares de fuerza de las semillas de Borlaug.

A lo largo del camino, la investigación tubo sus altibajos, los cuales se reflejaban en periodos caracterizados de entusiasmo y expectativa, como en periodos de desánimo y temor de ver amenazadas las cosechas de trigo de los agricultores a causa de un problema derivado de los resultados de la investigación o por contingencias más allá de su control, ligados principalmente a la mutación de razas de la roya. En palabras de Borlaug “Parecíamos siempre encontrarnos con barreras más allá de las barreras. Para llegar a donde necesitábamos ir no había señales. Era un camino fuera del mapa conocido. De alguna manera teníamos que encontrar los pases y pasajes a través de los obstáculos [...]” (Vietmeyer, 2009, 242).

Sin embargo, a pesar de las condiciones adversas que pudieron presentarse, Borlaug y el equipo de científicos y jóvenes mexicanos⁵³ que trabajaron con él, lograron que los rendimientos del trigo se multiplicaran y que el Valle del Yaqui llegara a posicionarse

⁵³ Algunos de esos colaboradores de Borlaug fueron José Rodríguez, Benjamín Ortega, Leonel Robles, Roberto Osoyo, Raúl Mercado, Gregorio Vázquez, Alfredo García, Jacobo Ortega, Aristo Acosta, Teodoro Enciso, Alfredo Campos, Eva Villegas, José Guevara (el primer estudiante de Borlaug), Nacho Narváez (principal asistente de Borlaug en Sonora y fue él quien lo sustituyó en 1960 quedando a cargo de la Dirección del programa de trigo en el CIANO. Obtuvo un PhD en la Universidad Purdue en Indiana como parte del apoyo que la Rockefeller proporcionó a jóvenes científicos mexicanos de realizar estudios en el extranjero), Reyes Vega (quien estaba a cargo de la logística operacional del CIANO, llegó a convertirse en uno de los mejores polinizadores de trigo en el mundo) y “The bird boys”, según Vietmeyer (2009, 231) “Sin ellos, el mundo sería un lugar distinto. Le permitieron a Borlaug llevar a cabo cientos de polinizaciones cruzadas dos veces al año. Eran sus colaboradores en lugar de aprendices., juntos mejoraron la planta de trigo”, entre otros.

como una importante región triguera en México y el mundo como resultado de innovaciones cuyo desenvolvimiento histórico-tecnológico se describe a continuación⁵⁴

Figura 21. Borlaug y colaboradores mexicanos en el Valle del Yaqui, Son. 1952.



Fuente: CIMMYT⁵⁵.

Noviembre de 1945 sería el periodo donde inicia en Sonora la trayectoria del cambio tecnológico que transformó la agricultura y dio origen al paradigma de la Revolución Verde. En ese entonces el principal objetivo a atacar, además del bajo rendimiento, era la resistencia a la roya de tallo⁵⁶ que atacaba al cultivo del trigo.

En Sonora, el primer esfuerzo⁵⁷ del Dr. Borlaug consistió en poner a prueba las cuatro semillas que resultaron prometedoras de su primer ciclo agrícola experimental en el centro de México⁵⁸: Supremo, Frontera, Kenya Roja y Kenya Blanca, las cuales fueron la primera generación de semillas que parecía ser capaz de contener la lucha contra la roya

⁵⁴ Durante el desarrollo del capítulo será notorio el frecuente uso de una referencia: Vietmeyer, 2009 y 2009a. La razón se deriva de que actualmente es la única fuente escrita con base en la propia memoria del propio Borlaug; al autor le tomó veinticinco años de frecuente convivencia y desarrollo de entrevistas con el Dr. La obra consta de tres volúmenes cuya información permitió llevar a cabo la descripción de la trayectoria tecnológica de la semilla del cultivo del trigo en el Valle del Yaqui.

⁵⁵ Galería de fotos en <http://www.flickr.com/photos/cimmyt/>

⁵⁶ Según la FAO, las royas del trigo se manifiestan en forma de ampollas de color amarillo, marrón o negruzco que se forman en las hojas y los tallos, llenas de millones de esporas. Estas esporas, de apariencia similar a la herrumbre, infectan los tejidos de las plantas, dificultando la fotosíntesis y disminuyendo la capacidad de la planta para producir grano. <http://www.fao.org/news/story/es/item/177898/icode/>

⁵⁷ Antes de comenzar con los ensayos, el primer paso en el proceder del Dr. Borlaug fue incrementar el acervo de variedades de semilla, tanto de material nativo como de material importado de diferentes partes del mundo, para poder evaluar su comportamiento, compararlas y seleccionar (Valenzuela, 2011).

⁵⁸ El Batán, en el Valle de Texcoco. Terrenos de la Escuela Nacional de Agricultura en Chapingo.

por al menos unos años (Viertmeyer, 2009). De esa manera, usando como lugar de trabajo la vieja estación experimental “El Yaqui”⁵⁹ Borlaug procedió a llevar a cabo el siguiente periodo de ensayo (otoño-invierno, 1945-1946), el segundo en el país y el primero en el Valle del Yaqui, donde reprodujo las semillas resultantes del ciclo anterior y además cros polinizó sus primer cuarteto de variedades con otras que parecían poder optimar su comportamiento. Para finales de ese mismo año (1946) teniendo acumulados dos ciclos experimentales en Chapingo y uno en Sonora, Borlaug empezó a ver las señales de su primer progreso tecnológico pues fue en ese entonces que se dio cuenta que Frontera, Supremo y las dos Kenyas podrían mantener la frontera agrícola mientras él trabajaba en una mejor variedad para sustituirlas.

En abril de 1948 Borlaug organizó en el Valle del Yaqui lo que sería el primer Día de Demostración de muchos que se han llevado a cabo hasta la fecha. Para ello acudió a los distintos medios de comunicación disponibles en ese entonces en el valle para su divulgación a través de su lema “*Día de demostración del Agricultor-cerveza gratis y parrillada*”. El día llegó y la asistencia poco a poco ascendió a un total de 25 personas, sin embargo, veinte de ellos no eran agricultores y de los cinco que sí lo eran, cuatro acudieron por la cerveza gratis y solo uno⁶⁰ asistió con la auténtica intención de aprender. En palabras del mismo Borlaug: “[...] claramente, los locales no querían ayuda” (ibíd, 121). Sin embargo, junto con Enciso (uno de sus colaboradores) le mostraron a los agricultores las nuevas variedades de trigo y la manera de cultivarlas. El fracaso del evento fue relativo, pues semanas posteriores a él, Borlaug comenta que una docena de agricultores se estuvo

⁵⁹ Estación experimental construida por mandato del ex gobernador Rodolfo Calles en la década de los años treinta.

⁶⁰ Roberto Maurer fue el único agricultor que asistió al primer día de demostración en 1948 genuinamente interesado en las semillas y las recomendaciones que el Dr. Borlaug les mostró al total de los 25 asistentes a su evento. Ese día Maurer se dirige a Borlaug con las siguientes palabras: "Nunca he aprendido a cultivar bien el trigo, ¿podría venir y mostrarme que hacer?" (Viertmeyer, 2009, 122).

apareciendo de par en par en la vieja estación experimental, posibilitándole una nueva oportunidad de mostrarles sus parcelas de experimentación y explicarles las recomendaciones de cultivo (ibíd).

Antes de partir al centro de México para iniciar el nuevo ciclo agrícola, Borlaug había decidido donar las dos toneladas de trigo que obtuvo de sus ensayos a los agricultores locales, sin embargo, nadie mostró interés, ni siquiera aquéllos que eran apegados a él y a su trabajo⁶¹, pues consideraban contar ya con las mejores semillas (ibíd,123). Debido a la renuencia de los agricultores de usar las nuevas semillas, en el Valle del Yaqui aun predominaba el trigo Barrigón de mala calidad para pan. Sin embargo, a pesar de que Borlaug apenas preparaba su próximo cuarteto de variedades de trigo⁶², las variedades resultado de sus primeras cruza en 1945, ya superaban cualquier tipo de trigo cultivado en México hasta entonces (ibíd., 129).

A pesar del panorama, parecía que poco a poco los agricultores iban abriendo su mente a los beneficios que potencialmente podría brindarles el desarrollo de la investigación agrícola. En abril de 1949, al llegar el segundo Día de Demostración, esta vez sin algún tipo de publicidad, la asistencia al evento ascendió a casi 200 agricultores en total, cuyo comportamiento mostró incluso signos de mayor interés. Fue en esta ocasión cuando el “el gringo” les hizo saber a los agricultores un reciente descubrimiento: la tierra estaba mal nutrida, lo que significaba que ni la roya ni los genes constituían la limitante al

⁶¹ Aureliano Campoy y Rafael Fierros fueron dos de los agricultores que seguían de cerca el trabajo de Borlaug en la vieja estación experimental y sostenían lazos de amistad con él. El primero de ellos, fue un agricultor que aunque no colaboró directamente en el desarrollo de la investigación agrícola apoyó a Borlaug desde sus primeros trabajos en la vieja estación experimental, que quedaba justo atravesando la calle de su casa, prestando voluntariamente su maquinaria agrícola cada que era necesario, pues hay que tener en cuenta que cuando “el gringo” arribó a las tierras del Valle del Yaqui lo hizo sin el consentimiento de la institución que soportaba su trabajo, la Rockefeller, pues oficialmente tenía prohibido en ese entonces, trabajar en otro lugar que no fuera el centro de México: “El curioso vecino llevó voluntariamente su maquinaria agrícola. Cuando las parcelas necesitaban siembra, arado de disco, cultivo o cosecha, él aparecía en su farmall o en su pequeña maquina combinada sin que se le pidiera o se le pagara. Al hacerlo, facilitó todo lo que pronto se desarrollaría”⁶¹ (Vietmeyer, 2009, 87).

⁶² Yaqui, Nazas, Chapingo y Kentana

crecimiento de la planta. Con base en esa premisa, les indicó que el fertilizante nitrogenado aplicado en cantidad (40 libras equivalentes a 18 kilogramos) y tiempo correctos podía generar hasta un 60% más grano (ibíd., 135). Aún con el promisorio potencial, los agricultores no se mostraron de acuerdo y su respuesta literalmente fue la siguiente: “Doctor Borlaug, apreciamos su trabajo con el cultivo del trigo y apreciamos que puede resultar de mucha ayuda. Pero el suelo en este valle no necesita fertilizante” (ibíd., 136).

Figura 22. Ensayos con fertilización y sin fertilización



Fuente: Vietmeyer, 2009, 288.

A pesar de su negación a la necesidad del uso de fertilizantes, uno de los líderes agrícolas del valle, Jorge Parada, ofreció al Dr. Borlaug sus campos para los ensayos del cultivo mediante el empleo de fertilizante.

Una semana o dos posteriormente, Roberto Maurer, el único agricultor genuinamente interesado por los resultados de la investigación el primer día de demostración, y Aureliano Campoy⁶³, el vecino que voluntariamente prestaba su maquinaria agrícola a Borlaug, se llevaron una gran sorpresa al ver los resultados de su cosecha. Siendo los únicos en haber aceptado probar la semilla de Borlaug, evidenciaron lo que la investigación y experimentación agrícola podían hacer por sus cultivos de trigo. Las

⁶³ Rafael Fierros era el tercer agricultor que para entonces había aceptado la semilla de Borlaug, sin embargo, su cosecha no tuvo tan buenos resultados como los de Maurer y Campoy.

variedades de Kentana y Yaqui habían probado no solo rápida madurez y resistencia a la roya, además eran capaces de generar 3.138 ton/ha., lo que para el Valle del Yaqui representaba el triple de grano e ingresos económicos. Con todo, Kentana y Yaqui no eran las únicas, asimismo las semillas de Chapingo y Nazas expresaron un potencial de 4 ton/ha. (ibíd., 138).

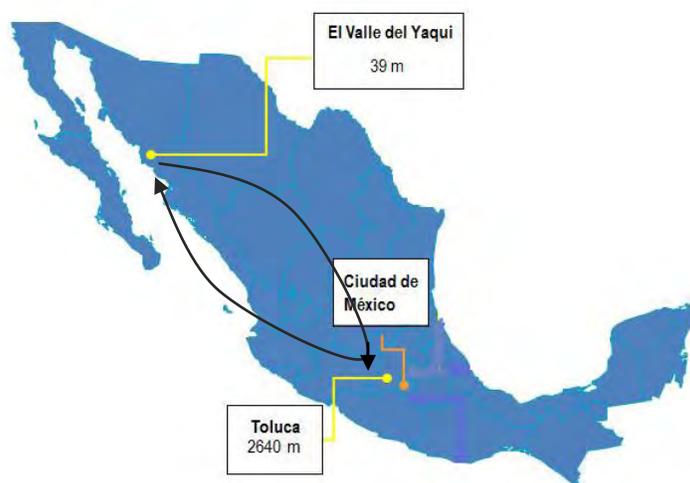
Para el final de 1949, la roya de tallo presentaba signos de fatiga y la lección había sido que para que el material genético expresara todo su potencial rendimiento era necesario nutrir el suelo con nitrógeno.

Para la quinta temporada de experimentación en Sonora, en 1950, los agricultores aún permanecían renuentes ante el uso de fertilizante a pesar de que los cinco ensayos con fertilización de suelo en algunos campos dispersos a lo largo del Valle del Yaqui mostraron buena respuesta. Este año el Día de Demostración tuvo una asistencia de 400 agricultores, lo cual representaba el doble de los presentes el año anterior. No obstante los agricultores volvieron a mostrar una actitud de respeto e hicieron preguntas que mostraban un interés, Borlaug comprendió que lo que necesitaban, más que palabras, era ver y juzgar por sí mismos los resultados (ibíd., 153).

Es ese mismo año, como consecuencia del agotamiento de espacio en la estación experimental de Chapingo, un colaborador de Borlaug descubrió y le recomendó un campo en venta en la alta zona de Toluca cuyas características encajaban bien con las necesidades de la investigación. Borlaug trasladó su investigación de Chapingo al nuevo campo experimental y de esa manera, ahora las dos principales estaciones de trabajo eran la ubicada en Toluca a 2,640 metros sobre el nivel del mar y la vieja estación experimental en el Valle del Yaqui en Sonora a solo 39 metros sobre el nivel del mar, las cuáles constituían quizá las estaciones experimentales de trigo de mayor y menor altura, respectivamente, en

el mundo. Además de distintas altitudes entre ambos puntos geográficos, entre ellos existía una significativa disparidad latitudinal de 1,126 kilómetros⁶⁴ (ibíd., 155).

Figura 23. Siembra continua de trigo: doble ciclo de investigación agrícola.



Fuente: Adaptado de CIMMYT⁶⁵.

En ese sentido, las variedades vencedoras de cada ciclo agrícola eran inmediatamente sembradas en la otra estación y expuestas a condiciones extremas⁶⁶ a aquéllas a las que recién se habían adaptado, por lo que con el transcurso del tiempo evolucionarían a tal grado de dominar diferentes latitudes, temporadas, tipo de suelo y amenazas de plagas y enfermedades; de esa manera, al trabajar dos ciclos agrícolas al año se aceleró el proceso de cruzamiento al comprimir el tiempo⁶⁷ a la mitad para la generación de una nueva variedad

⁶⁴ 700 millas.

⁶⁵ Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. <http://blogesp.cimmyt.org/wp-content/uploads/2013/07/mapa.jpg>

⁶⁶ 1) Su topografía y sustratos eran distintos: mientras el Valle del Yaqui tenía un terreno plano y arenoso, el terreno en Toluca era arcilloso; 2) En cuanto a agua se refiere, Toluca dependía de las lluvias de verano, mientras que en Sonora se contaba con sistema de riego; 3) Las fechas cultivo eran distintas. En Toluca la temporada de cultivo (de verano) era entre mayo y septiembre. En Sonora (de invierno) era entre Noviembre y abril. (Vietmeyer, 2009, 155).

⁶⁷ El adelanto tecnológico resultado que llevaría un total de 30 años, se llevó a cabo en 15 años como consecuencia de utilizar el doble cultivo anual.

de trigo. Adicionalmente, en virtud de que la duración del día, las temperaturas, las enfermedades y otras condiciones diferían radicalmente entre los dos sitios, las líneas de trigo que prosperan en ambos se adaptaban de manera automática a muchas condiciones de cultivo (Valenzuela, 2011, 94) lo que estaría casi garantizando el poder hacer uso de ellas en cualquier región de mundo.

Con el aumento en la productividad expresada hasta entonces por el cultivo, este mismo año (1950) empezaba a presentarse uno de los problemas que tardaría bastantes años en resolverse: el acame.⁶⁸ El acame de la planta de trigo se producía debido a que su tallo era muy débil para poder sostener el peso de los granos extras ganados como resultado del mejoramiento de la semilla. Aunado al debilitamiento del tallo, los vientos que se daban durante las cosechas provocaban que las plantas se doblaran completamente, haciéndolas inservibles (ibíd., 160).

Figura 24. El problema de acame en trigo



Fuente: Moreno, Salas y Mendoza. S/f.

⁶⁸ El acame es una enfermedad de los cereales y algunas leguminosas que cuando las plantas llegan a cierto grado de desarrollo se inclinan o se doblan por la influencia de la lluvia y el viento, y algunas veces espontáneamente, al menos en apariencia. Lo que lo ocasiona es la falta de consistencia y flexibilidad del tallo. Es común en años húmedos y fértiles y puede ocasionar pérdidas considerables al agricultor (UANL, s/f).

El siguiente año, 1951,⁶⁹ fue un año de altibajos. Por un lado resultó de suma importancia que el ex gobernador Rodolfo Calles, quién había permanecido escéptico hasta entonces, por fin dio crédito a los resultados de las semillas de Borlaug, lo que representaba un impulso a los demás agricultores a que pronto optarán por usar sus productos. Además, el Día de Demostración se vuelve más popular año con año, esta ocasión la multitud fue tanta que apenas podía ser controlada. Del lado de la investigación, se descubrió que las nuevas plantas tienen un potencial de rendimiento muchísimo más elevado si se dobla o se triplica la cantidad de nitrógeno que Borlaug había estado recomendando hasta entonces, lo que significaba un aumento en la dosificación de fertilizante de entre 80 y 120 libras, equivalentes a 36 y 54 kg. respectivamente. Al mismo tiempo, este año la investigación recibió un duro golpe, la roya de tallo logró mutar a una nueva raza (15B) mucho más poderosa; tanto que comenzó a mutilar cada planta que había sido liberada hasta entonces, lo cual representaba trece temporadas de arduo trabajo reducidas a nada y un nuevo comienzo en la lucha contra la roya. Aunado a ello, el problema de acame de la planta se agravaba y hasta el momento no se había podido encontrar⁷⁰ alguna variedad que contuviera el gen de la característica deseada a obtener: un tallo más corto (en promedio las plantas crecían a la altura del hombro lo que intensificaba el fenómeno del acame) (ibíd., 172).

La situación anterior tuvo un giro afortunado en 1952 gracias a Gonjiro Inazuka y Samuel C. Salmon⁷¹. La variedad de trigo Norin 10 sembrada en las parcelas experimentales de Inazuka en una comunidad al norte de Japón contenían lo que Borlaug

⁶⁹ Para este año la producción de trigo a nivel nacional pasa de 400,000 ton. a 750,000 ton.

⁷⁰ Ello a pesar de los ensayos llevados a cabo con algunas provenientes de la *Colección Mundial de Trigo*⁷⁰ de Estados Unidos, o de países como Argentina, Brasil y Chile.

⁷¹ “Hoy, sin embargo, ni siquiera los libros de historia conocen los nombres de Gonjiro Inazuka y Samuel C. Salmon” (Vietmeyer, 2009, 183).

tanto buscaba, el gen del enanismo. Dichas variedades medían un cuarto de las desarrolladas en México y llegaron a manos del Dr. Borlaug gracias a que Samuel C. Salmon las transportó consigo desde Japón a Estados Unidos.

Para 1953, Borlaug ya percibía un cambio en los agricultores quienes parecían algo más seguros y serenos. Ese otoño Aureliano Campoy, Rafael Fierros y Roberto Maurer sembraron variedades de Kentana y Yaqui ya no como prueba sino con un objetivo comercial (ibíd., 189). Este año, además, surge un descubrimiento importante en su nueva lucha contra la raza 15B de la roya, Kentana, a diferencia de Supremo, Frontera y Yaqui se mantuvo a salvo, lo que urgió a Borlaug hacer que los agricultores cambiaran sus semillas a Kentana. La adopción fue rápida y gracias a ello la nueva raza de roya tuvo una presencia menor en el país.

Para 1954⁷² los retos eran convertir las mejores líneas del cultivo en espigas de buena calidad panificable; llevar a cabo el primer ensayo⁷³ en trigo de primavera para acortar la altura de la planta; e iniciar el primer esfuerzo a nivel internacional en la lucha contra la raza de roya 15B en Sonora a donde asistieron algunos productores Americanos y Canadienses para cosechar sus propias plantas.

En 1955, tras diez años de la llegada de Borlaug al Valle del Yaqui, las parcelas de ensayo en la vieja estación experimental ya constituían un continuo de plantaciones para pruebas y ensayos de multiplicación, selecciones, segregaciones, polinización cruzada y observaciones (ibíd., 213). Para mediados del mes de abril, Rodolfo Calles decide visitar dicha estación experimental donde es bien recibido por el Dr. Borlaug; tras un recorrido por el campo, Calles reconoce la dedicación, el esfuerzo y el compromiso del Dr. reflejados en

⁷² Este fue el año donde el Dr. Borlaug casi es deportado del país acusado de que su trabajo constituía una amenaza a la soberanía nacional, sin embargo, los agricultores del Valle del Yaqui evitaron que así fuera. Detalles en Viemeyer, 2009.

