

Technological innovation in a case of protected agriculture in Mexico

Juan Manuel Vargas-Canales^{1*}

María Isabel Palacios-Rangel²

Jorge Aguilar-Ávila²

Jorge Gustavo Ocampo-Ledesma²

Pablo Kreimer³

Germán Ortiz-Martínez²

Abstract

The objective of this research was to analyze technological change and innovation, how technology is transmitted and the networks linked to protected agriculture from a territorial approach in the state of Hidalgo, Mexico. Technological trajectory, the genealogical method and sociotechnical networks were used for its analysis. Results indicate that the trajectory occurred through the accumulation of technological changes, driven by development policies. Genealogies show that technology is introduced, adapted and reproduced by innovative agents who maintain relationships with universities and public institutions. Sociotechnical networks are characterized by their breadth, heterogeneity and clear articulation among actors; the extensionists are responsible for mediation and harmonization of processes and the creation of links and relationships among actors. Regional specialization was the key to the development of protected agriculture; however, it is necessary to diversify products, explore new markets and manage organization. Finally, the analytical approach used makes it possible to understand technological change and innovation in agricultural production systems.

Keywords: Genealogical method, Sociotechnical networks, Technological change, Technological trajectory.

Innovación tecnológica en un caso de agricultura protegida en México

Resumen

El objetivo de esta investigación fue analizar el cambio tecnológico e innovación, la forma de cómo se transmite la tecnología y las redes vinculadas a la agricultura protegida desde un enfoque territorial en el estado de Hidalgo, México. Para su análisis se utilizó la trayectoria tecnológica, el método genealógico y las redes sociotécnicas. Los resultados indican que la trayectoria se dio mediante la acumulación de cambios tecnológicos, impulsados por las políticas de fomento. Las genealogías muestran que la tecnología se introduce, adapta y reproduce por agentes innovadores que mantienen relación con universidades e instituciones públicas. Las redes sociotécnicas se caracterizan por su amplitud, heterogeneidad y clara articulación entre actores; destacan los extensionistas que se encargan de la mediación y armonización de procesos y de la creación de vínculos y relaciones entre los actores. La especialización regional fue la clave para el desarrollo de la agricultura protegida, sin embargo, es necesario diversificar productos, explorar nuevos mercados y gestionar la organización. Finalmente, el enfoque analítico utilizado permite comprender el cambio tecnológico e innovación en los sistemas de producción agrícola, cambio tecnológico, método genealógico, redes sociotécnicas y trayectoria tecnológica.

Palabras clave: Método genealógico, redes sociotécnicas, cambios tecnológicos, trayectoria tecnológica.

¹Universidad de Guanajuato. División de Ciencias Sociales y Administrativas, Departamento de Estudios Sociales. Campus Celaya-Salvatierra. Salvatierra, Guanajuato. México.

²Universidad Autónoma Chapingo. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial, Chapingo, Estado de México. México.

³Universidad Maimonides. Centro de Ciencia, Tecnología y Sociedad. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.

*Corresponding author: jm.vargas@ugto.mx

Received: October 10, 2017

Accepted: May 16, 2018

Introduction

Mexico is a country that stands out because of the heterogeneous and specialized nature of its agricultural regions. As a result, activities are carried out with very unequal levels of productivity and wages (Chavalier, 1985, 2007). In recent years, this situation has intensified in such a way that globalization has unevenly transformed the economic structure of countries. National economies have been integrated by very diverse agents that cooperate and compete at the same time in the same markets, thus becoming very complex economic and productive systems. The interactions generated from the above are not stable, they change over time and generate very dissimilar technological trajectories and productive results in the regions (Capdevielle, 2005; Pérez, 2001).

The Mexican agrifood sector is currently undergoing a series of adjustments and technological changes that have affected its basic production structure. Such changes have occurred in agrarian property and in the intensification of productive rhythms. In addition, they are enhanced by transformations in social demands and climatic variations. This has transformed all production systems (traditional, transitional and high-tech) through the substitution of crops or livestock breeds, the integration of plasticulture,⁴ and new agricultural constructions that further expand economic asymmetries. This situation is evident in the rapid technological and productive specialization of agricultural regions.

In that sense, a shared assumption is that the use of technology in the agricultural sector has served as a mediating tool between man and nature; hence, its basic function in theory has been to contribute to transforming natural resources into inputs for the benefit of people who live in the countryside (Herrera, 2006). A current example of the use of technology in this sector is the production systems in controlled environments or protected agriculture in its different modalities.⁵

⁴Plasticulture refers to the use of plastics in agricultural and livestock production systems (Garnaud, 1995).