⁷³ En el Centro de México

su trabajo: “estoy convencido de que este es un negocio serio [...] ¿cómo podemos rehabilitar este lugar? ¿qué podemos hacer para hacerlo mejor para usted?” (Ibíd, 215). Tomado por sorpresa, Borlaug no anticipó respuesta, sin embargo, al día siguiente Calles recibió una llamada de uno de los superiores de Borlaug, Ed Wellhousen, quién le planteó el hecho de que no resultaba viable la remodelación de la vieja estación debido a que ya no había suficiente extensión de tierra, ni siquiera había agua potable y el camino de acceso a ella era deplorable, a lo que Calles replicó “si el Dr. Borlaug quiere una nueva estación, sólo díganos cuanta extensión de tierra necesita y donde la quiere [...] la tendrá en diez días”, y así fue⁷⁴ (ibíd., 216). Calles localizó el terreno con las características adecuadas a las necesidades de la investigación y se organizó junto con un grupo de agricultores para donar al Dr. Borlaug su nuevo lugar de trabajo. De esa manera fue que por iniciativa y organización de los productores del Valle del Yaqui, se adquieren los terrenos del campo 910 donde se establece el Centro de Investigaciones Agrícolas del Noroeste (CIANO)⁷⁵ (Valenzuela, 2011, 87). Además del terreno, los agricultores se coordinaron y visitaron proveedores locales de maquinaria agrícola, banqueros, cooperativas de agricultores y comerciantes de granos para dotar a la nueva estación de facilidades para el desarrollo de la investigación. De esa manera los agricultores organizados le dieron a Borlaug el digno lugar de trabajo que sus jefes le habían estado negando a lo largo de sus diez años de

⁷⁵ El CIANO fue pionero en materia de vinculación entre instituciones gubernamentales, de investigación científica y sectores productivos. Fue creado “para impulsar la investigación y apoyar el desarrollo agrícola del noroeste del país con el auspicio y patrocinio de agricultores sonorenses y apoyo del gobierno federal”. (Vargas Martínez, 2003 en Cerutti, 2013). El CIANO estuvo en el medio y fue sustento de la enorme transformación agrícola que se desató en el sur de Sonora (Cerutti, 2013). En 1960 el CIANO pasó a depender administrativamente del recién creado Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Finalmente en 1985 con la fusión del INIA con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (INIF) y el Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarias (INIP), el CIANO pasa a ser parte de la estructura formal del INIFAP (fundado como resultado de esa fusión de institutos) cambiando su denominación a Centro de Investigación Regional del Noroeste (CIRNO) (Valenzuela, 2011).

trabajo,⁷⁶ hecho que constituía, además, una prueba de que el científico “gringo” se había ganado entonces su confianza. La estación contaba con un poco más de 100 hectáreas de terreno plano, irrigado, fértil, al este del camino principal y a 10 kilómetros de distancia del pueblo (ibíd., 217). Sería para 1964, que por iniciativa también de los agricultores, se establecería en esos terrenos el Patronato para la Investigación y Experimentación Agrícola del Estado de Sonora A.C. (PIEAES), adhiriéndole al campo experimental casi 250 hectáreas de tierra. En ese sentido, los terrenos de la nueva estación constituyen el ahora denominado Campo Experimental Norman E. Borlaug (CENEB), sede de las principales instituciones participes en la gestión de la innovación agrícola en el Valle del Yaqui: el CIMMYT, el INIFAP y el PIEAES.

El progreso tecnológico de éste año⁷⁷ (1955) fue la producción de toneladas de semillas de las nuevas variedades que podían resistir a los dos tipos de raza de roya, 15B y 139. Además, después de seis temporadas de siembra para mejorar la calidad del trigo, se empiezan a obtener las primeras plantas que combinan tres de las principales características deseables: rápida madurez, resistencia a la roya y adaptabilidad a diferentes latitudes. Este año el octavo Día de Demostración tiene tal éxito que Borlaug tiene que separar la audiencia de agricultores en grupos, apoyado por algunos estudiantes que tuvieron que recorrer al uso de bocinas para hacerse escuchar.

En 1956 su lucha por un mejor trigo panificable continua, al igual que la batalla por controlar la roya 15B, por lo que éste año la segunda Conferencia Americana de la roya del

⁷⁶ Al principio, ni Ed Wellhausen ni George Harrar, sus superiores, comprendieron los méritos de lo que estaba intentando lograr [...] (Vietmeyer, 2009, 272). Consideraban que no valía la pena invertir en su trabajo en el norte de México, pues el objetivo y la prioridad de la investigación financiada por la Rockefeller y la Ford desde un principio fue la zona centro de país, pues ahí es donde se encontraban los agricultores más atrasados en cuanto a conocimiento en técnicas de cultivo y sobre todo falta de maquinaria y equipo aunado a que eran tierras de temporal.

⁷⁷ Para este año la producción nacional de trigo había alcanzado las 700,000 toneladas y el promedio de rendimiento alcanzó 1.176 ton./ha.

tallo es trasladada a celebrarse en las inmediaciones del Valle del Yaqui. Además, para este año sus trigos ya contaban con cuatro pilares de fuerza importantes: rápida madurez, resistencia a enfermedades de los hongos, adaptabilidad a diferentes latitudes y además, altísimos rendimientos, los cuales en sus parcelas alcanzaron las 3,500 libras por acre, es decir, 3.922 ton/ha. (ibíd., 235). Consecuentemente, el rendimiento promedio a nivel nacional se incrementa en un 50% principalmente gracias a sus variedades Kentana y Yaqui, por lo que México alcanza la autosuficiencia alimentaria en trigo.⁷⁸

Ese mismo año Borlaug llevó a cabo en Sonora la segunda⁷⁹ ronda de ensayos en su lucha por reducir la altura de la planta de trigo, pero esta vez procedió de diferente manera siguiendo las indicaciones de uno de sus colegas⁸⁰: “humedecer los granos en una cama de algodón y confinarlas a seis semanas en el refrigerador. Luego tomó las semillas refrigeradas, plantó cada una en macetas separadas, y las colocó en una esquina en el interior del edificio diseñado como un laboratorio protector de plantas. Ahí, rodeado de paredes, techo y piso de concreto, las plantas estarían más allá del alcance de la roya que había matado a sus predecesores” (ibíd., 226). Para la sorpresa, incluso de Borlaug, las plantas alimentadas por la luz de las lámparas en su confinamiento en el laboratorio, crecieron la mitad de lo que habían crecido sus plantas alimentadas por los rayos del sol fuera del laboratorio. Cerca de la maduración, Borlaug optó por revertir el proceso del flujo del gen en la polinización cruzada, y con ayuda de sus colaboradores⁸¹, utilizó las ocho plantas desarrolladas dentro del laboratorio como los machos, implantando sus genes a las

⁷⁸ El rendimiento promedio nacional alcanzó las 1.535 ton/ha. (Vietmeyer, 2009, 235).

⁷⁹ El año pasado se había llevado a cabo el primer intento para reducir el tamaño de las plantas, sin embargo, las plantas resultantes del cruzamiento de Norin 10 (la variedad japonesa de un cuarto de altura) y la variedad Yaktana llevadas a cabo, aunque mostraron una disminución significativa de altura, lo cual fue un cambio revolucionario para un cultivo que había sido normalmente más alto por más de 10,000 años (ibíd., 210), no mostraron resistencia a la roya.

⁸⁰ Burt Bayles

⁸¹ John Gibler y Alfredo Campos

variedades mexicanas que esta vez fungían el papel de madre con la esperanza de obtener plantas de trigo de menor altura y con resistencia a la roya; sin embargo, el progreso obtenido estaría apenas en la primera fase y la obtención de plantas que expresaran el gen del enanismo, fueran resistentes a la roya y además tuvieran la habilidad de crecer sin ser primero refrigeradas, aún estaba a seis años de ensayos de aquí.

En este punto en la historia, cientos de agricultores del Valle del Yaqui “habían levantado sus ojos al cielo e iban tomando el control de sus propios destinos”⁸² (ibíd., 230). Es así que llegado el año de 1957⁸³ los agricultores de trigo perdían la razón ante el uso de los fertilizantes, pues cada vez más se iba incrementando la cantidad de ellos que usaban más de 36 kg. de fertilizante lo que agravaba aún más el problema de acame. Ante esta situación, la investigación se empezó a ver más presionada para resolver el problema y se convirtió en el objetivo principal que absorbería la agenda de trabajo algunos años más: obtener una planta en donde todos los rasgos recesivos⁸⁴ (incluyendo el del enanismo) fueran prominentes, dominantes y en pleno funcionamiento (ibíd., 238). El desafío era complicado debido que las técnicas de cruzamiento entonces no posibilitaban el poder detectar y aislar el gen responsable de la característica deseada a transferir, lo que significaba que el polen, la única herramienta disponible, no solo transfería los buenos genes de la planta sino también los malos, lo que ocasionaba que el proceso de cruzamiento tuviera que repetirse una y otra vez hasta obtener los resultados buscados. Los principales obstáculos a vencer eran que las flores masculinas en su mayoría eran estériles; las hojas y los tallos eran susceptibles a enfermedades de la roya; el desgrane ocasionado por la

⁸² Según Vietmeyer (2009, 230) Rodolfo Calles, Jorge Parada, Roberto Maurer, Rafael Fierros y otros agricultores habían establecido una cooperativa para comprar fertilizante e insumos a granel.

⁸³ Para 1957 el Dr. Borlaug ya no era un científico cuyos desarrollos hasta entonces habían permanecido en la sombra, este año se empiezan a distribuir sus semillas en otras partes de América.

⁸⁴ Rápida maduración, adaptabilidad, altos rendimientos, entre otros.

incapacidad de la cabeza de la planta de retener las semillas dificultaba la cosecha⁸⁵; y la mala calidad panificable. Lo anterior no solo era cuestión de genética sino de tiempo; tanto, que los superiores de Borlaug (incluso la comunidad de científicos trigueros alrededor del mundo) suponían que su trabajo era una locura alimentada por orgullo y una pérdida de tiempo, al grado de sugerirle abandonar la investigación en Sonora.

Con el cambio de perspectiva hacia el uso de fertilizantes por parte de los agricultores del Valle del Yaqui, se generó también un cambio en la escala de producción del cultivo del trigo, lo que hizo cada vez más necesaria la mecanización de la cosecha para manejar el producto a granel que antes bastaba con ser acarreado en sacos por los jornaleros.

Figura 25. Inicio de las cosechadoras mecánicas para el manejo del grano.



Fuente: Vietmeyer, 2009.

En 1958, Borlaug y su equipo advirtieron algunas características, hasta entonces únicas, en ciertas plantas de trigo descendientes de la cruce entre sus plantas de gran altura y las plantas transpacíficas de corta dimensión: 1) algunas poseían espigas con seis granos, tres veces más de lo normal y dos veces más que los granos de las espigas de la variedad Yaqui, lo que podría representar un triple aumento de producción; 2) algunas poseían seis tallos o

⁸⁵ El fenómeno denominado “seed shattering”, se refiere a la incapacidad de la planta de retener las semillas y representaba un problema a la hora de llevar a cabo la cosecha debido a que la maquinaria utilizada hacia más brusco el manejo de la planta y ello provocaba que los granos se esparcieran sobre el suelo.

más cuando lo normal era solo uno; y 3) cada tallo poseía un racimo con cabezas de semilla (ibíd., 252). Aunque fueron características de alguna manera incidentales, no se podía dejar pasar por alto su logro. Debido a ello, ahora el objetivo era continuar perfeccionando los genes responsables de la altura y cosechar plantas que poseyeran todas las cualidades de un súper trigo (ibíd.):

1. Tallos cortos y rígidos
2. Seis semillas por espiga
3. Seis tallos por planta
4. Resistencia a roya de la hoja
5. Resistencia a la roya 15B y 139 del tallo
6. Gran calidad panificable
7. Altos rendimientos
8. Adaptabilidad
9. Rápida Maduración

A la par que el reto genético se complicaba más, Borlaug comprendió que no solo el elemento genético era relevante sino también el agronómico. Ése verano de 1958, algunas de las especificaciones aprendidas fueron que: 1) la semilla debía ser sembrada a menor profundidad, pasando de seis pulgadas, equivalentes a 15.2 cm, a dos pulgadas (5.1 cm.); 2) la maleza⁸⁶ tenía que ser cuidadosamente controlada para evitar dañar la plántula⁸⁷; 3) la semilla debía ser plantada en la fecha correcta; 4) la plántula debía ser también regada en

⁸⁶ Las malezas son producto de la alteración de la vegetación natural, son plantas indeseables que compiten con las plantas cultivables por los nutrientes del suelo, agua y luz. Sirven de hospederas a insectos y patógenos dañinos a las plantas cultivables. También obstruyen el proceso de cosecha y aumentan los costos de tales operaciones. Además, al momento de la cosecha las semillas de las malezas contaminan la producción obtenida. De esta forma, su presencia en áreas cultivables reduce la eficiencia de la fertilización y la irrigación, facilita el aumento de la densidad de otras plagas y al final los rendimientos agrícolas y su calidad decrecen severamente (Labrada y Parker, 1996).

⁸⁷ Es la planta en sus primeras etapas de desarrollo, desde que germina hasta que se desarrollan las primeras hojas.

tiempo y forma adecuada debido a que las cortas raíces son propensas a la deshidratación por su cercanía a la superficie; y 5) el fertilizante debía ser suministrado con exactitud a lo largo del ciclo de crecimiento de la planta y en dosificaciones correctas que permitieran a la planta expresar todo su potencial (ibíd., 253).

Para finales de 1958, las plantas de gran altura de Borlaug seguían dominando los campos del país con grandes resultados a pesar de su susceptibilidad al acame y sus semillas ya eran distribuidas a lo largo del estado de Sonora y otros doce más en el país⁸⁸.

Llegado el año de 1959⁸⁹, con cuatro años ya ensayando por lograr tallos cortos y sólidos, los revolucionarios trigos de altura a la rodilla ya no se acamaban ante los efectos del viento, sin embargo, aún eran susceptibles a enfermedades y seguían siendo incapaces de retener las semillas. Además este año Borlaug es notificado del cierre de las operaciones de la Oficina de Estudios Especiales (OEE) en México, lo que significaba que no había manera entonces de lograr desarrollar los súper trigos que buscaba. Las buenas noticias eran que los agricultores empezaban a hacer caso a las especificaciones de manejo agronómico del cultivo y el Valle del Yaqui ya producía la mitad de la producción de trigo a nivel nacional.

En 1960, ante la noticia del cierre de la OEE y por tanto del programa de investigación, la estafeta directa en el Valle del Yaqui fue transferida a Nacho Narváez, por lo que Borlaug, a partir de entonces dedica su tiempo a instruir a jóvenes provenientes de varios países con la finalidad de dar paso, a través de ellos, a la lucha contra el hambre en el resto del mundo.⁹⁰ Sin embargo, debido a la aprobación de llevar a cabo el proceso de

⁸⁸ Las semillas eran vendidas y distribuidas por la Cooperativa de Agricultores de Cajeme.

⁸⁹ Para este año, Ciudad Obregón ya había dejado de ser un lugar lejos de la civilización para convertirse en el centro de un complejo industrial basado en el trigo.

⁹⁰ En este punto, Borlaug había sido requerido por la FAO a trabajar en aquéllos países azotados gravemente por el hambre (Afganistán, Egipto, Libia, Irán, Iraq, Pakistán, Siria, Turquía, Etiopía, Jordania, Arabia Saudita), sin embargo,

instrucción en las inmediaciones del Valle del Yaqui y Toluca (con un periodo de seis meses en cada región), Borlaug siguió indirectamente a cargo de la investigación, ésta vez con ayuda de sus jóvenes pupilos.⁹¹

Éste mismo año, Narváez proyectaba 3,000 asistentes al Día de Demostración. Con buenas expectativas tras nueve rondas de ensayos con variedades enanas de trigo, el nuevo director decide darles una prueba visual a los agricultores de lo que se estaba logrando: plantas de trigo mitad de altas de lo normal, productoras de doble cantidad de granos y que no se abatían ante su propio peso o los efectos del viento. La multitud y la euforia fue tal que por un momento el evento se salió de control y algunos agricultores (cuando no estaban permitidos tocar las plantas) robaron algunas semillas de las nuevas plantas, las cuales tiempo después empezaron a ser reproducidas por los propios agricultores y a poblar el valle. Con la prematura salida de esas semillas de la estación experimental, a pesar de ser una radical nueva generación que impulsaría la producción nacional, aún carecía de calidad panificable⁹², por lo que Narváez tuvo que advertir a los representantes de la industria de molienda sobre dichas circunstancias.⁹³ Sin embargo, los representantes de la industria ante los altos rendimientos de las plantas decidieron tomar el riesgo⁹⁴ y autorizaron a Narváez liberar las nuevas plantas (Vietmeter, 2009a, 33).

reflexionando, llegó a la conclusión de que sería mejor y más eficiente que de cada país fuera seleccionada una comisión de jóvenes con estudios básicos en agricultura (aunque no era una limitante) para ser entrenados en el cultivo del trigo durante un año en México con la finalidad de que cada uno de ellos implementara sus conocimientos en la batalla contra el hambre en sus países de origen.

⁹¹ En 1963 durante la ceremonia de clausura oficial para dar fin a la relación de la Fundación Rockefeller con el sector agrícola mexicano, el entonces Presidente de la República, Adolfo López Mateos, anuncia la creación del CIMMYT y Borlaug es invitado a dirigir el programa del trigo, esta vez la diferencia fue que tendría que rendir cuentas de su trabajo al gobierno mexicano.

⁹² De alguna manera el gen responsable del enanismo, se encontraba ligado a con algún otro gen que reducía su calidad.

⁹⁴ “si estas variedades van a incrementar el rendimiento tanto como lo que se cree [...] seríamos traidores si las rechazáramos. Superaremos la dificultad...decimos que liberen las nuevas variedades enanas de trigo” (Vietmeyer, 2009^a, 33).

Figura 26. Día de Demostración, 1960 y 1961



Fuente: (Vietmeter, 2009a).

Para el otoño de 1962, Pitic 62 y Pénjamo 62,⁹⁵ descendientes de las semillas que escaparon en 1960 prematuramente de la estación experimental fueron las primeras variedades enanas en ser introducidas al mercado. Éstas eran de altura a la cintura, con tallos capaces de aguantar el peso de las pesadas espigas llenas de granos, maduraban a los 140 días y podían rendir hasta 5,870 libras por acre equivalentes a 6.579 ton/ha. no obstante continuaban siendo de mala calidad. Sin embargo, ese mismo otoño, el momento esperado llegó. Después de varios años de ensayos con los genes responsables del enanismo los esfuerzos valdrían la pena; en Chapingo, Borluag se aparece en el laboratorio de Eva Villegas, quién estudiaba la parte referida a la calidad del trigo, portando cuatro bolsas de semillas: “Eva, aquí tenemos los mejores toros!” (ibíd., 58); las semillas producían plantas de altura a la cintura, eran resistentes a las enfermedades, adaptables a las condiciones de Sonora y Toluca, engendraban varios tallos y varias espigas y cada una de ellas poseía el doble de grano de lo normal, ésta vez con una diferencia, el análisis de Eva mostró que “eran en efecto estupendas panificadoras” (ibíd., 66). Dos de las cuatro súper semillas serían Sonora 64 y Lerma Rojo 64, capaces de rendir 5,580 y 6,000 libras por acre

⁹⁵ Éstas eran de altura a la cintura, con tallos capaces de aguantar el peso de las pesadas espigas llenas de granos, maduraban a los 140 días y podían rendir hasta 5,870 libras por acre equivalentes a 6.579 ton/ha. sin embargo continuaban siendo de mala calidad.

respectivamente (6.254 y 6.724 ton/ha.). En los siguientes nueve años (1962-1971) se siguieron perfeccionando las nuevas variedades de tallo corto.

La obtención de esas súper variedades semienanas marcó un hito en el mejoramiento genético y en el continuo incremento del rendimiento del cultivo en el Valle del Yaqui y en México. Por lo que llegó a representar un rompimiento con el pasado en el desarrollo tecnológico del trigo, según Camacho un cambio de paradigma (Valenzuela y Camacho, 2013); y tras once años de constantes aumentos en la producción, la región del Valle del Yaqui, de ser considerada una de las peores tierras de siembra de trigo a nivel mundial, llegó a convertirse en una de las más productivas para 1963.

A pesar de que el Dr. Borlaug ya no volvió a trabajar físicamente en el mejoramiento del trigo después de 1970,⁹⁶ ante el rápido avance o mutación de plagas y enfermedades fue necesario dar seguimiento a los programas de mejoramiento para mantener la resistencia de las semillas (Valenzuela y Camacho, 2013); como el mismo Borlaug lo señaló “La roya es un enemigo astuto, cambiante, en constante evolución” (Vietmeyer, 2009, 273), por lo que se hace necesario generar y liberar un nuevo material resistente cuando aparece una nueva raza y la planta se vuelve susceptible a ella, por tanto el ritmo de liberación depende de la necesidad imperante de tener nuevas variedades. Prueba de lo anterior es que en el periodo de 1960 a 2009 se liberaron en Sonora un total de 76 variedades de trigo (Camacho, 2011). Durante el 2010, según muestra el listado de fichas tecnológicas de trigo del CENEB (véase anexo 1), se liberaron en el Valle del Yaqui un total de 5 nuevas variedades. Durante los últimos tres ciclos agrícolas (2011/12, 2012/13 y 2013/14), como bien se señaló en el capítulo anterior, la variedad de trigo que se mantuvo

⁹⁶ Como él mismo Borlaug lo decía: “a partir del 70 yo ya no pude llevar a cabo más cruces” (Valenzuela y Camacho, 2013).

dominando la región fue CIRNO-2008, gracias a que entre sus cualidades se encuentra su gran potencial de rendimiento que fluctúa entre las siete y nueve ton./ha. (El Imparcial, 18 septiembre, 2013). El año pasado (2013), también en el Valle del Yaqui, se liberaron dos más (de tipo duro) para el próximo ciclo agrícola 2014-2015, éstas son Quetchehueca Oro y Baroyeca Oro,⁹⁷ las cuales cuentan con buen potencial de rendimiento, y aunque en ello no superan a su testigo⁹⁸ (Cirno), si poseen una mayor calidad y resistencia a roya lineal y amarilla⁹⁹ (El Imparcial, 18 septiembre 2013; Tribuna, 19 mayo 2014). Además, este año, como parte del programa cooperativo entre el CENEB, INIFAP y CIMMYT nació una nueva variedad harinera nombrada “Borlaug 100” en conmemoración a los 100 años del natalicio del Dr. Norman Borlaug; fue dada a conocer a los agricultores el pasado mes de abril durante el festejo del Día del Agricultor (2014); con ella se busca una mejora gradual del rendimiento y la calidad del grano de los cereales blandos y prolongar la resistencia de las semillas a las royas (Tribuna, 21 abril 2014; Tribuna, 17 mayo 2014; Noticias Cajeme, 10 abril 2014). Fueron necesarios dos años de investigación en El Batán (Centro de México) y en el CENEB para su posterior liberación. Según los ensayos, la nueva variedad además de poseer muy buen gluten para producir pan,¹⁰⁰ es una de las más rendidoras, pues posee un potencial de rendimiento que fluctúa entre las 6.5 y 8 ton/ha.; aunado a ello, no presenta problemas de acame, mantiene la resistencia a las royas y presenta muy buena

⁹⁷ En el Valle del Yaqui las siembras siempre se han cargado sobre una variedad de preferencia por su alto rendimiento y rentabilidad (caso de Cirno durante los últimos tres ciclos agrícolas); ello puede provocar que se pierda la resistencia a la enfermedad de la roya. En ese sentido Quetchehueca y Baroyeca ayudarán a bajar la presión sobre Cirno para el ciclo agrícola 2014-2015, pues al tener más variedades el mosaico se amplía para tener una más equitativa distribución de siembra y por tanto una menor probabilidad de que la roya genere pérdidas de rendimiento y dinero (Expreso, 2013).

⁹⁸ Las líneas de trigo testigo son aquéllas que se siembran para establecer un punto de referencia que sirve para comparar y por tanto evaluar el desempeño de las líneas de trigo de una nueva semilla.

⁹⁹ El promedio de producción de Cirno de las dos repeticiones de ensayos fue de 7.4 ton/ha., Quetchehueca 7.0 ton/ha. y Baroyeca 6.3 ton/ha., lo que demostró que Cirno es más rendidora que las dos liberadas recientemente (Tribuna, 19 mayo 2014)

¹⁰⁰ Borlaug 100, posee muy buen gluten para pan, lo cual es muy demandado por la industria panificable. No obstante, en el país y en el Valle del Yaqui se establece una mínima área de semillas blandas comparado con las más de 250 mil hectáreas que se establecen de cereales duros (Tribuna, 21 abril 2014).

tolerancia al carbón parcial, lo que la hace buena candidata a utilizar el próximo ciclo agrícola (2014-2015), sin embargo, solo estaría a disposición de productores cooperantes para su multiplicación y no para su siembra aún (ibíd.).¹⁰¹

Retomando el tema de la roya, no obstante actualmente el problema principal ya no es la roya de tallo sino la roya de la hoja, la resistencia que se incorporó a las semillas desde mediados de la década de los cuarenta ha mantenido la resistencia de las variedades del Valle del Yaqui al ataque del “Chahuixtle”, a pesar del surgimiento de nuevas razas (Valenzuela y Camacho, 2013), lo que ha permitido a los agricultores ahorrar grandes cantidades de recursos al no tener que aplicar fungicidas constantemente (Lantican et al. 2005, en Aquino, Peña y Ortiz-Monasterio, 2008). Al mismo tiempo que se buscaba controlar el ataque de la roya, con la obtención de generaciones de semillas mejoradas, las plantas desarrollaron capacidad para responder más eficientemente ante la aplicación de insumos como el agua; y aunque hubiera condiciones favorables para la roya la resistencia de las plantas al ataque de las razas locales ha permitido mantener el rendimiento de la cultivo.

Figura 27. Problemática recurrente: roya de la hoja, roya de tallo y roya amarilla



Fuente: Camacho, 2011.

¹⁰¹ Actualmente está en trámite su registro ante el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS), el cual es muy probable quede concluido éste año (Tribuna, 21 abril 2014; Tribuna, 17 mayo 2014; Noticias Cajeme, 10 abril 2014).

Con base en lo anterior, se puede decir que el progreso genético, iniciado por Borlaug en 1945, constituye hasta hoy en día un continuo de investigación y desarrollo de igual relevancia que entonces.

Además, del mismo modo que el mejoramiento genético se sigue trabajando hasta hoy en día,¹⁰² es importante señalar que lo que en 1948 Borlaug organizó como el primer Día del Agricultor, sigue celebrándose en las inmediaciones del CENEB, instituyéndose como un importante hito en la trayectoria del trigo en la región al servir como mecanismo de transferencia tecnológica entre la investigación y los productores agrícolas.¹⁰³

Figura 28. Día del Agricultor 2013 y 2014



Fuente: INIFAP

¹⁰² En los días del Agricultor los investigadores presentan los avances de la investigación en torno al cultivo del trigo. En el Día del Agricultor 2013, se rompió el record de visitantes (1, 601 personas registradas) y de expositores (67 empresas) (PIEAES, <http://diadelagricultorceneb.org.mx/about-us.html>).

¹⁰³ Además del Día del Agricultor, los centros de investigación establecidos en la región, organizan eventos, entre ellos talleres y seminarios, dónde se abordan temas como la nutrición en trigo, manejo de riegos, problemática de maleza y su manejo en trigo, manejo de enfermedades, calidad industrial, acumulación de horas frío y rentabilidad del cultivo (El imparcial, 16 diciembre 2013); como parte de ese esfuerzo de generación y transferencia de conocimiento, es que recientemente se llevaron a cabo el Taller Técnico de la Iniciativa Mundial Borlaug para combatir la Roya 2014 y la Cumbre Borlaug sobre el papel del trigo en la seguridad alimentaria llevados a cabo del 22 al 25 y del 25 al 28 de marzo respectivamente en Cd. Obregón.

3.2 Evolución de las innovaciones tecnológicas desplegadas en el periodo de la Post Revolución Verde (1975 - 2014)

La trayectoria de desarrollo descrita en la sección anterior contribuyó a la formación de un sistema de innovación para la región del Valle del Yaqui que bien puede considerarse como un “Sistema Microsectorial de Innovación Agrícola” donde la investigación ha estado sustentada en un entramado de instituciones surgidas a raíz del éxito de la investigación y experimentación desarrollada por Borlaug hasta los primeros años de la década de los sesenta. Éste micro sistema de innovación está fundamentado en la organización, estrecha vinculación y trabajo a la par entre los agricultores representados en la figura del Patronato (PIEAES) y los científicos y técnicos del CIMMYT e INIFAP del CENEBA. Con base en esa premisa, en este apartado a continuación se caracterizan brevemente algunas de las principales tecnologías generadas, validadas, adoptadas y difundidas por la investigación agrícola en el seno del sistema microsectorial de innovación de la región del Valle del Yaqui y que han cambiado la forma de llevar a cabo la agricultura, la cual, según Vázquez (2011, 26)¹⁰⁴ antes de dichas innovaciones era muy rudimentaria:

[...] empezando por el barbecho del 100% de los terrenos, dando varios pasos de rastra con maquinaria de arrastre con lo que provocaban además de una fuerte compactación del suelo, la erosión del mismo y el posterior empleo de arado cincel para romper el piso de arado. A la mayoría de los terrenos se les daban 2 rastros, un tabloneo y un ploteo. La siembra se realizaba en seco, en melgas o bordos, con curvas a nivel, aplicando la semilla al voleo y en grandes cantidades, entre 200 y 220 kg/ha; este sistema de una cantidad mayor de agua. Las variedades sembradas eran Jupateco, Pénjamo, Sonora, Lerma rojo, Mexicali, Altar y 7 cerros, muchas de ellas con alta susceptibilidad a royas. La fertilización en trigo, se hacía de manera tradicional aplicando a siembra el 100% de nitrógeno, con la consecuente sobre fertilización y contaminación de suelo y agua. Además se realizaba con fertilizantes comerciales disponibles en los expendios, y sin orientación alguna provocando grano con la característica de “panza blanca” con

¹⁰⁴ Con información de los socios se la Unión de Sociedades de Producción Rural del Sur de Sonora

escaso contenido de proteína y el consecuente castigo al precio por parte de la industria. La cosecha se realizaba a “palos”, provocando pérdida de grano posteriormente las trilladoras eran de arrastre y se encostaba el grano arriba, las “recibas” (recepción del grano para su acopio) se hacían en sacos. Los campos de cultivo tenían una fuerte infestación de zacates Johnson y alpistillo. El control de plagas y enfermedades (royas, carbonos, pulgones, mosca blanca, etc.) se hacía de manera irracional, sin un monitoreo previo.

Será palpable que la dinámica de las innovaciones en este tramo de la trayectoria, concernientes al mejoramiento agronómico,¹⁰⁵ es más lenta que la del componente genético, pues la adopción de nuevas prácticas en el manejo del cultivo no depende solo del avance de la investigación y la experimentación agrícola, sino también en gran medida del grado de convicción sobre el productor agrícola de los beneficios resultantes de la nueva tecnología.

Figura 29. Manejo agronómico en trigo



Fuente: Tribuna y Diario del Yaqui.

105 Se obvia que el mejoramiento genético durante este trayecto continúa con la liberación de nuevas variedades de trigo.

- *Métodos de siembra. De la siembra tradicional¹⁰⁶ (plano) a camas (surcos) y camas permanentes (Agricultura de Conservación)¹⁰⁷.*

Es posible que la idea de sembrar trigo de una manera alternativa a la tradicional se inicie en 1961, con los trabajos del Dr. R. J. Laird, en la Oficina de Estudios Especiales, de la SAG, cuando inició ensayos para investigar el efecto en el trigo de diferentes espacios entre hileras (Moreno, Salas y Mendoza, s/f.; Aquino et. Al, 2008). Sin embargo, el concepto del trigo en surcos cultivados se introduce al CIANO por primera vez durante 1974-1975, cuando el Dr. Oscar Moreno, quién había estado trabajando como asistente del Dr. R. J. Laird entre 1968 y 1970, se unió al grupo de investigación del Valle del Yaqui y llevó a cabo un ensayo para comparar la respuesta de la variedad Jupateco F'73 a dosificaciones de nitrógeno y fósforo bajo dos métodos de siembra: el tradicional o en melgas y el método de surcos cultivados convencionalmente. Durante varios años realizó una serie de experimentos que mejoraron muchos de los componentes del sistema de siembra que actualmente utilizan los productores de trigo (Sayre, 1997; Aquino et al. 2008). No obstante

106 De acuerdo con el personal del INIFAP, en el Valle del Yaqui se siembra bajo dos esquemas: el tradicional y en surcos. El tradicional es aquel donde se cubre totalmente el terreno con plantas, con lo cual se logra una posición ventajosa en el sistema de producción, en lo que se refiere a competencia con malezas por agua, espacio, luz y nutrimentos. La siembra en melgas o corrugaciones son dos métodos de siembra tradicional utilizados en el Valle del Yaqui. En melgas la siembra puede realizarse en dos modalidades, al voleo con la posterior incorporación de la semilla (generalmente con rastra) o con sembradora para granos pequeños, la cual deposita la semilla a "chorrillo" en hileras; posteriormente se levantan los bordos para formar las melgas, cuyo tamaño y forma dependen de lo bien nivelado que esté el terreno, por lo que este método puede subdividirse en melgas rectas en terrenos nivelados o siguiendo el contorno (curvas de nivel) (Aquino, 1998). En corrugaciones la siembra se lleva a cabo de manera similar al anterior, al voleo o con sembradora de granos pequeños, sólo que en lugar de levantar bordos se traza un surcado poco profundo para conducir el agua de riego (ibíd.). La siembra al voleo es una modalidad de diseminación de la semilla; se esparcen las semillas manualmente o por medio de maquinaria de la manera más uniforme posible por el terreno. Cuando ya se han esparcido es necesario cubrirlas con una capa de tierra y ejercer un poco de presión para que no sean movidas por los efectos del viento o la lluvia.

107 El nombre de Agricultura de conservación se ha utilizado los últimos años para referirse a una agricultura más sostenible de la definida como "labranza de conservación" (Wall, 2006 en Sayre y Govaerts, 2013). "La labranza de conservación es una terminología ampliamente utilizada para caracterizar el desarrollo de nuevas tecnologías de producción de cultivos que normalmente se asocian con algún grado de reducción de la labranza para las operaciones del control mecánico de malezas, tanto antes de la siembra como sobre el cultivo, las cuales pueden retener un cierto nivel de residuo del cultivo sobre la superficie del suelo. Sin embargo, la AC deja a un lado el énfasis en el componente de labranza y se dirige hacia un concepto mejorado del sistema agrícola completo" (Sayre y Govaerts, 2013, 165). No obstante lo anterior, la labranza de conservación (labranza reducida, labranza mínima y labranza cero) son tipos de agricultura de conservación, pues constituyen métodos de labranza que conservan los recursos naturales (Cortés, 2013)

lo anterior, fue hasta 1978 que el INIFAP inició la introducción y transferencia de la tecnología de siembra de trigo en camas (surcos) a los agricultores en el Valle Yaqui (Aquino et al., 2008). Considerado un método no tradicional, su objetivo principal es dejar espacios que permitan la entrada al terreno de maquinaria, implementos y trabajadores, para realizar cultivos mecánicos (escardas) y deshierbes manuales con facilidad, así como obtener un mejor manejo y aprovechamiento del riego (Aquino, 1998). Los métodos anteriores de siembra (métodos tradicionales) generaban problemas de nacencia, reducción en el rendimiento, mayor uso de insumos y mayor gasto de agua (ibíd.). La recomendación era realizar un surcado con hasta tres hileras¹⁰⁸ (Vázquez, 2011), sin embargo, el productor ha adaptado la metodología utilizando hasta cuatro hileras en el lomo del surco (Aquino, 1998). La práctica por parte de los productores de éste tipo de siembra fue lento, tal es el caso que para 1981 solo el 6% de los agricultores del Valle sembraba en camas (Aquino, et al, 2008). Para finales de los ochenta y principios de los noventa apenas repuntaba un 52% su adopción (18 y 34% en dos y tres hileras respectivamente) (Cortés, 2013). Desde 1988 hasta 2005, los Dres. Sayre, Fischer y Ortiz-Monasterio investigadores del CIMMYT, desarrollaron una serie de experimentos enfocados a estudiar la respuesta del trigo a la siembra en camas (surcos) en el Valle del Yaqui, utilizando variedades de trigo harinero, duro y triticales¹⁰⁹. Los resultados mostraron que la mayoría de las líneas avanzadas y variedades derivadas del material del CIMMYT se adaptaban bien a la siembra en camas (Aquino et al., 2008). Según Aquino et al. (2008, 30) para 1996 el 90% de los agricultores del Valle ya utilizaban el sistema de siembra en surcos. Según un informe especial del

¹⁰⁸ Siembra en surcos angostos con una hilera: se surca a 60 ó 65 cm y posteriormente se siembra una hilera en el lomo del surco; Siembra en surcos anchos con dos hileras: el surcado se lleva a cabo a 80 ó 92 cm; después se siembran dos hileras en el lomo del surco, separadas 30 cm una de otra (Moreno, Salas y Mendoza. S/f.).

¹⁰⁹ Es un nuevo cereal, el primero en ser creado por el hombre, producto de la combinación del trigo y el centeno. Contiene mucha proteína (SIAP)

CIMMYT sobre la adopción del método de siembra en surcos, para 1998 el método más utilizado era el de surcos en un 55%, seguido del método por corrugaciones con un 25% y en melgas con un 20% (Aquino, 1998). Actualmente la siembra en surcos de dos hileras, en principio recomendado por INIFAP, ya no es recomendado debido a que el cultivo se protege menos de las inclementicas del clima ante la baja densidad de siembra¹¹⁰ “todo va contra las dos hileras y la baja densidad” (Cortés, 2013). El método en surcos de tres hileras llegó a repuntar hasta un 55% en la superficie cultivada del trigo del Valle. Pese a ello, actualmente, es una de las prácticas que están desapareciendo pues aproximadamente solo el 5% de la superficie cultivada se siembra con surcos de dos y tres hileras (ibíd.). La recomendación de los técnicos del INIFAP y CIMMYT es la utilización de surcos con cuatro hileras, lo cual según Cortés (2013) tiene su causa en que se está volviendo a asegurar el rendimiento del cultivo con el uso de más semillas y más hileras mejor distribuidas, con lo cual el cultivo responde mejor a las inclemencias del clima. En ese sentido, casi el 40% de la superficie del Valle se siembra de esa manera, mientras que más de la mitad de la superficie está volviendo a ser sembrada con métodos tradicionales, lo que significa que actualmente conviven los nuevos métodos de siembra con los tradicionales.

Figura 30. Siembra tradicional



Fuente: Moreno, Salas y Mendoza. S/f.

¹¹⁰ Densidad de siembra: número de plantas por unidad de área de terreno

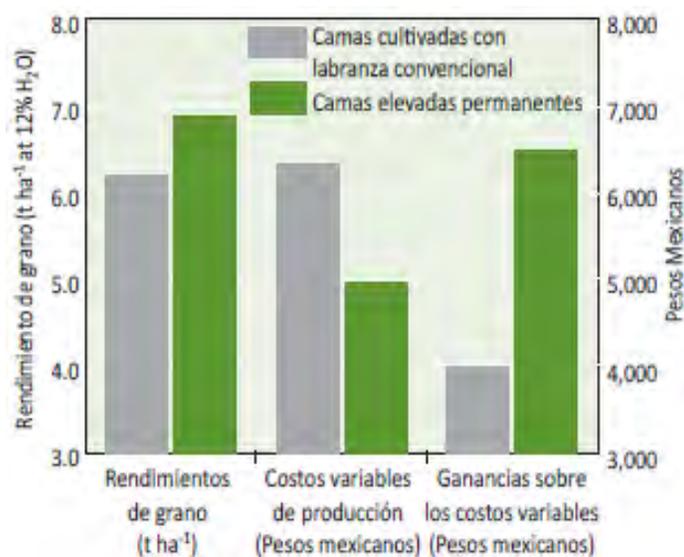
Figura 31. Siembra de trigo en surcos



Fuente: Moreno, Salas y Mendoza. S/f.

En 1991, el Dr. Sayre, mostró interés en desarrollar nuevas tecnologías de producción en camas (surcos) con base en los principios de la agricultura de conservación (Aquino et al, 2008). Las camas son formadas inicialmente durante un último ciclo de labranza; y son reutilizadas para sembrar el próximo cultivo, con sólo re-formarlas superficialmente. Las camas permanentes se combinan con distintas opciones de manejo de los residuos de cosecha (ibíd.,30). Debido al interés mostrado por Sayre, en 1992, fue iniciado el primer ensayo de larga duración sobre el sistema de agricultura de conservación en México (CIMMYT, 2011; Sayre y Govaerts, 2013) en el Valle del Yaqui a fin de comparar las prácticas comunes del agricultor (camas cultivadas con labranza convencional) con el sistema de camas permanentes (basado en agricultura de conservación) en la producción de trigo bajo riego. La figura 32 muestra los resultados. Se puede observar que con la implementación del sistema de camas permanentes, existe un moderado incremento en el rendimiento, el cual aunado a la disminución de los costos de producción genera un significativo aumento en el margen de las ganancias para al agricultor.

Figura 32. Resultados del ensayo de agricultura de conservación en los sistemas de trigo bajo riego, Valle del Yaqui, 1993-2006



Fuente: Sayre y Govaerts, 2013.

Con base en lo anterior, en la región del Valle del Yaqui el equipo de agrónomos del INIFAP y del CIMMYT en el CENEB ha enfocado gran parte de sus esfuerzos al desarrollo y difusión de la agricultura de conservación, por lo que los agricultores han comenzado a adoptarla.