⁵Protected agriculture includes pavilions, shade nets, shade houses, microtunnels, macrotunnels and greenhouses.

Introducción

México es un país que destaca por el carácter heterogéneo y a la vez especializado de sus regiones agrícolas. En consecuencia, se desarrollan actividades con niveles muy desiguales de productividad y remuneraciones (Chavalier, 1985, 2007). En los últimos años esta situación se ha intensificado de tal forma que la globalización ha transformado, de manera desigual, la estructura económica de los países. A las economías nacionales se han ido integrando agentes muy diversos que cooperan y compiten a la vez en los mismos mercados, con lo cual llegan a constituirse sistemas económicos y productivos muy complejos. Las interacciones que se generan de lo anterior no son estables, se modifican a lo largo del tiempo y generan trayectorias tecnológicas y resultados productivos muy disímiles en las regiones (Capdevielle, 2005; Pérez, 2001).

En la actualidad, el sector agroalimentario mexicano presenta una serie de ajustes y cambios tecnológicos que han incidido en su estructura productiva básica. Tales cambios se han dado en la propiedad agraria y en la intensificación de los ritmos productivos. Además, son potenciados por las transformaciones en las demandas sociales y las variaciones climáticas. Esto ha transformado todos los sistemas de producción (tradicionales, transicionales y los de alta tecnología) por la sustitución de cultivos o razas de ganado, la integración de la plasticultura⁴, y nuevas construcciones agropecuarias que amplían aún más las asimetrías económicas. Situación que se hace evidente con la rápida especialización tecnológica y productiva de las regiones agrícolas.

En ese sentido, un supuesto compartido es que en el sector agrícola el uso de la tecnología ha servido como una herramienta mediadora entre el hombre y la naturaleza; de ahí que su función básica en teoría, ha sido contribuir a transformar los recursos naturales en insumos para beneficio de la gente que vive del campo (Herrera, 2006). Un ejemplo de actualidad del uso de la tecnología en este sector son los sistemas de producción en ambientes

⁴La plasticultura se refiere al uso de los plásticos en los sistemas de producción agrícola y pecuaria (Garnaud, 1995).

Protected agriculture or in controlled environments is an agricultural production system developed with the objective of providing plants with ideal (optimal) conditions for their development, thereby enabling them to express their maximum productive potential. Similarly, it is possible to manage environmental conditions (temperature, relative humidity, nutrition, water, light, etc.) and some other risks (pests and diseases) for the optimal development of crops (Vargas-Canales, Palacios-Rangel, Aguilar-Ávila, Ocampo-Ledesma, & Medina-Cuellar, 2018). The main purpose of this production system is to increase and maintain productivity in terms of quantity, quality and commercial opportunity (Bastida, 2008; Castañeda-Miranda, Ventura-Ramos, Peniche-Vera, & Herrera-Ruiz, 2007; Moreno, Aguilar, & Luévano, 2011).

Derived from the above, its adoption enables increasing yields by more than 200 %, depending on the type of crop (SIAP, 2013). At the same time, it allows for a more efficient use of resources and inputs (García, Van der Valk, & Elings, 2011), thus reinforcing the idea that achieving and maintaining sustainable agriculture is based on in-depth knowledge of this production system (Vargas-Canales, Castillo-González, Pineda-Pineda, Ramírez-Arias, & Avitia-García, 2014) depending on its life cycle, substrate and available water. Sawdust is currently being used successfully as substrate in crop production and for this reason we evaluate the effect of mixtures (v/v as a viable technological means to improve productivity and reduce poverty in the sector, despite recognizing the high degree of specialization required for its management.

On the other hand, although there are currently no precise data on the amount of area used nationally for greenhouse cultivation (García et al., 2011), there are data on the increase of the area used for this purpose. In this sense, in a historical account of its adoption, for 1980 the area devoted to protected agriculture was 300 ha; in 2010, the Ministry of Agriculture, Livestock, Fisheries and Food (SAGARPA) reported 11,760 ha, whereas Garcia et al. (2011) estimated a total of 30,000 hectares.

For 2013, the number of production units integrated into this system totaled 19,985 (SIAP, 2013). By contrast, according to data from Aguilar,

controlados o agricultura protegida en sus diferentes modalidades⁵.

La agricultura protegida o en ambientes controlados es un sistema de producción agrícola desarrollado con el objetivo de proporcionar a las plantas las condiciones ideales (óptimas) para su desarrollo, y con ello expresen el máximo potencial productivo. De igual forma, es posible manejar las condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa, nutrición, agua, luz, etcétera) y algunos otros riesgos (plagas y enfermedades) para el desarrollo óptimo de los cultivos (Vargas-Canales, Palacios-Rangel, Aguilar-Ávila, Ocampo-Ledesma, & Medina-Cuellar, 2018). La finalidad principal de este sistema de producción se centra en incrementar y mantener la productividad en cantidad, calidad y oportunidad comercial (Bastida, 2008; Castañeda-Miranda, Ventura-Ramos, Peniche-Vera, & Herrera-Ruiz, 2007; Moreno, Aguilar, & Luévano, 2011).