La agricultura de conservación se basa en tres principios: 1) remoción mínima del suelo (sin labranza); 2) cobertura del suelo con los residuos del cultivo anterior, con un cultivo de cobertura, o ambos; y 3) rotación de cultivos, para evitar plagas, enfermedades y diseminación de malezas. De esa manera favorece la infiltración del agua y la retención de la humedad, promueve el uso eficiente del agua y genera ahorros en su consumo durante el riego, mejora las propiedades químicas y biológicas del suelo, aumenta el nivel de materia orgánica, reduce la erosión del suelo, disminuye la quema del rastrojo lo que reduce

significativamente el impacto ambiental y con la reducción del uso de maquinaria agrícola, se ahorra combustible, hay menos emisiones de contaminantes y menor compactación del suelo, que se asocia al exceso de pases de maquinaria (CIMMYT, ¿Qué es la Agricultura de Conservación?). La agricultura de conservación mantiene los rendimientos e incluso puede incrementarlos, sin embargo, el principal objetivo de este método es el ahorro de costos económicos de producción y costos ecológicos por lo que representa una opción de agricultura sustentable. Sobre esa línea de investigación en agricultura de conservación, en el 2005 el INIFAP liberó una tecnología para la producción de trigo con labranza de conservación por riego con gravedad, la cual consiste en reducir el número de pasos de maquinaria, trabajar en surcos permanentes y sembrar sobre los residuos del cultivo anterior con sembradora específica; para su implementación se requiere de una cultivadora-sembradora montada en doble barra con discos¹¹¹; con la aplicación de esta tecnología se obtiene un ahorro de 10 a 15% del costo de producción en el corto plazo por efecto de la reducción en las prácticas de preparación del terreno; mientras que en el mediano y largo plazo se obtiene una recuperación gradual del 5 al 10% en la calidad de los suelos; y después del 5to. año se reduce la compactación, la erosión, la salinidad y la contaminación ambiental de manera significativa; asimismo aumenta la eficiencia en el uso y manejo de agua de riego e incrementa ligeramente el rendimiento (5%) (INIFAP, Fichas tecnológicas trigo 2002-2011). Posteriormente en el 2007, se liberó una tecnología de producción con el uso de labranza reducida sobre las camas de la siembra anterior al trigo, implementando un equipo de laboreo especializado que consiste en tres barras portaherramientas¹¹²; la tecnología se evaluó durante los ciclos de siembra de trigo 2001/02 al 2006/07 y se observó

¹¹¹ Si ya se tiene la sembradora triguera, se cambian los timones y se adaptan los discos cortadores y sembradores (INIFAP, Fichas tecnológicas)

¹¹² Con dos pasos de dicho implemento se logra preparar una cama que permite la siembra utilizando sembradoras tradicionales (INIFAP, Fichas tecnológicas 2002-2011).

una reducción variable de los costos de producción entre \$870 y \$1,070 por ha., el análisis del contenido de materia orgánica mostró un pequeño aumento de ésta y en cuanto a rendimientos no se observaron diferencias significativas pues se obtuvieron rendimientos de alrededor de 6.4 ton/ha; además de la disminución de costos económicos, se evita la contaminación ambiental al reducir al mínimo la quema de la paja (ibíd.).

En el 2008 patrocinado por la Fundación Produce Sonora, el CIMMYT impartió un curso para técnicos, en el CENEB, para capacitarlos en el funcionamiento de las sembradoras multiusos-multicultivos. Actualmente, la sembradora es utilizada en labranza de conservación y constituye un instrumento para facilitar las operaciones, pues el agricultor puede adaptar su maquinaria e implementos a las condiciones requeridas pues permite hacer todas las labores que se requieren para implementar ese sistema: reformación de camas, siembra y fertilización (Industrias Vázquez, s/f).

Figura 33. Sembradoras multiusos-multicultivos usadas en labranza de conservación.



Fuente: CIMMYT, 2008.

En el 2010 el INIFAP, apoyado por la Fundación Produce Sonora, el PIEAES y el Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACYT), desarrolló una tecnología de labranza mínima para el cultivo del trigo en surcos que, al igual que la tecnología anterior de

labranza reducida, permite reutilizar la cama de siembra del cultivo anterior; es aplicable para todas las localidades donde se establezca la rotación trigo-trigo en surcos; la innovación resuelve el problema del manejo de pajas sin el uso de rastra o arado, ya que se puede sembrar sin hacer alguna adaptación a las máquinas sembradoras por lo que puede ser implementada por cualquier productor;¹¹³ La aplicación de esta tecnología en la siembra de 80,000 ha. representa un ahorro de 78.4 millones de pesos, 1.48 millones de litros de diesel y 3,912 toneladas de CO² a la atmósfera (ibíd.).

Por lo general, la agricultura de conservación en la región del Valle del Yaqui se lleva a cabo en camas permanentes con siembra en húmedo, es decir, que se irriga el campo antes del establecimiento de la semilla, lo que conlleva, entre otras cosas, usar agua extra para el riego. Ante ello, investigadores del CIMMYT llevaron a cabo a lo largo de tres años (2009/10, 2010/11 y 2011/12) experimentos con la siembra de trigo en seco en AC. Para ello se utilizaron dos variedades de trigo, Cirno de tipo duro, y Roelfs de tipo suave. En éste tipo de siembra se establece la semilla directamente en la tierra seca y el campo se riega después. No obstante esta técnica requiere un control de malezas con herbicidas selectivos al inicio de la temporada, ahorra agua de riego y permite fechas más flexibles para el establecimiento del cultivo. El CIMMYT continuará realizando ensayos en el Valle del Yaqui como en El Batán y Toluca para comprobar si los resultados obtenidos se pueden obtener en otros lugares (Mulvaney, Verhulst y Govaerts, 2014).

¹¹³ El mercado potencial de usuarios está representado por los productores que ya abandonaron la labranza primaria a base de arado, cincel o subsuelo, aproximadamente 80,000 ha. (INIFAP, Fichas tecnológicas 2002-2011).

- *Mejora en la calidad.*

La tecnología para producir trigo de alta proteína se emplea desde el año 2000. La cantidad de proteína en el grano de trigo se ha visto favorecida por la innovación de aplicar mayor cantidad de nitrógeno en el primer riego de auxilio y no la totalidad de la fertilización nitrogenada al momento de la siembra, lo cual evita la aparición de la llamada “panza blanca”¹¹⁴, característica que es castigada por el mercado al momento de la recepción del grano (Vázquez, 2011, 36).

- *Ahorro de insumos: disminución de la cantidad de semilla, de agroquímicos y láminas de riego.*

Actualmente uno de los objetivos de la investigación es incrementar los rendimientos de la semilla de trigo al mismo tiempo que se hace un uso eficiente y sustentable de los recursos, principalmente el agua.

Ante la incertidumbre de no saber cómo resultará la cosecha al final del ciclo agrícola, los agricultores como una forma de prevención, hacen uso desmedido de los insumos con la finalidad de aminorar los factores que puedan afectar el rendimiento del cultivo. Tal es el caso que la práctica usual en el uso de semilla era sembrar de entre 200 a 250 kg/ha., cuya consecuencia lógica era la competencia en el cultivo por los nutrientes, el agua, el aire y la luz del sol (Vázquez, 2011). Gracias a la investigación se ha probado que se puede utilizar hasta 30 kg. de semilla por hectárea sin afectar el rendimiento actual del cultivo. Sin embargo, por temor a la disminución del amacollamiento¹¹⁵ de la planta como resultado de las extremas temperaturas, la cantidad recomendada es de entre 80 y 120 kg.

¹¹⁴ Fenómeno por lo cual la planta de trigo en vez de producir proteínas genera almidón (Expreso, 2010).

¹¹⁵ Etapa de desarrollo vegetativo donde las plántulas producen macollos de número variable, generalmente de dos a siete.

(ibíd.). No obstante lo anterior, según el Dr. Cortés (2013) a pesar de que esa recomendación aún sigue vigente en algunos documentos técnicos, lo ideal es hacer un uso de semilla promedio de 160kg/ha.

Asimismo, en la década de los setenta y ochenta, todavía los agricultores del Valle del Yaqui aplicaban hasta seis o siete riegos de auxilio a los sembradíos, lo que causaba que éstos se inundaran y se pudriera el trigo. Con base en esa problemática, se empezó a trabajar para generar materiales que toleraran deficiencias de agua, lo que trajo como resultado que hoy en día las semillas pueden mantener o incrementar su rendimiento con menos láminas de riego de auxilio¹¹⁶ (Valenzuela y Camacho, 2013) sin afectar la calidad. Sobre esa línea de investigación, en el 2002, el INIFAP liberó una tecnología de producción de trigo con dos riegos de auxilio aplicable únicamente en suelos con textura arcillosa y recomendablemente en suelos sin problemas de salinidad. La tecnología se ha constituido como una alternativa para los productores ante un panorama de escasez de agua en el sistema de presas. Permite evitar una significativa caída en el rendimiento, concibiendo producir trigo con una deficiencia de agua de 1.6 millares de m³/ha. (INIFAP, Fichas tecnológicas trigo 2002-2011). El siguiente año en el 2003, se liberó una tecnología para producción de trigo también con dos riegos de auxilio pero bajo suelos de aluvión pesado, suelos que se denominan de textura media, suelos francos o migajón; dicha tecnología permite obtener rendimientos económicamente rentables y muy similares a cuando se manejan tres riegos de auxilio. El rendimiento con esta tecnología resultó ser similar o superior al promedio regional de los últimos seis años (5,800 kg./ha.) con un ahorro de 1.3 hasta 2.6 millares de m³/ha. dependiendo de cuantos riegos maneje el

¹¹⁶ En palabras del Dr. Miguel Camacho: “Cuando yo llegue en 1979 aquí al Valle del Yaqui al trigo se le daban 6 riegos , ahora con menos agua tenemos variedades que rinden más”

productor. Permite realizar una siembra completa en caso de escasez de agua en suelos de aluvi3n pesado; as3 en 130,000 ha. con no aplicar 1.3 millares de m/ha se tendr3a un ahorro de 169,000 millares con los cuales se podr3an sembrar 32,000 ha. de trigo con dos riegos de auxilio (INIFAP, Fichas tecnol3gicas trigo 2002-2011). Sin embargo, a3n hay mucho que hacer en cuanto al uso y el manejo eficiente del agua.

En cuanto al uso de agroqu3micos, como parte de un manejo integrado de plagas y enfermedades, la estrategia del INIFAP ha incluido la liberaci3n de insectos ben3ficos en el cultivo del trigo, lo cual aunado a un monitoreo constante de los requerimientos de la planta posibilita hacer un uso racional de los agroqu3micos en pro de la reducci3n de los residuos que da3an el ambiente. (V3zquez, 2011, 36).

- *Manejo nitrogenado: Sensor Greenseeker.*

El sensor greenseeker es una tecnolog3a co-desarrollada por el CIMMYT y la Universidad Estatal de Oklahoma en Estados Unidos y empez3 a ser validada desde el ciclo O-I 2002-2003 en el Valle del Yaqui. Forma parte de tecnolog3as calibradas de agricultura de precisi3n que permiten determinar la dosis 3ptima de fertilizante para un cultivo. Por tanto, a trav3s de sus sensores infrarrojos ayuda al productor a limitar la aplicaci3n de fertilizantes nitrogenados a los requerimientos del cultivo. En el caso del trigo, este dispositivo est3 dise3ado para medir la cantidad de luz que reflejan las plantas en las longitudes de onda rojas e infrarrojas, las cuales indican el contenido de clorofila y la cantidad de biomasa de las plantas. Una vez tomadas las lecturas, se introducen a un modelo matem3tico que indica si la planta requiere o no de fertilizaci3n y de ser as3 proporciona la cantidad que debe ser aplicada (V3zquez, 2011, 34). Seg3n el CIMMYT 3sta tecnolog3a ha demostrado que con un manejo agron3mico adecuado de los fertilizantes es posible reducir la emisi3n de gases

de invernadero en un 50% y las pérdidas por lixiviación¹¹⁷ en un 90% al mismo tiempo que incrementa la rentabilidad del cultivo. Para el periodo 2006-2007 ya se contaba con cinco uniones de agricultores en el Valle del Yaqui, equipo y personal capacitado en el uso del sensor: Unión de Crédito Agrícola de Cajeme (UCAC), Unión de Crédito Agrícola del Yaqui (UCA Y), Asociación de Agricultores del Valle del Yaqui (AAVYAC), Unión de Crédito Agropecuario e Industrial del Valle del Yaqui (UCAIVYSA) y Unión de Sociedades de Producción Rural del Sur de Sonora (USPRUSS) (Ortiz y Cárdenas, 2011).

Figura 34. Sensor Greenseeker.



Fuente: Vázquez, 2011.

- *Combate químico: opción en el control de epifitias¹¹⁸ de roya de la hoja en trigo.*

La roya de la hoja en trigo ocasiona pérdidas en el rendimiento de la planta. La estrategia más importante para el combate de esta enfermedad consiste en la combinación de prácticas preventivas con variedades tolerantes y el combate químico. Con base en los resultados de la investigación se seleccionaron los fungicidas más efectivos (tebuconazol y epoxiconaxol), las mejores épocas de aplicación, y se cuantificaron las pérdidas esperadas si no se aplica el combate químico. Las pérdidas en rendimiento pueden variar desde un

¹¹⁷ Proceso de empobrecimiento que sufre el suelo por efecto de la excesiva infiltración y percolación de aguas de lluvia o de riego, perdiendo con esto parte de sus nutrientes.

¹¹⁸ Enfermedad que afecta simultáneamente a un gran número de plantas de la misma especie en la misma región.

2%, llegar a 60% y hasta un 100% en casos extremos cuando la infección severa se observa en la etapa de amacollamiento (INIFAP, Fichas tecnológicas de trigo 2002-2011). Ésta tecnología fue liberada en el 2002 y puede ser utilizada en el Valle del Yaqui por cualquier agricultor que padezca el problema, cuando las variedades comerciales pierden resistencia a la roya y las condiciones climáticas favorecen su desarrollo (ibíd.)

- *Tecnología y metodología de pronóstico*

Las tecnologías y metodologías de pronósticos posibilitan la construcción de modelos para hacer estimaciones anticipadas referentes a la producción del trigo.

Una de ellas son las estaciones agroclimáticas, pues posibilitan desarrollar pronósticos que permiten producir con un 90% de probabilidad y con 60 días de anticipación las estimaciones del rendimiento del cultivo. Proporcionan información sobre diversos parámetros de clima tales como: temperatura, humedad relativa del ambiente, temperatura del suelo, punto de rocío, radiación solar, precipitación, velocidad, dirección del viento y evapotranspiración potencial. En el Valle del Yaqui la primera estación meteorológica automatizada fue adquirida en el año de 1997 en forma de donativo por parte de la Universidad de Arizona al PIEAES, lo cual se constituye como un antecedente de lo que ahora es la Red Agroclimática del Sur de Sonora.¹¹⁹ Posteriormente, en mayo del año 2000 los productores del Valle, representados por el PIEAES, la Fundación Produce Sonora y la Comisión Nacional del Agua, adquirieron nueve estaciones automatizadas, las cuales iniciaron la Red Agrometeorológica del Valle del Yaqui (Sistema de Información Agroclimática). Dos años después, se adquirieron cinco adicionales y nuevas estaciones

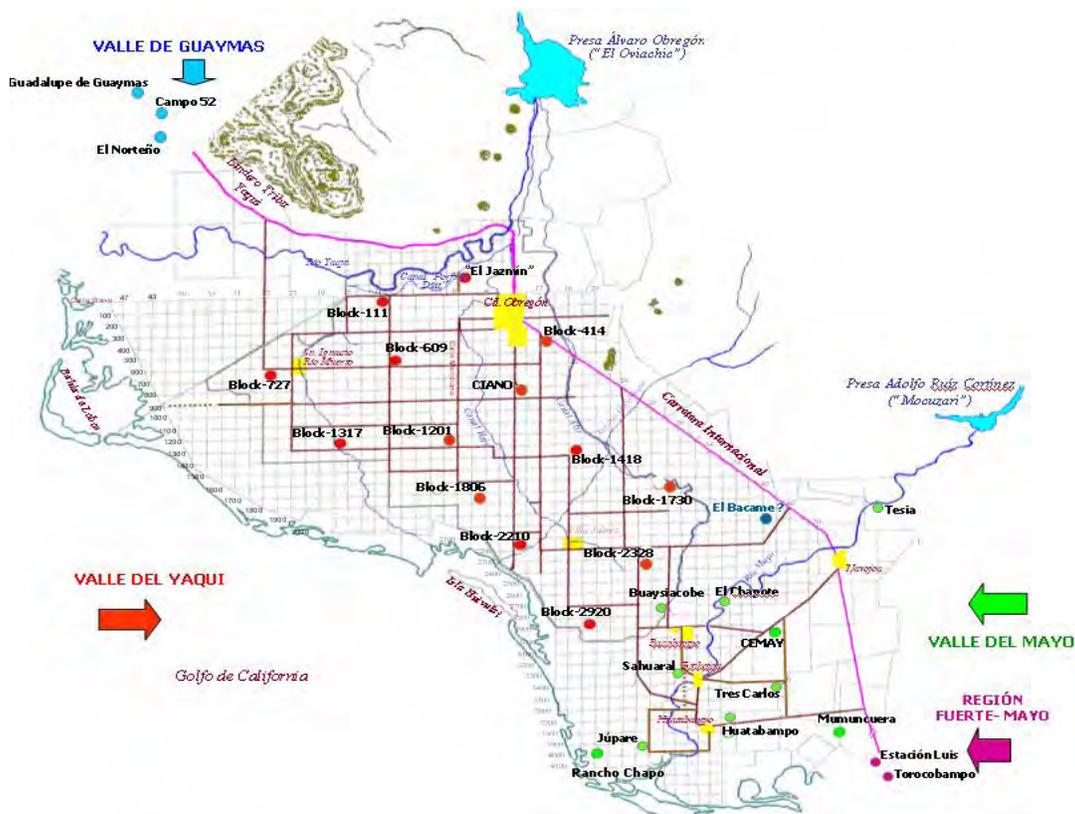
¹¹⁹ Para 1998, en consecuencia de una Misión Tecnológica a España, encabezada por el Gobernador, productores e investigadores del estado de Sonora, se elaboró una propuesta para establecer la Red Agrometeorológica del Valle del Yaqui, que permitiera determinar adecuadamente las condiciones meteorológicas en la región (Sistema de Información Agroclimática).

para el Valle del Yaqui, y seis para el Valle del Mayo, conformando con ello la Red Agrometeorológica del sur de Sonora.¹²⁰ En el 2005, con el inicio del proyecto nacional de estaciones agroclimáticas del INIFAP,¹²¹ las estaciones de la red, incluyendo las del Valle del Yaqui, sufrieron un cambio en su infraestructura al cambiar total y paulatinamente, durante este año, todas sus estaciones Campbell a estaciones con tecnología Adcon; con ello, la temperatura del suelo, que antes se registraba en la totalidad de las estaciones, pasó a ser registrada solo en dos estaciones del Valle del Yaqui y dos estaciones del Valle del Mayo. Sin embargo, un hallazgo importante es que con la tecnología Adcon, se agregó un nuevo sensor, el de humedad de la hoja, el cual simula una hoja del cultivo y registra la presencia de humedad sobre la hoja, en unidades de 0 a 9, siendo 0 lo más seco y 9 lo muy húmedo (Sistema de Información Agroclimática).

¹²⁰ Las estaciones están distribuidas e instaladas estratégicamente en predios de productores cooperantes con el fin de representar la mayor parte de la variación climática del área agrícola del sur de Sonora (Sistema de Información Agroclimática).

¹²¹ Con el inicio del proyecto nacional de estaciones agroclimáticas del INIFAP, en el año 2005 se asignaron 13 estaciones para el estado de Sonora, de las cuales seis fueron para la Red del sur del estado, con esto se incorporaron a la Red el Valle de Guaymas, la Región Fuerte-Mayo con dos estaciones en cada uno de estos lugares, y dos más para el Valle del Mayo (Sistema de Información Agroclimática).

Figura 35. Red Agroclimática del Sur de Sonora¹²²



Fuente: Sistema de Información Agroclimática

En el 2008, el INIFAP liberó una tecnología que consiste en un modelo empírico para de predicción del volumen de producción del cultivo de trigo (*Modelo de pronóstico para la cosecha del cultivo de trigo*); se alimenta con la información que proporciona el equipo ceptómetro Accupar,¹²³ la cual, transformada a índices cuantitativos permite caracterizar el crecimiento y desarrollo del cultivo; el modelo se apoya con información agronómica y meteorológica; con un nivel de precisión mayor a 95% predice el rendimiento del cultivo de trigo desde la etapa de floración o espigamiento hasta treinta días antes de iniciar la época de cosecha; la innovación tiene un costo que fluctúa alrededor de los 12 millones de pesos y

¹²² La Estación del CIANO, registró los últimos datos el 13 de diciembre de 2011

¹²³ Equipo que mide el Índice de Área Foliar (IAF) y la radiación solar que refleja la planta (INIFAP, Fichas tecnológicas 2002-2011).

puede resultar de utilidad tanto para investigadores y técnicos como para dependencias del gobierno y empresas de servicios vinculadas al sector, organizaciones de productores e instituciones financieras, pues el conocimiento anticipado de la superficie real y los volúmenes de producción permiten programar los montos de apoyos a la comercialización y planear y organizar el abasto real de la industria, ventas a futuro, oportunidad de mercado de importaciones, organizar a futuro la producción y el abasto que prevalecerán en el mediano plazo en el país; apoyar a los productores en la comercialización; y tomar medidas para aminorar los impactos del clima extremo en la producción (INIFAP, Fichas tecnológicas trigo 2002-2011).

Por último, en el 2011 fue liberada una tecnología que consiste en la implementación de una metodología para cuantificar los daños a la producción de trigo causado por heladas las cuales pueden llegar a devastar cosechas enteras.

- *Tecnología para la producción de trigo orgánico*¹²⁴

Actualmente en el Valle del Yaqui se hace uso de tecnología orgánica o ecológica para la producción de trigo. Según Cortés (2013) ésta tecnología comenzó a ser validada desde el ciclo agrícola O-I 2009-2010 en tres ha. del block 1010 del productor Luis Arturo Amaya Jiménez.¹²⁵ Las enfermedades más comunes se manejan con variedades tolerantes; Para el ciclo O-I 2010-2011 las variedades utilizadas fueron “Cirno” y “Navojoa”. El método de siembra es muy similar al convencional pero es diferente en cuanto al manejo en

¹²⁴ La agricultura orgánica es un método que consiste en la gestión del ecosistema en vez de en la utilización de insumos agrícolas. Un sistema que comienza por tomar en cuenta las posibles repercusiones ambientales y sociales eliminando la utilización de insumos, como fertilizantes y plaguicidas sintéticos, medicamentos veterinarios, semillas y especies modificadas genéticamente, conservadores, aditivos e irradiación. En vez de todo esto se llevan a cabo prácticas de gestión específicas para el sitio de que se trate, que mantienen e incrementan la fertilidad del suelo a largo plazo y evitan la propagación de plagas y enfermedades (Programa de Agricultura Orgánica de la FAO)

¹²⁵ Productor y socio de la Unión de Crédito Agrícola del Yaqui, UCAY (Tribuna, 2013).

fertilización y control de plagas,¹²⁶ pues todo el proceso se lleva sin utilizar compuestos químicos (Tribuna, 2013). Se implementa control biológico con la liberación de Crisopa¹²⁷ y de ser necesario se asperjan soluciones jabonosas al 1.5% (Inforural, 2011). Además se emplean algunos hongos para el control de algunos pulgones¹²⁸ (Tribuna, 2013). Aunque la validación no se hace en el campo experimental del INIFAP, es ahí donde se lleva a cabo el proceso del análisis de suelo y producción de los abonos orgánicos que está aplicando el agricultor Amaya Jiménez (ibíd.). El costo de producción de la tecnología orgánica es mayor al método de producción convencional, con ésta última el costo fluctúa en unos 15 mil pesos por ha., mientras que con la orgánica éste fluctúa entre 20 y 22 mil pesos por ha., diferencia económica que Amaya Jiménez atribuye a la fertilización, ya que ésta es a base de microorganismos y materia orgánica. Sin embargo, el productor asegura que el costo económico se compensa con el precio al que se compra el trigo orgánico, el cual el año pasado fue de hasta 7 pesos el kilo, es decir, 7 mil pesos por ton. (ibíd.).

- *Adopción y uso de modernos equipos tecnológicos*

Recientemente en el Valle del Yaqui se han adoptado modernas tecnología que contribuyen a mejoramiento agronómico del cultivo del trigo. Una de ellas es la plataforma de fenotipado (MEXPLAT), establecida en terrenos del CENEB por lo que es compartida por CIMMYT e INIFAP. Sus científicos desarrollaron instrumentos de medición manuales para realizar la caracterización fenotípica de los trigos conforme a las variaciones en el aspecto físico de las plantas (Sagarpa, 2012). Como parte de esta plataforma, en marzo de 2012

¹²⁶ Además es importante que las aspersoras, maquinaria e implementos que se utilicen en sistema ecológicos, no sean usados en los sistemas convencionales (Inforural, 2011).

¹²⁷ La crisopa es un insecto depredador que ataca los pulgones en la planta.

¹²⁸ Los pulgones son insectos que se alimentan de la savia mordisqueando hojas y tallos de la planta lo que le produce debilitamiento, manchas amarillas y disminución de crecimiento.

tuvo lugar en el CENEB el lanzamiento del primer dirigible del CIMMYT dentro del proyecto de MasAgro. Éste aerostato, junto con un helicóptero de ocho hélices, conforman la plataforma de fenotipado aéreo; ambos son equipos no tripulados y vuelan a una altura de entre 50 y 70 m. Su tecnología de sensores remotos sirve para, a través de una cámara infrarroja y multiespectral, recolectar datos de extensas áreas de cultivo, actividad que anteriormente se realizaba “a pie”. Al tomar las imágenes se hacen lecturas de temperatura, conductancia estomatal¹²⁹, contenido de agua del follaje, índices de vegetación y de pigmentación sin maltratar la planta (CIMMYT, 2012).

Figura 36. Plataforma de Fenotipado Mexplat.



Nota:

Instrumentos a nivel de hoja, planta y dosel; Blimp – Zeppelin, el dirigible de helio; y el Helicóptero (UAV)

Fuente: CIMMYT, 2012; Matthew Reynolds. S/f.

En abril del año pasado, durante lo que fue el Día del Agricultor 2013, la Junta Local de Sanidad Vegetal del Valle del Yaqui presentó dos aviones ultraligeros de tecnología francesa que serán utilizados para la liberación de insectos benéficos a fin de reducir el uso de agroquímicos en los cultivos. Los aviones se adquirieron con recursos de los productores

¹²⁹ Es un indicador de estrés de la planta.

y permiten aplicaciones tanto en huertos frutales como en el trigo, en éste último caso para el control de la maleza como la correhuela¹³⁰ (CIMMYT, 18 abril 2013). El equipo consta de un dispersor que se construyó con calidad industrial, mismo que fue adaptado al ultraligero avión motorizado y tiene la capacidad de cubrir hasta 10 ha. con un disparo dosificado debido a la velocidad con la que se desplaza (Diario del Yaqui, 2013).

Figura 37. Avión ultraligero para la liberación de insectos benéficos en el Valle del Yaqui.



Fuente: Diario del Yaqui, 20 de mayo 2013.

El pasado mes de mayo (2013) el CIMMYT adquirió una nueva tecnología hiperespectral basada en una cámara¹³¹ que amplifica la capacidad de teledetección para la investigación, pues mediante el monitoreo de los cultivos permite detectar a buen tiempo el estrés en los cultivos¹³² y realizar evaluaciones fisiológicas, así como facilitar la agricultura de conservación, el fitomejoramiento y la detección de enfermedades, entre otras acciones. Las cámaras multispectrales que se utilizan comúnmente captan solo cinco o seis bandas espectrales a la vez, mientras que éste nuevo dispositivo capta 250 bandas espectrales al mismo tiempo. La cámara hiperespectral se instala junto con una cámara térmica y una

¹³⁰ La correhuela si no se controla puede llegar a ocasionar pérdidas de hasta el 90% de la producción en trigo (Cortés, 2013).

¹³¹ El equipo de teledetección hiperespectral que fue obtenido mediante un proyecto de adiestramiento del Programa Global de Agricultura de Conservación del CIMMYT y QuantaLab-IAS-CSIC (Laboratorio de teledetección del Instituto de Agricultura Sostenible (IAS) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) en Córdoba, España) (CIMMYT, 28 de mayo de 2013).

¹³² El estrés en los cultivos es causado por factores afectan negativamente a la calidad y la cantidad de las cosechas.

multiespectral en un vehículo aéreo no tripulado para permitir a los investigadores obtener simultáneamente imágenes térmicas y multi o hiperespectrales. Dicha tecnología permite calcular indicadores fisiológicos y estructurales para mapear el estado de nitrógeno del cultivo y formular recomendaciones con base en ello a fin de mejorar la calidad del trigo (CIMMYT, 28 de mayo de 2013).

Además de las tecnologías descritas anteriormente, con la nueva tecnología de lavado de semilla, como método de prevención de enfermedades, el Laboratorio de Sanidad de Semilla del CENEB en el Valle del Yaqui puede inspeccionar, lavar y tratar 10,000 muestras de semilla al día en comparación con 2,000 que era el límite anterior. De esa manera se ha incrementado de forma dramática la capacidad de lavar y tratar la semilla de trigo con la finalidad de reducir el tiempo requerido para enviar germoplasma al campo experimental El Batán (en el centro de México) y asegurar que los ensayos sigan estando libres del carbón parcial¹³³, enfermedad presente aún en algunas partes de Sonora. (CIMMYT, 18 julio 2013).

Además de las innovaciones tecnológicas descritas anteriormente y desarrolladas en el seno de los centros de investigación en el Valle del Yaqui, es importante señalar, que el cambio tecnológico también proviene de algunos otros actores del sector agrícola en la región que también generan o cooperan con el desarrollo de innovaciones. Un ejemplo de ello es el caso de algunos productores agrícolas de la región como Enrique Orozco Parra, Leonel Esquer Félix y Jorge Castro Campoy que han estado cooperando con la Sociedad de

¹³³ Solo se pueden enviar muestras de semilla, de Obregón a Toluca y El Batán, que han sido sometidas a un examen visual, lavadas en una solución acuosa de cloro al 1.2% durante tres minutos y luego tratadas con una solución que contiene clorotalonil (2 g/kg) y carboxin+captán (3 g/kg) (CIMMYT, 18 julio 2013). El carbón parcial es la enfermedad del trigo causada por el hongo *tilletia indica* mitra, el hongo infecta sólo algunos granos por espiga y la enfermedad solamente se desarrolla en una parte de los granos infectados por lo que de ahí se deriva su nombre (Agrosíntesis, s/f)

Responsabilidad Limitada Resource Seeds International cuyo Director es el Dr. Sanjaya Rajaram¹³⁴ (Tribuna, 28 abril 2014). En palabras de Castro Campoy (2013):

[...] mi campo, es un campo experimental; tengo los últimos 12 años apoyando un investigador privado con recursos de sus ahorros que está tratando de continuar haciendo lo que toda su vida ha hecho, que es mejoramiento genético, él trabajó muchos años en el CIMMYT y cuando decidió jubilarse decidió que quería seguir haciendo lo que toda su vida había hecho. Fue el brazo derecho de Borlaug y aquí mi campo es su campo experimental, aquí él ha generado al menos 3 variedades que ahorita contribuyen con los productores a tener mejor rentabilidad del pastel de diversidad que hay, su competidor principal es CIMMYT e INIFAP [...]

Figura 38. Norman Borlaug y Sanjaya Rajaram



Nota:

Izquierda: Borlaug en el campo con el Dr. Sanjaya Rajaram, recientemente seleccionado con el Premio Mundial de la Alimentación 2014¹³⁵ por sus contribuciones al desarrollo del trigo.

Derecha: participación del Dr. Rajaram el pasado mes de marzo en la Cumbre Borlaug sobre el papel del trigo en la seguridad alimentaria (2014) llevada a cabo en Cd. Obregón, como parte de la conmemoración de los 100 años del natalicio del Dr. Norman Borlaug

Fuente: CIMMYT

¹³⁴ Nacido en la India y naturalizado en México, el Dr. Sanjaya Rajaram es uno de los más respetados criadores de plantas del mundo. A lo largo de una carrera de 40 años, ha ayudado a desarrollar un máximo de 480 nuevas variedades de trigo que se cultivan en un estimado de 58 millones de hectáreas en todo el mundo. Actualmente es titular y Director de investigación y desarrollo de Resource Seed International (RSI), una empresa dedicada al desarrollo y promoción de las variedades de trigo en México, la India, Egipto y Australia. Antes de establecer RSI en México, el Dr. Rajaram dirigió el Programa Biodiversity and Integrated Gene Management (BIGM) del ICARDA, con sede en Aleppo, Siria (2005-2008). Pasó la mayor parte de su carrera en el CIMMYT como Director del Programa Global de Trigo (1996-2002) y como líder del equipo de cría de trigo harinero desde 1973 hasta 1995. En el CIMMYT, capacitó a más de 400 científicos internacionales. Posee más de 400 publicaciones científicas como autor o co-autor. Ha recibido más de 80 premios nacionales e internacionales. Es miembro de la American Society of Agronomy y de la Crop Science Society of America (Embajada de la India Damascus. s/f).

¹³⁵ El Premio Mundial de la Alimentación (el “Nobel” del a agricultura), es el mayor reconocimiento internacional a quienes han coadyuvado al desarrollo de la humanidad, a través de la mejora de la calidad y disponibilidad de alimentos.

Como resultado de la cooperación de los productores agrícolas de la región con la sociedad dirigida por Rajaram nace el programa de nuevas líneas de trigo tolerantes a sequía, con el cual se busca liberar los próximos años una o dos variedades duras similares o con un 10% más de rendimiento que la testigo Cirno, pero con menos volúmenes de agua (dos riegos contra tres o cuatro que dieron algunos agricultores en el ciclo agrícola que está concluyendo, 2013-2014) (Tribuna, 28 abril 2014).

Asimismo, hay agricultores que como Castro Campoy (2013) poseen una actitud de estar constantemente en la búsqueda de innovaciones para ser más competitivos; en su caso en particular Castro aseguró que está diseñando una maquina sembradora de trigo para este año (2014).¹³⁶

Siguiendo con la idea de que la innovación tecnológica también proviene de actores más allá de los Centros de Investigación establecidos en la región del Valle, en febrero de 2013, el Distrito de Riego del Río Yaqui¹³⁷ adoptó una compuerta tipo slipmeter, la primera instalada en Latinoamérica. Ésta es una compuerta hidráulica que automatiza las bocatomas de agua, así como los canales laterales. Incorpora en un solo dispositivo un sistema de medición de flujo, un sistema de moto-control preciso, placas solares y batería y un sistema de telecomunicación por radio. Utiliza una tecnología que permite la medición exacta de flujos rápidos o lentos incluso cuando la caja del medidor esté parcialmente llena de agua, una medición imposible con medidores usados hoy en día. La compuerta es remotamente monitoreada y controlada por un sistema nube de telemetría y telecontrol proveído por la misma compañía¹³⁸. La compuerta se instaló en un principio con el objetivo de mejorar la

¹³⁶ La última que diseñó fue en el 2008 “y aquí vino Jorge Vázquez y se la fusila y la vende, aquí viene todo mundo a verlas, de aquí mi soldador se va ir a hacer 15 máquinas más” (Castro, 2013).

¹³⁷ El Distrito de Riego del Río Yaqui es una organización operada por los productores agrícolas del Río Yaqui desde Marzo de 1992 y cuenta con más de 220,000 hectáreas de riego.

¹³⁸ Rubicon Water

medición del flujo y el control en la distribución de un área ubicada en el Módulo 4 del Distrito de Riego. Sin embargo, ésta tecnología podría ser una solución para automatizar las entregas de agua a cerca de 300 puntos de los 52 módulos de irrigación que están asociados en 42 asociaciones civiles de usuarios (Centro Virtual de Información del Agua, 2013).

Figura 39. Compuerta hidráulica tipo Slipmeter.



Fuente: Centro Virtual de Información del Agua, 2013.

Con base en lo descrito en éste apartado y en el anterior, se puede decir que el progreso genético, materializado en cada variedad de trigo que es liberada por el INIFAP,¹³⁹ debe ser complementado por una tecnología de producción para el mejoramiento agronómico del cultivo, por tanto, es válido argumentar que esa parte del manejo, apoyado hoy en día en el uso de modernos equipos tecnológicos, constituye también un continuo de investigación sin el cual el componente genético no alcanzaría a expresar ni la mitad de su potencial de rendimiento.¹⁴⁰

¹³⁹ “Las variedades las libera el INIFAP pero las produce prácticamente todo el CIMMYT en colaboración con el INIFAP” (Cortés, 2013).

¹⁴⁰ Según el Dr. Cortés, el manejo agronómico puede duplicar o hasta triplicar el rendimiento de la planta (Cortés, 2013).

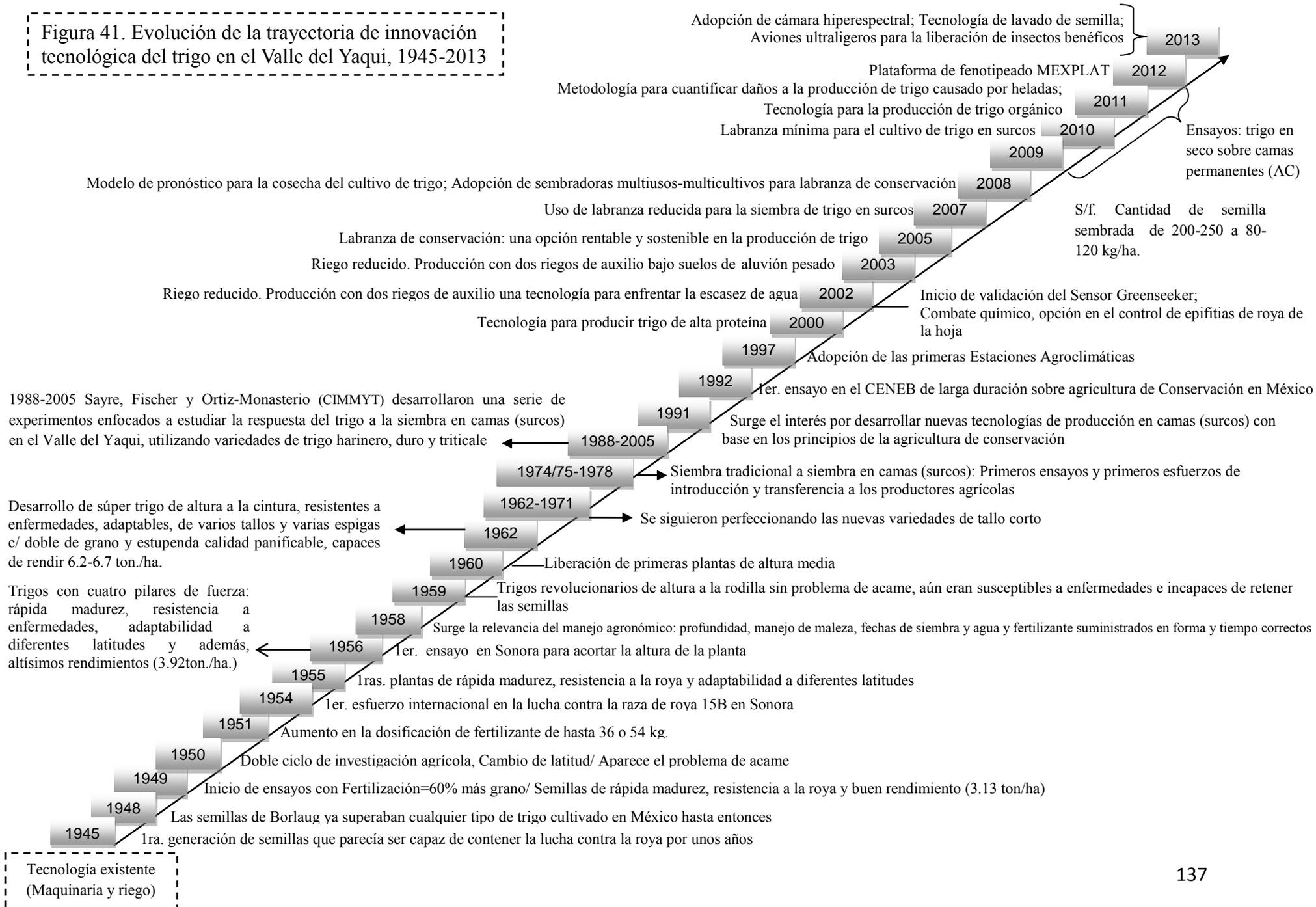
Figura 40. Ejemplo de recomendaciones de uso que emite INIFAP y CIMMYT con cada variedad de trigo liberada

Recomendaciones de Uso		
Ambiente	2 Riegos	3 Riegos
Ciclo agrícola	Otoño-Invierno	
Densidad de siembra	60-80 kg/ha	
Fertilización	200-100-00 N-P-K fraccionando un tercio en la siembra y el resto al inicio del encañe	
Días a madurez	111-138	
Fecha de siembra	15 de noviembre al 31 de diciembre	
Ámbito de aplicación	Noroeste de México	
Rendimiento	5.9 ton/ha	6.0 ton/ha

Fuente: INIFAP. Fichas Tecnológicas Trigo 2002-2011.

En ese sentido, se puede argumentar que en el Valle del Yaqui se sigue avanzando, desde hace siete décadas, en mejorar el rendimiento de las semillas de trigo, en mejorar las prácticas de manejo agronómico y en la evaluación y validación de componentes tecnológicos gracias a la capacidad de organización y de investigación establecida en la región.

Figura 41. Evolución de la trayectoria de innovación tecnológica del trigo en el Valle del Yaqui, 1945-2013



3.3 Viejos y nuevos retos tecnológicos: fuerzas de cambio técnico en el sector agrícola

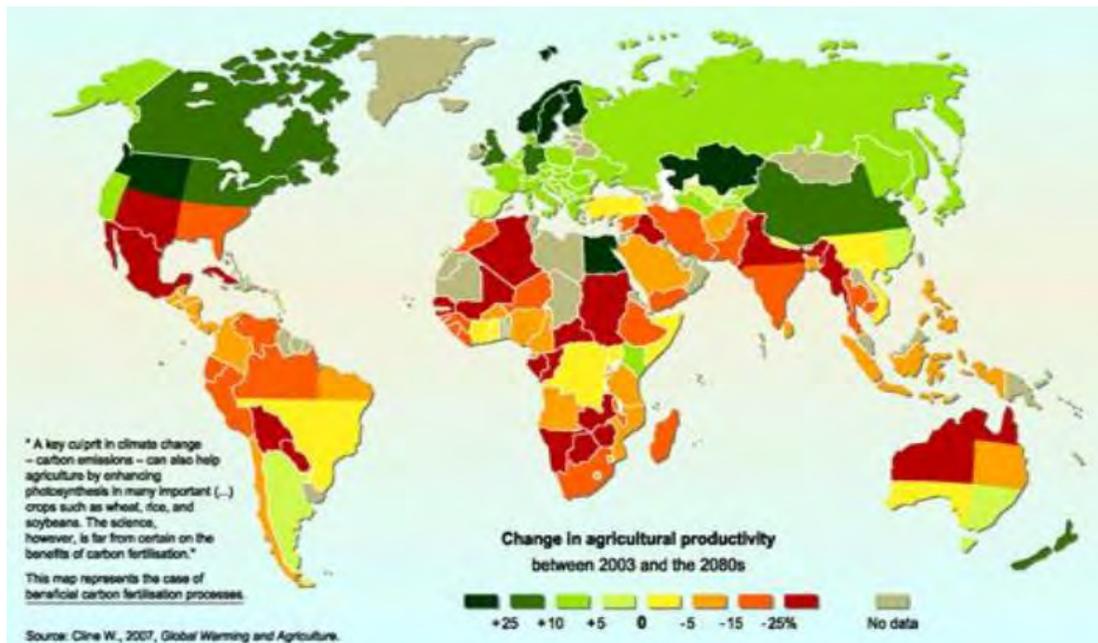
Durante los últimos años las innovaciones tecnológicas han venido abriendo un gran abanico de oportunidades para la agricultura. No obstante, hoy en día no hay alguna que garantice o asegure la producción de alimentos necesaria para la creciente demanda a nivel mundial, por lo que la sobrepoblación¹⁴¹ continuará siendo una amenaza a la seguridad alimentaria, la cual según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) se alcanza cuando un país es capaz de producir al menos el 75% de los alimentos que consume. Actualmente se estima que al menos 870 millones de personas se encuentran en condición de hambre en el mundo (FAO, 2012) y se prevé, además, que se requerirá producir un aproximado de 1,000 millones de toneladas de cereales adicionales al año hasta el 2050 para satisfacer la demanda para entonces (FIAGRO, 2012).

Por lo tanto, recordando que desde la década de los años 40 y 50, la urgencia de la lucha contra el hambre ya constituía un propulsor del progreso científico y tecnológico que propició la revolución verde, se puede decir que aunque se ha instituido como un viejo desafío, la escases de alimentos continuará siendo un motor de cambio técnico para el sector agrícola, en tanto sea necesario el desarrollo de innovaciones tecnológicas para responder a él.

A la par que la seguridad alimentaria a nivel mundial se complica, emergen nuevos retos para la investigación agrícola. Uno de ellos, también de dimensiones globales y que ha estado tomando creciente relevancia los últimos años en el ámbito agrícola es el cambio climático, el cual, según la FAO (2009), podría causar un descenso en la productividad agrícola potencial global entre el 9% y el 21% en los países en desarrollo.

¹⁴¹ Para 2050, la población mundial rebasará los 9.6 mil millones.

Figura 42. Proyección del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura entre 2003 y 2080



Fuente: S/a. 2007. Global Warming and Agriculture en Lele, 2014.

En el caso del trigo de riego, el rendimiento podrá verse reducido alrededor de un 30% para el año 2050, lo cual representa una posibilidad inaceptable, pues a decir del CIMMYT, no obstante mantener los niveles de productividad actual representa un desafío, se tiene la necesidad de incrementar el rendimiento en un 70%; objetivo por el cual el pasado mes de marzo se puso en marcha una Alianza Internacional¹⁴² para elevar el rendimiento del trigo en un 50% para el año 2035 estimando el progreso de la investigación y desarrollo e integrando los resultados de la investigación en los países en desarrollo y en los países industrializados (IWYP, 2014).

¹⁴² La Alianza Internacional de Rendimiento de Trigo (IWYP por sus siglas en inglés) agrupa a patrocinadores investigación, agencias de desarrollo internacional, fundaciones, compañías y a las principales organizaciones de investigación de trigo. Se puso en marcha en la Cumbre Borlaug sobre Trigo para la Seguridad Alimentaria (2014) en Ciudad Obregón. Su misión es “destrabar el potencial de rendimiento de trigo y ayudar a satisfacer la creciente demanda de trigo” (IWYP, 2014)

Ante ese panorama, el cambio climático plantea dos desafíos:

- i. Hacer un uso sustentable de los recursos para reducir el impacto negativo de la actividad agrícola en el medio ambiente, el cual se refleja en la contaminación de suelo, agua y aire por residuos agroquímicos (principalmente nitrógeno y fósforo); en la erosión del terreno que produce que el suelo pierda nutrientes y sea infértil e inservible; en la salinización del suelo; en la utilización desmedida del agua, entre otros.
- ii. Desarrollar tecnologías que hagan menos vulnerable los cultivos a los efectos de ese cambio climático, pues se prevé que el aumento o disminución de las temperaturas afecte de manera negativa el rendimiento de los cultivos, provea condiciones favorables para la propagación o mutación de plagas, enfermedades y malezas, sin mencionar que los cambios en la frecuencia e intensidad de las precipitaciones pluviales constituyen un grave problema para la producción.

Por otro lado, la necesidad de desarrollar innovaciones tecnológicas que hagan posible el abatimiento de los costos económicos de producción constituye un reto más a enfrentar. Ello a fin de incrementar la productividad agrícola y mejorar el ingreso de los agricultores.

Por último, hoy en día la emergencia de nuevas tecnologías representa un importante propulsor del cambio técnico en la agricultura. Según Barrera (2011) ese cambio estará sustentado en las actuales revoluciones “bio”, “info” y “nano”, es decir, en la convergencia entre las tecnologías referentes a la ingeniería genética como la biotecnología,¹⁴³ el sector de tecnologías de la información y la comunicación y la

¹⁴³ La biotecnología agrícola es la ciencia que permite modificar las características genéticas de los cultivos a través de la identificación de los rasgos de una especie o variedad para mejorar su calidad. Es básica para diagnosticar enfermedades en las plantas al mismo tiempo que permite hacerlas más tolerantes a los herbicidas, más resistentes a las plagas y hacerlas más sobrevivientes a suelos difíciles, ya sea secos o salinos.

nanotecnología,¹⁴⁴ los cuales permiten el desarrollo de tecnologías mucho más sofisticadas, rápidas y precisas¹⁴⁵ a implementar en la actividad agrícola.

Figura 43. Esquema de fuerzas de cambio técnico en el sector agrícola



Fuente: elaboración propia.

3.3.1 Perspectivas tecnológicas del trigo en el Valle del Yaqui

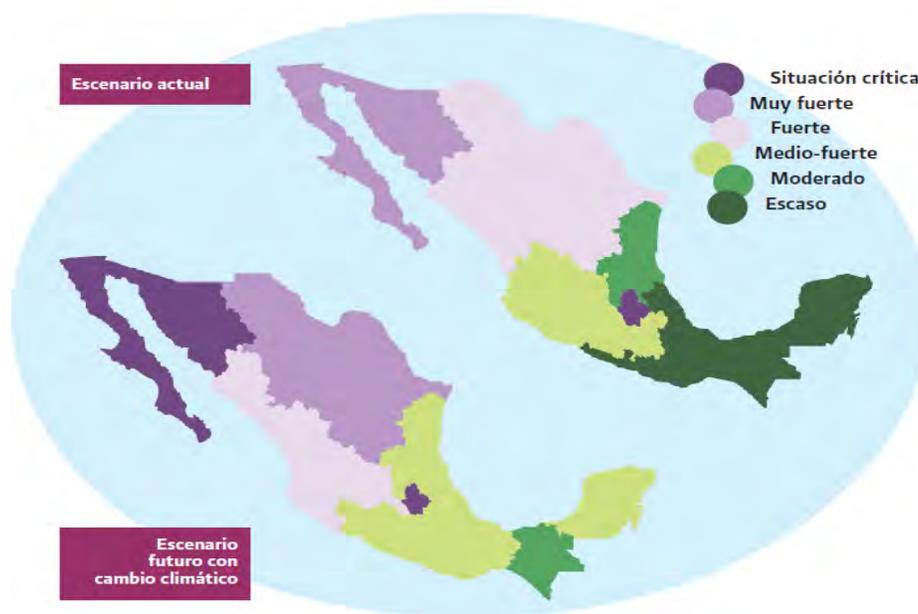
La trayectoria de innovación tecnológica en la agricultura del Valle del Yaqui constituye un continuo de innovaciones que no se ha detenido y que no se detendrá mientras se sigan dando condiciones científicas, tecnológicas, sociales, políticas e institucionales que posibiliten su continuidad. Sin embargo, a la par de los cambios en el contexto, ésta habrá de evolucionar para introducir innovaciones acordes a los viejos y nuevos retos tecnológicos del sector.

¹⁴⁴ Según Barrera (2011), algunos de los efectos de la nanotecnología serán: a) el fortalecimiento de la agricultura de precisión; b) la generación de alimentos inteligentes, cuyos nutrientes ubicados en nanocápsulas serán mejor utilizados por el organismo humano y el de los animales; c) una mejor gestión de la inocuidad a través de la utilización de envases interactivos, entre otras formas; y d) el fortalecimiento de la prevención y control de enfermedades de plantas y animales.

¹⁴⁵ Aunque se han conseguido progresos considerables con la tecnología tradicional, la selección y mejoramiento exigen mucho tiempo y están sujetas a limitaciones técnicas (FAO, El papel de la tecnología)

La gran sequía a finales de 1990 y principios de la década del 2000 en la región, fue un recordatorio aleccionador de la importancia de la gestión eficaz y el uso productivo de los recursos, en ese caso, el agua (McCullough y Matson, 2011), recurso que representa quizá la prioridad a atender en la agricultura del valle.¹⁴⁶ Según proyecciones de futuros escenarios, se espera que se presenten sequías más prolongadas y severas, lo que significa que la escasez de agua aumentará; de ésta manera, si se considera el desarrollo socio económico del país, así como los escenarios previstos de cambio climático, es posible que la cantidad de agua de la que se dispondrá entre la década del 2020 y 2030 disminuya hasta un 10% respecto a la que se tenía en el año 2000 y es en ese contexto que uno de los estados más afectados será Sonora pues pasará a una situación crítica de agua (Semarnat, 2009) (véase figura 44).

Figura 44. Grado de presión del agua en el año 2000 y bajo un escenario futuro con cambio climático



Fuente: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2009.

¹⁴⁶ Actualmente en México, la agricultura destina a la agricultura tres cuartas partes del agua disponible en las regiones que cuentan con sistema de riego.

Por tanto, ante el desafío que representa el logro de la seguridad alimentaria, el cambio climático y el abatimiento de costos de producción tanto económicos como ecológicos, el desarrollo científico y tecnológico del trigo tendrá que continuar avanzando en materia genética y agronómica apoyado en la emergencia de las nuevas tecnologías.

Del lado del mejoramiento genético, habrá que continuar manteniendo el logro de los objetivos ya tradicionales, estos son: conservar o incrementar el rendimiento de la semilla de trigo, mejorar su calidad nutritiva y por tanto industrial y mantener su resistencia a plagas y enfermedades. Aunado a esos objetivos, hay que trabajar sobre algunos adicionales para incorporar a la semilla nuevas características deseables acorde al contexto actual, que respondan al estrés biótico¹⁴⁷ y abiótico provocado por el cambio climático, esos objetivos son: acelerar el descubrimiento de genes para características complejas, desarrollar semillas con mayor tolerancia al frío o al calor ocasionado por sequías o heladas, así como más eficientes en el aprovechamiento de los insumos, es decir, semillas que rindan con menor cantidad de agua y agroquímicos.

Asimismo, del lado del manejo agronómico hay que hacer más eficientes los procesos y evitar los desperdicios, es decir, acabar con el uso desmedido de los recursos (Cortés, 2013), ello implica seguir trabajando en la adopción de prácticas agronómicas sustentables que incluyan ajustes a las fechas de siembra para maximizar las horas frío del cultivo, métodos que hagan más eficiente la siembra, la cosecha y el control de maleza (entre ellos la agricultura de conservación), sistemas de riego según la necesidad del cultivo, uso de tecnologías diagnósticas que permiten ajustar las prácticas de cultivo a las

¹⁴⁷ El estrés biótico en las plantas es el derivado del ataque de plagas y enfermedades, mientras que el estrés abiótico se presenta por efectos en el suelo, en las temperaturas y en la luz.

necesidades de la planta, la adopción de abonos verdes que sean amigables con el suelo, entre otros.

Todo lo anterior deriva en la premisa de que todos los procesos deben tender a mejorar el rendimiento del cultivo y el ingreso del agricultor sin deteriorar los recursos naturales, objetivo sobre el cual actualmente están enfocados todos investigadores de CIMMYT e INIFAP (Cortés, 2013). A pesar de ello, y no obstante la adopción de modernas tecnologías, la investigación pudiera ir más rápido, a decir del Dr. Valenzuela (Valenzuela y Camacho, 2013):

[...] si tuviéramos acceso a herramientas modernas en mejoramiento genético como la biotecnología [...] necesitamos tener más tecnologías de precisión para aplicar los insumos de una manera precisa, necesitamos mayor eficiencia en las diferentes técnicas, llámese riego, llámese de fertilización, llámese de siembra, ahorita hay tecnología moderna que nosotros no estamos usando, no tenemos las herramientas que se requieren para eso, nos faltan herramientas.

En resumen, el futuro de la investigación y la innovación agrícola a nivel global y regional deberá ser el de una agricultura más productiva y sustentable, que pueda hacer frente de manera rápida y eficaz a cualquier crisis o evento inadvertido que se le presente. Y en esa tarea, el desafío es y será continuar con el progreso genético y agronómico, a fin de sostener e incrementar la productividad del trigo, reduciendo los costos económicos y los costos ambientales de la producción.

Conclusiones

El desenvolvimiento de la agricultura del sur de Sonora, en especial la del Valle del Yaqui, ha sido afectada por un proceso de “*Dependencia de la trayectoria*” (path dependent development) que fue muy exitoso en el pasado. El avance tecnológico iniciado en la década de los cuarenta y que derivó en el desarrollo de la denominada Revolución Verde, sirvió de parte aguas para todos los procesos de innovación aplicados al sector hasta hoy en día.

La tecnología que caracterizaba a la actividad agrícola entonces era simple y tradicional, a medida que se fueron gestando los avances en la investigación, ésta ha venido evolucionando a formas más complejas y modernas.

En ese sentido, el surgimiento del progreso tecnológico de la Revolución Verde puede asociarse a la idea de irreversibilidad enmarcada en la concepción Schumpeteriana de la “destrucción creativa”, en donde la innovación y la difusión de tecnologías de la Revolución Verde desplazaron a otras tecnologías tradicionales establecidas con anterioridad en el sector.

Lo anterior, trae a perspectiva uno de los elementos considerados clave en la concepción de todo ese proceso de innovación: la visión y la convicción de Borlaug para trasladar el desarrollo de la investigación al noroeste de México, al Valle del Yaqui. Con ello se quiere decir, que Borlaug fue un emprendedor Schumpeteriano, un “destructor creativo” tras convertirse en un agente del proceso de creación que rompió la forma tradicional de hacer agricultura. La convicción en lo que él creía lo llevó a romper las inercias de su entorno y a convertirse en un líder que modificó las rutinas establecidas en el cultivo del trigo en el Valle del Yaqui. Sucedió pues, que al inicio sus superiores no

comprendieron los méritos de lo que estaba intentando lograr, y sólo recibió apoyo institucional hasta que empezaron a ser visibles los buenos resultados de su trabajo. En efecto, fue a raíz del éxito de su investigación que se crea una estructura nacional de investigación agrícola en el país y todo un sistema de centros de investigación a nivel internacional que dan un servicio a nivel mundial muy importante para el desarrollo de la agricultura.

Atendiendo las consideraciones anteriormente expuestas, el concepto de trayectorias tecnológicas asociado al cultivo del trigo en la región del Valle del Yaqui, se fundamentó en un reconocimiento de los cambios ocurridos en la actividad agrícola desde el inicio de los avances producidos en el periodo de la Revolución Verde.

Sobre la idea de que la agricultura es una actividad altamente vulnerable al entorno incierto y cambiante del ambiente, tanto económico, como sociopolítico, institucional y natural, como bien se intentó ilustrar en el capítulo dos, fueron varias las condiciones que convergieron en el pasado y que han ido moldeando el avance de la trayectoria tecnológica del trigo en la región a la par de su evolución.

En la década de los cuarenta y los cincuenta, mientras los avances científicos y tecnológicos a cargo del Dr. Borlaug y su equipo de científicos progresaban, en México se fueron dando una serie de cambios institucionales en forma de políticas públicas que impulsaron el desarrollo agrícola de la región. Sin embargo, ese panorama se vio modificado mientras transitaba el periodo de la post revolución verde con la inserción de la economía en la dinámica global de mercado.

Lo anterior cambió la lógica de la producción triguera en el Valle del Yaqui tras verse obligada a incrementar sus niveles de competitividad, en buena medida, a través de la introducción de innovaciones tecnológicas para mejorar el rendimiento del trigo.

En ese sentido, resulta claro que la inmersión de la agricultura regional en la lógica internacional no detuvo el proceso de mejora continua, pues como bien se pudo observar en el capítulo tres, actualmente se sigue avanzando en mejorar el rendimiento de las semillas de trigo, en mejorar las prácticas de manejo agronómico y en la evaluación y validación de componentes tecnológicos gracias a la capacidad de organización y de investigación que se ha venido estableciendo en la región.

Dentro de esa perspectiva, se podría decir que si bien el sector agrícola de Sonora se encuentra actualmente lejos de constituir un verdadero sistema de innovación, en la región agrícola del Valle del Yaqui, las redes de investigación y cooperación constituyen lo que bien puede considerarse como un “Sistema Microsectorial de Innovación” que favorece el intercambio y el contacto, lo que hace posible el intercambio mutuo de información y de experiencias y aprendizajes con el propósito de generar y transferir conocimientos. En ese sentido, la actividad agrícola se caracteriza por poseer un mecanismo propio de búsqueda de innovaciones (actividades de investigación y desarrollo) que constituye un proceso interactivo de resolución de problemas en donde los agentes económicos son capaces de organizarse y cooperar para gestionar esquemas que permiten el desarrollo de innovaciones tecnológicas en beneficio de los productores agrícolas asociados y por ende del sector agrícola regional.

No obstante, es perceptible que ha disminuido el reconocimiento de la labor científica y experimental durante el periodo de la post-revolución verde. En ese sentido, tal parecería, en correspondencia con la opinión de los entrevistados, que el mantra de la Revolución Verde y el renombre del Dr. Borlaug marco la historia de la agricultura de tal manera que hoy en día continúa ensombreciendo la relevancia de las innovaciones tecnológicas desarrolladas a partir de entonces, así como el trabajo de científicos, no solo

mexicanos, que hicieron posible el progreso de la investigación y que nunca han sido, o habían sido, objeto de reconocimiento hasta hoy. Solo un ejemplo de ello es el caso del Dr. Sanjara Rajaram quién solo hasta ahora fue merecedor del Premio Mundial de la Alimentación (2014), un premio equivalente al “Nobel de la Agricultura”, siendo que desde 1969 laboró en CIMMYT México al lado de Borlaug y desarrolló 480 variedades de trigo resistentes a enfermedades y adaptables a múltiples climas, las cuales aumentaron la producción triguera en 200 millones de toneladas anuales y son cultivadas en 51 países (World Food Prize, 2014). Es decir, pareciera que los avances tecnológicos producidos en el seno del microsistema de innovación agrícola del Valle del Yaqui están marcados por el éxito del pasado.

Lo anterior resulta curioso y da pie a una paradoja. Considerando que la competitividad de la investigación agrícola moderna es mucho mayor si se le compara con la del periodo de la Revolución Verde, las innovaciones han sido, en correspondencia con lo expuesto líneas arriba, menos visibles y de una naturaleza menos radical que en el pasado.

Al respecto, si se observa la trayectoria de los rendimientos medios del trigo en el Valle del Yaqui presentada en el capítulo tres, pareciera que la tendencia encausada posterior a la primera mitad de la década de los setenta es precisamente un reflejo de la post revolución verde.

Se es de la idea, que el aparente estancamiento puede estar asociado a que el desarrollo de innovaciones incrementales, en este caso primordialmente las referidas a la cuestión del manejo agronómico, no tuvieron el impacto de la innovación derivada del componente genético durante la gestación de la Revolución Verde.

Sin embargo, a pesar de ese aparente estancamiento hoy la dirección de los esfuerzos de la investigación y la experimentación están generando buenos resultados en un rumbo distinto al de la lógica del pasado; pues mientras el desarrollo tecnológico del trigo en la década de los cuarenta se dio sobre la base de un enfoque productivista cuyo propósito principal era la obtención de mayores volúmenes de producción, recientemente se está evolucionando hacia formas de producción más sustentables cuyo propósito es una aplicación más responsable y racional de los insumos, tales como el agua y los fertilizantes.

Con base en ello, actualmente prevalece la idea de que el paradigma de la revolución verde está agotándose a la vez que se ve cuestionado por el cambio climático y su incapacidad de seguir incrementando significativamente los rendimientos.

Más allá de la importancia en el incremento del rendimiento del trigo, la necesidad de conservar el medio ambiente ha fomentado que los productores agrícolas busquen recientemente opciones tecnológicas que les permitan mantener o incrementar la productividad del grano, reducir los costos de producción y producir aminorando el menoscabo del medio ambiente. Con base en lo anterior, el incremento en el rendimiento por hectárea ya no es la única unidad de medida de la productividad del sector agrícola, en ese sentido se están empezando utilizar parámetros que miden la eficiencia en el uso de los recursos o los insumos tales como litros de diesel o de agua consumidos por hectárea o incluso unidades de dióxido de carbono CO² emitidas por tonelada de trigo al ambiente; por tanto la relación costo-beneficio ya no debe calcularse solo con base al rubro económico, sino también al ambiental.

De las evidencias anteriores, se puede rescatar, que la trayectoria tecnológica, no solo del trigo en el Valle del Yaqui, sino de la agricultura en general a nivel mundial presenta un rumbo definido hacia la sustentabilidad.

Algunas personas son de la idea de que los avances en la biotecnología podrían desencadenar una segunda RV; sin embargo, las trabas institucionales a los productos genéticamente modificados (GM) o transgénicos abren la posibilidad de que no ocurra así.

En el Valle del Yaqui, la siembra de transgénicos parece un panorama aún algo distante. Según Cortés (2013) actualmente no hay iniciativas en la región para sembrar trigo genéticamente modificado, aunque no hubo argumento que sustentara esa idea, algunas de las razones que se identificaron para ello pueden ser las siguientes:

- i. El desarrollo del trigo transgénico se ha presentado con cierto retraso si se compara con el de otros granos y oleaginosas (Solleiro, 2008). Una de las razones pudiera ser, en palabras de Robert T. Fraley¹⁴⁸ que “[...] la mayor parte del trigo que se cosecha en el mundo no ha tenido las mismas ganancias de rendimiento que se han visto en el maíz” (El Economista, 2013). Además, otras de las posibles razones del retraso, según Solleiro (2008), es que la genética del trigo es más compleja y las regulaciones de los países importadores no están suficientemente definidas.
- ii. Las dificultades para las aprobaciones de su uso comercial, factor anclado en el debate de los efectos de los alimentos transgénicos en la salud y en la soberanía alimentaria de los países.
- iii. La tecnología para el desarrollo de trigo transgénico no está tan avanzada como los otros cultivos (el maíz, por ejemplo). Según Robert T. Fraley:

[...] tampoco ha habido mucha inversión en la biotecnología hasta el momento, pero sabemos que esas herramientas ya son posibles, estamos trabajando con varias universidades de diversos países para completar el mapeo del genoma del trigo, buscando la tecnología que nos va a permitir tener un cultivo más rápido e identificando la tecnología que puede proporcionar para el tipo de resistencia de enfermedades o de protección a las sequías, con el fin de incrementar el rendimiento (El Economista, 2013).

¹⁴⁸ Executive VP y chief technology officer de Monsanto

iv. En el Valle del Yaqui las innovaciones tecnológicas están ya encaminadas a lo que resulta ser una motivación para el uso de la biotecnología, aumentar rendimientos, hacer las semillas tolerantes a las sequías, mejorar su calidad nutritiva y hacerlas resistentes a las enfermedades, con una diferencia, si bien permite hacerlo de una manera más rápida y precisa, es bastante costosa su adquisición e implementación.

Además de la apuesta por una revolución transgénica, hay quienes incluso son de la opinión, como el Dr. Cortés, de que la agricultura orgánica podría representar un cambio de paradigma; que es ahí donde está el germen de una nueva revolución que a su juicio marcará un hito incomparable con lo que se dio en los momentos de la revolución verde.

Sin embargo, en general la apuesta por éste tipo de productos no es muy acertada, sobre todo si se consideran las necesidades alimenticias que se tienen a nivel mundial, pues lo último que se necesita es la escasez de granos básicos; por tanto, ante la necesidad de mantener (incluso incrementar) la producción, para salvaguardar una abundancia mínima la tecnología orgánica no es una viable opción.

En acuerdo a la opinión del Dr. Karim Ammar, se es de la idea que una revolución en sí de la magnitud de la revolución verde no se va a volver a dar ni por el uso de transgénicos ni por la proliferación de la agricultura orgánica, pues el triplicar los rendimientos del trigo implicarían el hecho de que la semilla del trigo posea la capacidad de rendir hasta 21 ton/ha, que en palabras del Dr. “hay un límite de lo que puede dar la planta de trigo, ni una palmera puede producir tanto!” aun si fuese posible sería demasiado el peso a que la planta tendría que soportar, lo que culminaría en un grave problema de acame¹⁴⁹.

¹⁴⁹ “Se triplicaron los rendimientos, eso nunca va a pasar!. no estamos en la revolución y no creo que vayamos a tener una revolución porque ya el progreso que podemos hacer no se puede hacer de manera espectacular porque aunque se lograra que la planta triplique de nuevo su rendimiento, no será capaz de soportar el peso equivalente a ello [...] no me molesta que no hagamos un brinco de 300% cada diez años, es no me molesta, con que nos quedemos con un progreso genético establemente para arriba de un 5% de un 10% cada 2 o tres años, no hay problema, pero debemos hacerlo a pesar de la

Más que una “revolución transgénica”, una “doble revolución verde”, una “revolución café”¹⁵⁰ o una “revolución azul”¹⁵¹ lo que se está presenciando actualmente es un proceso de evolución cuyo principal objetivo será mantener un enfoque encaminado a seguir manteniendo un progreso. En ese sentido, la generación y aplicación de innovaciones tecnológicas no será para ver una multiplicación de rendimientos, más bien será una evolución del mejoramiento continuo con un menor costo económico y ambiental, lo cual representa un reto tan grande como el de la Revolución Verde.

Ultimando, la presente investigación tuvo como objetivo general analizar la trayectoria tecnológica del cultivo del trigo generada a raíz de la Revolución Verde en el Valle del Yaqui, Sonora a fin de caracterizar su evolución. En ese cometido, el enfoque de trayectorias tecnológicas incrustado dentro de la lógica del institucionalismo económico y la economía evolutiva resultó un marco conceptual útil para el estudio del sendero tecnológico del trigo tras otorgarle un carácter dinámico donde los procesos de innovación y cambio tecnológico son afectados en parte por el ambiente institucional y socioeconómico prevaleciente en el pasado y el presente.

El conjunto de evidencias expuestas a lo largo de la presente investigación, permitió reunir los suficientes elementos que confirman la hipótesis de que *durante las últimas siete décadas la agricultura del Valle de Yaqui, Sonora, particularmente en el caso del trigo, ha experimentado cambios en términos científicos y tecnológicos, de política pública, sociales, institucionales y productivos, los cuales se podría decir han estado asociados a diferentes*

escasez de agua, a pesar de los costos de producción que subieron de manera exagerada, a pesar de los problemas que tenemos de cambio climático, a pesar de la competencia que tenemos para el factor de producción en el mundo que es el agua con el crecimiento urbano, a pesar de todo eso y a pesar de la competencia de los países que producen trigo a muy bajos costos (Ammar, 2013).

¹⁵⁰ Denominación que enmarca la idea de una Revolución en la producción de alimentos con base en el progreso en las técnicas del manejo en la agricultura, el adjetivo “café” se deriva del color de la tierra. Concepto tomado de Buffet, 2014.

¹⁵¹ Borlaug en su discurso de recepción del Premio Nobel de la Paz en 1970 denomina a la Revolución Azul como una revolución en la producción de alimentos con basamento en la gestión y el uso eficiente del agua.

modalidades de innovación tecnológica. Pues mientras durante el periodo de la Revolución Verde se forjaron innovaciones de carácter radical, a partir de entonces éstas se han caracterizado por darse de forma paulatina e incremental. Por tanto, la trayectoria tecnológica del trigo en el Valle del Yaqui no puede tipificarse de otra manera como de cambio y continuidad del sendero de innovaciones abierto desde la Revolución Verde.

Por todo lo reflexionado en este trabajo, es que vale la pena realizar estudios sobre los fenómenos regionales que suceden al interior de la actividad agrícola, y poner especial énfasis en aquellos procesos que alientan su desarrollo, como lo son los procesos de innovación tecnológica y cómo los actores locales se organizan para gestionar y aplicar dichas innovaciones en un sector que no ha dejado de permanecer activo y en constante modernización.

Bibliografía

- Actionbioscience. 2012. Biotecnología y la Revolución Verde. Entrevista al Dr. Norman Borlaug, Noviembre.
<http://www.actionbioscience.org/esp/biotecnologia/borlaug.html>
- Agrosíntesis. S/f. Carbón parcial del trigo *Tilletia indica* (Mitra).
<http://www.agrosintesis.com/component/content/article/49-front-page/222-carbon-parcial-del-trigo-tilletia-indica-mitra>
- Albornoz, Mario. 2009. Indicadores de innovación: las dificultades de un concepto en evolución. *Revista CTS* 13 (5): 9-25.
- Ammar, Karim. 2013. Entrevista por Iris Valenzuela y Alvaro Bracamonte, 14 de Agosto de 2013. Campo Experimental Norman E. Borlaug. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Ciudad Obregón, Sonora.
- Andrade, J. Francisco y Donald K. Freebairn. 1965. Economía agrícola en el Valle del Yaqui. Los ejidatarios individuales. Folleto técnico No. 49, Secretaría de Agricultura y Ganadería. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, México.
- Aquino, P. 1998. La adopción del método de siembra de trigo en surcos en el Valle del Yaqui, Sonora, México. Informe Especial del Programa de Trigo No. 17b. México, D.F.: CIMMYT.
- Araujo, Luis y Debbie Harrison. S/f. Technological trajectories and path dependence. Universidad de Lancaster.
- Arias, M. A., Mallén R. C., Garza R.D., Rentería A. J. B., Reyes M.L., Zamora M.P., Tovar G.M.R., Vargas M.S. y Gómez H. T. 2010. INIFAP: 25 años contribuyendo al desarrollo rural sustentable. México, D.F.: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

- Ayala Espino, José. 1999. Instituciones y economía. Una introducción al neo institucionalismo económico. FCE.
- Barrera, Arturo. 2011. Nuevas realidades, nuevos paradigmas: la nueva revolución agrícola. *COMUNICA*. Enero-julio.
- Barreras, Miguel Ángel. 2010. El papel de las instituciones en la gestión territorial de innovación tecnológica en el Valle del Yaqui, Sonora: el caso de sensor greenseeker para el mejoramiento de la producción de trigo. Tesis de Maestría en Desarrollo Regional. El Colegio de la Frontera Norte.
- Bathelt, Harald y Jeff Boggs. 2005. Continuities, ruptures, and re-bundling of regional development paths: Leipzig's Metamorphosis. En *Rethinking regional innovation and change: path dependency or regional breakthrough*. Nueva York: Springer Science.
- Bianco, M. 2008. Actores, Instituciones y Cambio Técnico en el Agro en el campo Uruguayo: una mirada desde la sociología rural.
- Borlaug, Norman E. 1970. Lectura del premio Nobel de la Paz 1970, The Green Revolution, Peace, and Humanity. 11 de diciembre. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/peace/laureates/1970/borlaug-lecture.html
- Borlaug, Norman E. 2000. The green revolution revisited and the road ahead. Norman E. Borlaug 1970 Nobel Peace Prize Laureate. Especial 30 Aniversario, El Instituto Nobel de Noruega, Oslo, 08 de septiembre.
- Borlaug100. Borlaug Summit on Wheat for Food Security (11 de junio de 2014) <http://borlaug100.org/>

- Bracamonte Sierra, Alvaro y Rosana Méndez Barrón. 2011. *Subvenciones, reconversión e innovación productiva en la agricultura. El caso del trigo en Sonora*. El Colegio de Sonora.
- Bramuglia, Cristina. 2000. La tecnología y la teoría económica de la innovación. Documentos de trabajo no. 15. Universidad de Buenos Aires Argentina.
- Buffet, G. Howard. 2014. Why the Next Revolution must be brown not green. Ponencia presentada en la Cumbre Borlaug sobre el papel del trigo en la seguridad alimentaria. Cd. Obregón, Sonora.
- Camacho, Miguel. 2011. Mejoramiento del trigo en el Noroeste de México. Campo Experimental Norman E. Borlaug. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Ciudad Obregón Sonora.
- Campo Experimental Valle del Yaqui. Introducción. (16 de mayo de 2014)
<http://jlmksonora.tripod.com/cevy.html>
- Cassiolato, José E y Helena M.M. Lastres. 2007. Discussing innovation and development: Converging points between the Latin American school and the Innovation Systems perspective?. *Globelics working paper series* 8 (2).
- Castro Campoy, Jorge. 2013. Entrevista por Iris Valenzuela y Alvaro Bracamonte, 19 de Septiembre de 2013. Ciudad Obregón, Sonora.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo CIMMYT. 2013. Presentan rendimiento record del ciclo 2011-2012 en el “Día del Agricultor”. 18 de abril.
[http://conservacion.cimmyt.org/index.php/es/boletin-ac/2013/701-presentan-
rendimiento-record-del-ciclo-2011-2012-en-el-dia-del-agricultor](http://conservacion.cimmyt.org/index.php/es/boletin-ac/2013/701-presentan-rendimiento-record-del-ciclo-2011-2012-en-el-dia-del-agricultor)

- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. ¿Qué es la Agricultura de Conservación? (Octubre de 2013)
<http://conservacion.cimmyt.org/index.php/es/ique-es-ac>
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. 2008. Sembramos agricultura de conservación en el norte de México .CIMMYT E-Boletín, 5 (6).
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. 2011. Detrás de cada éxito hay un gran equipo. El equipo del programa de agricultura de conservación en la estación del CENEB, Cd. Obregón, Sonora. *EnlACe Enlazando al sector agrícola con la agricultura de conservación* II (4): 51-52.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. 2013. Estrategias de mejoramiento para productividad, adaptabilidad y calidad en trigo. Ponencia presentada en el Octavo Simposium Internacional de Trigo. Mazatlán, Mexico. 22-24 Agosto
<http://www.slideshare.net/CIMMYT/autrique-bread-wheat-breeding-mazatlan-2013>
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. 2013. Mantienen a raya el carbón parcial. 18 de Julio.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. 2013. MasAgro beneficia el ingreso económico de los productores al noroeste del país. 29 de Octubre.
<http://conservacion.cimmyt.org/index.php/es/capacitacion/838-masagro-beneficia-el-ingreso-economico-de-los-productores-al-noroeste-del-pais>
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. 2013. Volando alto y con cámara hiperespectral. 28 de mayo. <http://blogesp.cimmyt.org/?p=5561>
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. 2012. Un dirigible surca el cielo de Ciudad Obregón. 23 de marzo.

- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. S/f. Nuestra Historia.
<http://www.cimmyt.org/es/quienes-somos/nuestra-historia>
- Centro Virtual de Información del Agua. 2013. El Distrito de Riego del Río Yaqui instala la primera SlipMeter en Latinoamérica. 01 de febrero.
<http://www.agua.org.mx/index.php/actua/consumo-responsable/dispositivos-y-tecnologia-alternativas/24351-el-distrito-de-riego-del-rio-yaqui-instala-la-primera-slipmeter-en-latinoamerica>
- Cerutti, Mario. 2013. La Agriculturización del Desierto. Estado, riego y agricultura en el norte de México (1925-1970). IV Encuentro de Asociación Española de Historia Económica. Pamplona-Iruña. 3 y 4 de Septiembre.
- Cimoli, Mario y Marina de Ila Giusta. 1998. The nature of technological change and its main implications on national and local systems of innovation. International Institute for Applied Systems Analysis.
- Consejo Nacional de Población. Proyecciones de la población 2010-2050.
<http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones>
- Contreras, F. Oscar y Alvaro Bracamonte Sierra. 2012. *Desarrollo económico y competitividad y creación de empleo en Sonora*, Hermosillo: Pearson, Universidad de Sonora.
- Contreras, Oscar F. y Jorge Carrillo. 2011. Las empresas multinacionales como vehículos para el aprendizaje y la innovación en empresas locales. En *Sonora y la innovación. Ciencia, tecnología e innovación para el desarrollo económico*, coordinado por Álvaro Bracamonte y Oscar Contreras. Hermosillo.
- Cortés, Juan Manuel. 2013. Entrevista por Iris Valenzuela y Alvaro Bracamonte, 17 de Julio de 2013. Campo Experimental Norman E. Borlaug. Instituto Nacional de

- Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Ciudad Obregón, Sonora.
- Cruz A., Bethuel. 1997. Trayectoria tecnológica de catalizadores en el Imp. Un Análisis de patentes. Tesis de maestría en Economía y Gestión del Cambio Tecnológico, Universidad Autónoma Metropolitana.
- Del Valle, María del Carmen e Isabel Lina Sánchez. 1996. Modernización y rezago tecnológico en el campo y las agroindustrias. En *El cambio tecnológico en la agricultura y las agroindustrias en México*.
- Del Valle, María del Carmen, Marina Chávez Hoyos y José Luis Solleiro. 1996. La innovación tecnológica en la agricultura y el desarrollo económico de México. En *El cambio tecnológico en la agricultura y las agroindustrias en México*.
- Diario del Yaqui. 2013. Arrancan liberaciones masivas. 20 de mayo.
- Diario del Yaqui. 2014. Valle del Yaqui superará el millón de toneladas de trigo. 28 de mayo
- Distrito de Riego del Río Yaqui. Historia (16 de mayo de 2014)
<http://www.drnyaqui.org.mx/index.html>
- Dosi, Giovanni. 1982. Technological paradigms and technological trajectories. A suggest interpretation of the determinants and directions technical change. *Research Policy* 11 (3): 147-162.
- El Economista. 2013. Monsanto alista cambio genético del trigo. 3
- El Herald. 2013. La población mundial rondará los 10 mil millones. 02 de octubre.
- El Imparcial. 2013. CENEBC-CIRNO-INIFAP realizarán seminario de calidad. 16 de diciembre.
- El Imparcial. 2014. Precio de trigo desanima al Valle del Yaqui. 31 de mayo.

El Imparcial. 2014. Trigueros en aprietos solicitan al gobierno entrega de apoyos. 27 de mayo.

El Imparcial. 2013. Mantendrá Valle del Yaqui Cultura Triguera. 03 de Septiembre.

El Imparcial. 2013. Libera el INIFAP dos nuevas variedades de trigo. 18 de Septiembre.

Embajada de la India Damascus. S/f. Dr Sanjay Rajaram wins top award. (11 de junio de 2014) <http://www.indianembassyria.com/english/whats-new/188.html>

Ernst Dieter y Linsu Kim. 2002. Global production networks, knowledge diffusion, and local capability formation. *Research Policy* (31):1417-1429.

Expreso. 2013. Desarrollan investigadores nuevas variedades de trigo. 12 de mayo.

Expreso. 2010. Alertan por panza blanca en trigo. 23 de septiembre.

Feixa, S. Gil y J. Olleta Tañà. S/f. Enfoque evolucionista de la empresa e innovación tecnológica: el modelo de R.R. Nelson y S.G.Winter. Departamento de Teoría Económica. Universidad de Barcelona.

Figuroa, Pedro.2013. La investigación del cultivo de trigo en sonora, un caso de éxito que sigue generando riqueza. 04 de octubre
<http://www.palabraempresarial.com/2013/10/04/la-investigacion-del-cultivo-de-trigo-en-sonora-un-caso-de-exito-que-sigue-generando-riqueza/>

Fundación para la Innovación Tecnológica Agropecuaria FIAGRO. 2012. La Agricultura y sus retos. 26 de septiembre.
http://www.fiagro.org/index.php?option=com_content&view=article&id=2551%3A-la-agricultura-y-sus-retos&catid=49&Itemid=37

Fundación Rockefeller. S/f. Raymond B. Fosdick
<http://www.rockefeller100.org/biography/show/ramond-b--fosdick>

- Gandlgruber, Bruno y Arturo Lara. 2007. Introducción. La teoría económica institucional y evolutiva de Geoffrey M. Hodgson. En *Economía institucional y evolutiva contemporánea*. UAM Colección Teoría y Análisis.
- Gertler, Meric. 2005 . Tacit knowledge, path dependency and local trajectories of growth. En *Rethinking regional innovation and change: path dependency or regional breakthrough*. Nueva York: Springer Science.
- Hernández, Hernández Leticia. 2006. La red del trigo del Valle del Yaqui Sonora: Estrategia de Comercialización. Tesis de Maestría. El Colegio de la Frontera Norte.
- Hewitt de Alcántara, Cynthia. 1988. *La modernización de la agricultura mexicana, 1940-1970*. 6ta. Ed., México: Siglo XXI editores.
- Hewitt de Alcántara, Cynthia. 2007. Ensayo sobre los obstáculos al desarrollo rural en México. Retrospectiva y prospectiva. *Desacatos* 25: 79-100
- Hodgson, Geoffrey M. 2007. *Economía Institucional y evolutiva contemporánea*. UAM Colección Teoría y Análisis.
- Ibañez, Ciro, y J, Caro Troncoso. 2001. Algunas teorías e instrumentos para el análisis de la competitividad. En competitividad de la agricultura, cadenas agroalimentarias y el impacto del factor localización espacial. *Cuaderno Técnico* (16). IICA. Costa Rica.
- Industrias Vázquez. S/f. Sembradoras para mínima labranza y multipropósito. <http://www.industriasvazquez.com.mx/docs/minima.pdf>
- Inforural. 2011. Valida Inifap trigo orgánico. 18 de abril.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias INIFAP. 2009. Horas Frio en relación al rendimiento del trigo. Áreas de producción del estado de Sonora. Folleto Técnico No. 63.

- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias INIFAP. Fichas tecnológicas trigo 2002-2011. http://www.inifap-noroeste.gob.mx/fichas_tecnologicas.aspx
- International Wheath Yield Partnership (IWYP). 2014. Comunicado del Lanzamiento de la Alianza Internacional de Rendimiento de Trigo.
- Jardon, Juan J. S/f. Organizaciones económicas y su trayectoria tecnológica y social (TTS). La dinámica del mantenimiento de permanecer. http://www.econ.uba.ar/www/institutos/epistemologia/marco_archivos/ponencias/Actas%20XIII/Trabajos%20Episte/jardon_trabajo.pdf (09 de mayo de 2013).
- Joachim Braun, Hans. 2014. Borlaug's scientific legacy. Ponencia presentada en la Cumbre Borlaug sobre el papel del trigo en la seguridad alimentaria, 25-28 de marzo, Cd. Obregón, Sonora.
- Joglar Espinosa, Hernán, Julián Chaparro Peláez, Alejandro Orero Giménez y Sergio Araya Guzmán. 2007. Los Antecedentes de la Capacidad de Absorción: Análisis Crítico y Proposición de un Modelo de Integración. Ponencia presentada en International Conference on Industrial Engineering & Industrial Management, Madrid, España.
- Johnson, Bjorn and Bengt-Ake Lundvall. 2000. Promoting innovation systems as a response to the globalizing learning economy, Second Draft to the project Local Productive Clusters and Innovations Systems in Brazil: New industrial and technological policies.
- Labrada, R y C. Parker. 1996. El control de malezas en el contexto del manejo integrado de plagas. FAO Plant Production and Protection Papers. <http://www.fao.org/docrep/T1147S/T1147S00.htm>

- Lele, Uma. 2014. Water for agricultura in 2050. Are we ready?. Ponencia presentada en la Cumbre Borlaug sobre el papel del trigo en la seguridad alimentaria. Cd. Obregón, Sonora.
- Lundvall, Bengt-Ake, Bjorn Jonson, Esben Sloth Andersen and Bent Dalum .2002. National systems of production, innovation and competence building. *Research Policy* (31): 213-231.
- Lundvall, Bengt-Ake. 1992. The economics of knowledge and learning. En *Product innovation, interactive learning and economic performance*, Jesper L. Christensen y Bengt-Ake Lundvall.
- Lundvall, Bengt-Ake. 2007. Innovation system research where it came from and where it might go. *Globelics Working Paper Series* (1): 49.
- Margulis, Mario y Martine Gibert. 1978. Aproximación socio-económica y demográfica al Valle del Yaqui. El Colegio de México, Centro de Estudios Económicos y Demográficos.
- Martínez, Pellitero Mónica. 2002. Recursos y resultados de los sistemas de innovación, elaboración de una tipología de sistemas regionales de innovación en España. España: Instituto de análisis industrial y financiero, Universidad Complutense de Madrid.
- Matthew Reynolds. S/f. Adaptando el trigo al cambio de clima. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo CIMMYT
- McCullough, Ellen B. y Pamela A. Matson.2011. Evolution of the knowledge system for agricultural development in the Yaqui Valley, Sonora, Mexico.

- Mederos, Leticia. S/f. Trayectoria tecnológica y de innovación en el sector cárnico de Uruguay entre 1905 y 2011. Universidad de la República, Facultad de Ciencias Sociales.
- Moreno Ramos, Oscar, Mario Salas Gómez y Serafín J. Mendoza. S/f. Siembra de trigo en surco para el Valle de Mexicali, B.C., Centro de Investigaciones Agrícolas del Noroeste CIANO.
- Morero, Hernán. 2007. El evolucionismo: una presentación de su temática, metodología y objetivos. Contribuciones a la economía.
- Mulvaney, Michael, Nele Verhulst y Bram Govaerts. 2014. Los tratamientos de semilla mejoran la población y los rendimientos del trigo sembrado en seco sobre camas permanentes, Valle del Yaqui, Sonora. *EnlACe* 5(17): 50-53
- Mytelka, Lynn. 2000. Local systems of innovation in a globalized world economy. *Industry and Innovation* 7 (1): 15-32.
- Naylor, R.L., W.P. Falcon, and A. Puente-González. 2001. Policy Reforms and Mexican Agriculture: Views from the Yaqui Valley. CIMMYT Economics Program Paper No. 01-01. México, D.F.: CIMMYT
- Nelson, Richard R. y Sidney G. Winter. 1982. *An evolutionary theory of economic change*. Harvard University Press.
- Nooteboom, Bart. 2000. Institutions. En *Learning and innovation in organization and economies*, 91-112. Oxford University Press,.
- Noteboom, Bart. 2010. Trust and Innovation. Tilburg University.
- Noticias Cajeme. 2014. Está en trámite nombramiento de “Borlaug 100” a semilla de trigo harinera. 10 de abril.

- Obsonwordpress. Cultivando con el Rifle en el Hombro o el Génesis de la Colonia Alemana en el Valle del Yaqui (13 de mayo de 2014)
<http://obson.wordpress.com/2009/08/28/cultivando-con-el-rifle-en-el-hombro/>
- Obsonwordpress. El Valle del Yaqui, Reseña de su Historia. (13 de mayo de 2014)
<https://obson.wordpress.com/2012/02/11/el-valle-del-yaqui-resena-de-su-historia/#more-6978>
- OCDE .2011. Análisis del Extensionismo Agrícola en México.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura (FAO). 2012.
Global monitoring of FAO hunger target. <http://www.fao.org/economic/ess/ess-fs/es/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura (FAO). 2013.
La roya del trigo: una amenaza constante pero desatendida. 13 de junio.
<http://www.fao.org/news/story/es/item/177898/icode/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura (FAO). 2009.
Desafíos en relación con la alimentación y la agricultura planteados por el cambio climático y la bioenergía. Foro de Expertos de Alto Nivel. Roma, Italia.
http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/Issues_papers_SP/cambio_clim%C3%A1tico_y_la_bioenerg%C3%ADa.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura (FAO).
Programa de Agricultura Orgánica de la FAO. Grupo interdepartamental de trabajo de agricultura orgánica (13 febrero, 2013). <http://www.fao.org/organicag/oa-faq/oa-faq1/es/>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura (FAO). El papel de la tecnología. Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030. Depósito de documentos de la FAO.
- Ortiz Monasterio, Iván y María Elena Cárdenas. 2011. Herramienta para el uso de nitrógeno en trigo, Sur de Sonora. *EnLACe II* (4): 53-55.
- Otero Gerardo. 2004. El Valle del Yaqui: hacia la producción autogestionaria y democrática. En *¿Adiós al campesinado? Democracia y formación política de las clases en el México Rural*. Colección América Latina y el Nuevo Orden Mundial. México: Miguel Ángel Porrúa, UAZ, Simon Fraser University, ISBN 970-701-425-3.
- Patronato para la Investigación y Experimentación Agrícola. Memoria Gráfica del Día del Agricultor. <http://diadelagricultorceneb.org.mx/about-us.html>
- Pérez, Carlota. 2001. Cambio tecnológico y oportunidades de desarrollo como blanco móvil. *Revista de la CEPAL* (75): 115-136.
- Pérez, Carlota. 2009. Technological revolutions and techno-economic paradigms. TOC/TUT Working Paper No. 20. Working Papers in Technology Governance and Economic Dynamics, The Other Canon Foundation, Norway and Tallinn University of Technology, Tallinn.
- Puente González, Arturo. 2001. La agricultura de México antes y después de las reformas económicas de los noventas. Un análisis nacional y regional en el Distrito de Riego "Río Yaqui". <http://www.infoaserca.gob.mx/estudios/yaqui.pdf>
- Ramírez, José Carlos, Oscar Conde y Ricardo León 1997. La nueva economía urbana. En *Historia General de Sonora. Historia Contemporánea 1929-1984*. Tomo V. Gobierno del Estado de Sonora. Hermosillo, Sonora, México.

- Rodríguez Vallejo, José. 2000. Principios del mejoramiento del trigo en México, 1939-1955. *Agricultura Técnica en México* 26 (1): 99-107.
- Rosenberg, Nathan. 1969. The direction of technological change: inducement mechanisms and focusing devices, *Economic Development and Cultural Change* 18(1): 1-24.
- Rosenberg, Nathan. 1994. Exploring the Black Box: Technology, Economics, and History. Cambridge University Press.
- Ruiz, José Ariel, Guillermo Medina, José Grageda, Mario Marín Silva y Gabriel Díaz. 2005. Estadísticas Climatológicas Básicas del Estado de Sonora (Periodo 1961-2003), Libro Técnico No. 1. Centro de Investigaciones Regionales del Noroeste. Instituto Nacional de Investigaciones forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- S/a. s/f. Consideraciones teóricas sobre el cambio tecnológico en países industrializados y semiindustrializados.
- S/a. s/f. Metodología para el análisis económico del cambio tecnológico. Universidad Complutense de Madrid (01 de mayo de 2013). <http://www.ucm.es/info/ec/jec5/pdf/area7/area7-1.pdf>
- Sayre, K.D. 1997. Aplicaciones de sistemas de siembra en camellones para trigo. En *Explorando los altos rendimientos del trigo*, editado por Man Mohan Kohli y Daniel Martino, 167-192. CIMMYT, INIA.
- Schumpeter, Joseph L. 1942. *Capitalismo, Socialismo y Democracia*, ed. Aguilar, Madrid, 1968.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1980. Principales enfermedades de la Cebada en México. Campo Agrícola Experimental Valle de México, INIFAP.
- Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2012. Memoria documental del programa “Modernización sustentable de la agricultura

tradicional”

2010-2012.

<http://www.sagarpa.gob.mx/Transparencia/PNRCTCC/PNRCTCC%202012/Memoria%20MasAgro%202010-2012%20PDF.pdf>

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación SAGARPA.

S/f. Línea de tiempo, Colegio de Postgraduados (05 de marzo, 2013)

<http://www.colpos.mx/wb/index.php/conocenos/linea-de-tiempo#.UxenHKNge70>

Secretaría de Economía del Estado de Sonora. 2013. Sonora Industrial. Ponencia presentada en la Cumbre Sonora 2013. México ante los Ojos del Mundo, los Desafíos del Crecimiento Económico. 14 de febrero de 2013. Hermosillo Sonora.

Secretaría de Fomento Agropecuario. S/f. Análisis de la variable horas-frío (HF) para trigo en el Valle de Mexicali 2011-2012 con datos del SIMARBC

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2009. Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones, México.

http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/cambio_climatico_09-web.pdf

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Base de datos agrícolas. (Octubre de 2013) <http://www.siap.gob.mx>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera SIAP. S/f. Trigo grano. (14 de junio de 2014) <http://www.siap.gob.mx/trigo-grano/>

Solleiro, José Luis. 2008. Biotecnología y trigo. OEIDRUS Baja California <http://www.oeidrus-bc.gob.mx/sispro/trigobc/Descargas/BiotecnologiaTrigo.pdf>

Taddei, Bringas Isabel Cristina. 1988. Comportamiento de la agricultura sonorenses. Cambios en el patrón de cultivos. En *Los cambios en el norte de México. El caso de Sonora*. Departamento de Economía. Universidad de Sonora. Hermosillo, Son

- Torres Vargas, Arturo 2006. Aprendizaje y construcción de capacidades tecnológicas. *Journal of Technology Management & Innovation* (5): 12-24.
- Tribuna. 2013. Siembran trigo ecológico. 21 de octubre.
- Tribuna. 2014. Nace Borlaug 100. 21 de abril.
- Tribuna. 2014. Realizan evaluación en trigo investigadores del INIFAP. 19 de mayo.
- Tribuna. 2014. Rinde Borlaug 100 arriba de 7 toneladas. 17 de mayo
- Tribuna. 2014. Toleran sequía nuevas líneas de trigo. 28 de abril.
- Trigo, Eduardo. 1993. Relaciones del sector público y privado en el desarrollo de investigaciones agrícolas: notas sobre experiencias y temas. En *El papel de los sectores público y privado en la provisión de servicios de apoyo a la agricultura*. Memoria Simposio Internacional, San José Costa Rica, mayo 17-19 Organizado por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
- Ulhøi, John P. y Urs E. Gattiker. 2000. The Nature of Technological Paradigms: A Conceptual Framework.
- Universidad Autónoma de Nuevo León UANL. S/f. El acame, encamado o acamado. http://cdigital.dgb.uanl.mx/la/1020058686/1020058686_008.pdf
- Valenzuela, Erasmo y Miguel Camacho. 2013. Entrevista por Iris Valenzuela y Alvaro Bracamonte, 19 de Septiembre de 2013. Campo Experimental Norman E. Borlaug. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Ciudad Obregón, Sonora.
- Valenzuela, Erasmo, José A. Espinoza, Gerardo Barrera, Humberto Vaquera, Oscar Moreno, María Velázquez y Eduardo Casas. 1999. Evaluación del impacto ambiental y productivo de proyectos de desarrollo tecnológico en el cultivo del trigo en México.

- Valenzuela, Gastélum Iris. 2011. Biotecnología y desarrollo. Limitaciones y potencialidades para la reactivación de la economía agrícola regional. Un análisis bajo el enfoque del Sistema Regional de Innovación. Tesis de licenciatura en Economía, Universidad de Sonora.
- Valle Dessens, Norma. 2002. Estrategias de comercialización de los productores de trigo del Valle del Yaqui ente los impactos del Tratado de Libre Comercio. Tesis de Maestría. El Colegio de Sonora.
- Vara, Óscar, Jorge Turmo y Ángel Rodríguez. S/f. Las raíces intelectuales de la economía evolutiva, 177-186. <http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/3573/1/RHE-2005-XXIII-Notas.pdf>
- Vázquez, Villanueva Nora. 2011. Programa elaboración de casos de éxito de innovación en el sector agroalimentario ICCA-PROFUCO 2010. Unión de Sociedades de Producción Rural del Sur de Sonora.
- Vietmeyer. 2009. *Borlaug. Volume 2. Wheat Whisperer 1944-1959*. Bracing Books, Lorton, Virginia.
- Vietmeyer. 2009a. *Borlaug. Volume 3. Bread winner 1960--1969*. Bracing Books, Lorton, Virginia.
- Williamson, Olivier.1989. *Las instituciones económicas del capitalismo*. México: FCE
- World Food Prize. S/f. (20 de junio de 2014)
<http://www.worldfoodprize.org/index.cfm?nodeID=74183&audienceID=1>
- Zabala, Jon Mikel. 2004. Análisis y medición de las interacciones en los Sistemas Regionales de Innovación. Su relación con la trayectoria histórica y tecnológica de las regiones. España: Universidad Politécnica de Valencia.

Anexos

Anexo 1. Centro Experimental Norman. E. Borlaug. Fichas Tecnológicas del Trigo, 2002-2011.

Año	Clave	Título	Autor
2011	205	Tecnología para la producción de trigo orgánico	Juan Manuel Cortés Jiménez
	212	Metodología para cuantificar daños a la producción de trigo causado por heladas	Pedro Félix Valencia
2010	176	Villa Juárez F2009: variedad de trigo harinero para el noroeste de México	Valenzuela Herrera Víctor
	177	Onavas F2009: variedad de trigo harinero para el noroeste de México	Figuroa López Pedro
	181	Tepahui F2009: nueva variedad de trigo harinero para el noroeste de México	Chávez Villalba Gabriela
	182	Huatabampo oro C2009: nueva variedad de trigo cristalino para el noroeste de México	Fuentes Dávila Guillermo
	185	Labranza mínima para el cultivo de trigo en surcos	Cortes Jiménez Juan Manuel
	188	Movas C2009: nueva variedad de trigo cristalino para el noroeste de México	Félix Fuentes José Luis
2009	160	Sáwali oro C2008: nueva variedad de trigo cristalino para el noroeste de México	Figuroa López Pedro
	161	Patronato oro C2008: nueva variedad de trigo cristalino para el noroeste de México	Chávez Villalba Gabriela
	164	Cevy oro C2008: nueva variedad de trigo cristalino para el noroeste de México	Fuentes Dávila Guillermo
	168	Cirno C2008: nueva variedad de trigo cristalino para el noroeste de México	Félix Fuentes José Luis
2008	148	Modelo de pronóstico para la cosecha del cultivo de trigo en el estado de Sonora	Félix Valencia Pedro
	151	Navojoa M2007: nueva variedad de trigo harinero para el noroeste de México	Figuroa López Pedro
	152	Roelfs F2007: nueva variedad de trigo harinero para el noroeste de México	Figuroa López Pedro
2007	137	Uso de labranza reducida para la siembra de trigo en surcos	Cortes Jiménez Juan Manuel
	138	Átil C2000: nueva variedad de trigo cristalino para su cultivo en el noroeste de México	Camacho Casas Miguel
2006	116	Banámichi C2004: nueva variedad de trigo cristalino para el noroeste de México con resistencia a la roya de la hoja	Camacho Casas Miguel
2005	91	Labranza de conservación: una opción rentable y sostenible en la producción de trigo	Valenzuela Borbón J. Rafael
	93	Kronstad F2004, nueva variedad de trigo harinero para el noroeste de México	Camacho Casas Miguel
	104	Samayoa C2004: nueva variedad de trigo cristalino para el noroeste de México con resistencia a la roya de la hoja	Figuroa López Pedro
2003	42	Trigo: producción con dos riegos de auxilio bajo suelos de aluvi3n pesado en el sur de Sonora	Ortiz Enríquez José Eliseo
2002	25	Júpare C2001, nueva variedad de trigo duro resistente a la roya de la hoja para el noroeste	Camacho Casas Miguel
	26	Tacupeto F2001, nueva variedad de trigo harinero para el noroeste de México	Camacho Casas Miguel
	28	Trigo: producción con dos riegos de auxilio una tecnología para enfrentar la escasez de agua	Ortiz Enríquez José Eliseo
	29	El combate químico: una opción en el control de epifitias de roya de la hoja en trigo	Figuroa López Pedro

Fuente: INIFAP, Fichas tecnológicas CENEB 2002-2011

Anexo 2. Relación de personas entrevistadas en trabajo de campo

Fecha de Entrevista	Nombre del entrevistado	Institución	Área de Investigación/Especialización	Años de Experiencia	Información adicional
17/07/2013	Dr. Juan Manuel Cortés	CENEB, INIFAP	Área de investigación: Fitomejoramiento (fertilización, labranza, rentabilidad, manejo ecológico)	29	Estudios en Fitotecnia en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Desde 2011 trabaja con tecnología para producción de trigo orgánico
14/08/2013	Dr. Karim Ammar	CENEB y El Batán, CIMMYT	Disciplina: Genética, Fitomejoramiento.	18	Actualmente Jefe de Mejoramiento de Duros. Posee 12 años de experiencia con trigo en CIMMYT México y 6 años en Estados Unidos a la cabeza de un programa también de mejoramiento de trigo
19/09/2013	Dr. Miguel Alfonso Camacho Casas	CENEB, INIFAP	Área de investigación: Selección de variedades de alto rendimiento	Más de 27	Director de Investigación de Trigo del Centro de Investigación Regional del Noroeste (CIRNO) del INIFAP. Estudios en la Universidad Autónoma de Chapingo y en Oregon State University
19/09/2013	Dr. Erasmo Valenzuela	CENEB, INIFAP	Disciplina: Desarrollo en Zonas Áridas	Más de 27	Dirección del Centro de Investigación Regional del Noroeste (CIRNO) del INIFAP. Doctorado en Zonas Áridas por la Universidad de Arizona
14/10/2013	Mtro. Jorge Castro Campoy	Unión de Crédito Agrícola del Yaqui. S.A. de C.V. (UCAY)	Agricultor. Ingeniero Agrónomo Fitotecnista y Maestro en Administración de Empresas	30	Descendiente de una familia con orígenes muy arraigados a la región y sobre todo a la actividad agrícola. Se dedica a la producción de alimentos, básicamente granos, y en los granos el 80% es trigo. Posee una empresa pequeña que produce y comercializa semillas. Su familia fue un colaborador de Borlaug, muchos de los trabajos de validación se hicieron en su campo. Su tesis de Licenciatura en 1983 fue sobre Labranza de conservación. Fue Presidente del CIANO durante 4 años. Fue Presidente del PIEAES. Actualmente es Presidente suplente y Consejero de la Unión de Crédito Agrícola del Yaqui.

Anexo 3. Guía de entrevistas



TRAYECTORIAS TECNOLÓGICAS EN LA AGRICULTURA SONORENSE: EL CASO DEL SISTEMA-PRODUCTO TRIGO DEL VALLE DEL YAQUI

OBJETIVO: recopilar información cualitativa que permita conocer las implicaciones del proceso histórico y reciente de innovación tecnológica que ha experimentado la agricultura sonorense, principalmente en el caso del trigo en la región del Valle del Yaqui, Sonora; es decir, analizar la trayectoria tecnológica a fin de caracterizar su evolución:

- Caracterizar el comportamiento evolutivo que ha tenido la agricultura del Valle del Yaqui, Sonora, particularmente en el caso del trigo, en términos productivos, tecnológicos, organizativos y de política agrícola desde la Revolución Verde a la actualidad
- Caracterizar la trayectoria tecnológica del cultivo del trigo en el Valle del Yaqui, Sonora, que se ha configurado a raíz de la Revolución Verde

Fecha de la entrevista: ___/___/___

DATOS GENERALES.

Nombre del entrevistado:

Disciplina:

Adscripción:

Área:

Red:

Años de experiencia:

Correo electrónico:

Problema significativo:

Las innovaciones no son de la dimensión como eran en el pasado, es decir, de la Revolución Verde.

ENTREVISTA

Revisión histórica y reciente del entorno económico, social, productivo e institucional que dio paso a la configuración de la trayectoria tecnológica del cultivo.

1. ¿Cómo se desarrolla actualmente la investigación científica en torno al cultivo del trigo?
2. ¿Cuál es la investigación del trigo ahora y cuál era en el pasado durante el periodo de la Revolución Verde, o incluso antes?
3. ¿Por qué no es tan determinante la investigación científica ahora a diferencia del pasado en el periodo de la Revolución Verde?
4. ¿Cuáles eran las condiciones prevalecientes en el periodo de la Revolución Verde y cuáles son las actuales? ¿Cuáles son las diferencias? En términos económicos, productivos, tecnológicos, organizativos y de política agrícola?

5. ¿Cuál es el papel del sector privado, del sector gubernamental, de los productores y de los Centros Públicos de Investigación ahora en relación con el pasado durante el periodo de la Revolución Verde?
6. ¿Considera que innovaciones tecnológicas de la Revolución Verde irrumpieron con tal fuerza que propiciaron un cambio de paradigma tecnológico cuya evolución se ha venido desdoblado gradualmente desde entonces?
7. ¿Se puede establecer un “hilo conductor” de las innovaciones y el desarrollo tecnológico que se tiene ahora con el pasado? Es decir, ¿Hay una secuencia entre el proceso de innovación del pasado y en la actualidad? (trayectoria tecnológica)
8. ¿Por qué sí? ¿Por qué no?
9. Descripción de ese proceso: construcción de la trayectoria con base en cómo las condiciones en el presente se fueron desvirtuando/modificando/separando de las condiciones en el pasado.
10. ¿Es un problema de acción colectiva entre sectores (académico, gubernamental, productores)? Considerando que la tecnología para el mejoramiento de las semillas es la misma desde la Revolución Verde, es decir, la ingeniería genética....
11. ¿Considera que un cambio de tecnología son los transgénicos?
12. ¿Cuál es la diferencia entre el proceso de mejoramiento en el periodo
13. de la Revolución Verde y la ingeniería genética de los transgénicos?
14. ¿Considera que el detener los permisos de siembra de transgénicos y por tanto la utilización de esa tecnología posterga el surgimiento de una *Segunda Revolución Verde*?
15. ¿Por qué sí? ¿Por qué no?