Derivado de lo anterior, su adopción posibilita incrementar los rendimientos en más del 200%, dependiendo del tipo cultivo (SIAP, 2013). Al mismo tiempo, permite hacer un uso más eficiente de los recursos e insumos (García, Van der Valk, & Elings, 2011); con lo que se refuerza la idea de que alcanzar y mantener una agricultura sostenible se basa en el conocimiento profundo de este sistema de producción (Vargas-Canales, Castillo-González, Pineda-Pineda, Ramírez-Arias, & Avitia-García, 2014) como un medio tecnológico viable para mejorar la productividad y reducir la pobreza del sector, pese a reconocerse el alto grado de especialización que se requiere para su manejo.

Por otra parte, aunque en la actualidad no se cuenta con datos precisos que contabilicen la superficie nacional cultivada bajo este sistema (García et al., 2011), sí los hay sobre el incremento de la extensión bajo invernadero. En tal sentido, en un recuento histórico de su adopción, para 1980 el área destinada a la agricultura protegida era de 300 ha; en 2010, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA), reportaban 11 mil 760 ha, y de acuerdo con García et al. (2011) se estimaba un total de 30 mil hectáreas.

⁵En la agricultura protegida se incluyen los pabellones, mallas sombra, casa sombra, microtúneles, macrotúneles e invernaderos.

Muñoz, Santoyo, and Aguilar (2013), currently 39 % of greenhouses are inactive or abandoned and 19 % have various operational difficulties, a situation due to various social, technical, economic and even cultural factors not considered (and appreciated correctly) by policy makers in the agricultural sector. In accordance with the foregoing, SAGARPA, through its development programs, promotes protected agriculture without considering the critical points of its adoption, thus generating an inefficient use of public spending.⁶

In this regard, the analysis of technological change in agriculture has been conditioned by assumptions and considerations that do not allow explaining the causes that drove them or their differences, either by accepting the neoclassical postulates of economic theory or by using referents little adapted to the diversity of agrarian realities (Pujol & Fernández, 2001). In addition, the effects of technology on society and vice versa have not been taken into account, that is, the transformations and territorial reconfigurations that originate so that it evolves. Anti-historical analyses of the object of study have been developed that appear decontextualized or little linked to the economic, political and social dynamics that occur in and between the different spheres of development (local, regional, national and global) (Vargas-Canales, Palacios-Rangel, Aguilar-Ávila, & Ocampo-Ledesma, 2016).

Hence, it is necessary to identify the development of production processes seen through technological change (transfer, adoption, adaptation and innovation) of which they are the result, in order to properly assess the transformations generated in the agricultural regions where they are implemented. In this sense, the aim of this paper is to analyze the processes that contribute to technological change and innovation, the way technology is transmitted, and the networks that are created around protected agriculture from a territorial approach in the region of Tulancingo, Hgo. In this way, it is possible to appreciate the behavior of technological change from the factors and actors that originate it and to propose some strategies to improve its

Para 2013 la cantidad de unidades de producción integradas a este sistema muestra un total de 19,985 (SIAP, 2013). En contraste, según datos de Aguilar, Muñoz, Santoyo, y Aguilar (2013), en la actualidad 39% de los invernaderos se encuentran inactivos o abandonados y 19% presenta diversas dificultades para operar, situación debida a distintos factores de carácter social, técnico, económico y aún cultural no considerados (y apreciados de manera correcta) por los diseñadores de las políticas del sector agrícola. Acorde con lo anterior, la SAGARPA por medio de sus programas de fomento, promueve la agricultura protegida sin considerar los puntos críticos de su adopción con lo que se genera un uso ineficiente del gasto público⁶.

Al respecto, el análisis del cambio tecnológico en la agricultura ha estado condicionado por supuestos y consideraciones que no permiten explicar las causas que los impulsaron ni sus diferencias, ya sea por aceptar los postulados neoclásicos de la teoría económica o por utilizar referentes poco adaptados a la diversidad de las realidades agrarias (Pujol & Fernández, 2001). Además, no se han tomado en cuenta los efectos de la tecnología sobre la sociedad y viceversa, es decir, las transformaciones y las reconfiguraciones territoriales que se originan para que se evolucione. Se han desarrollado análisis antihistóricos del objeto de estudio que aparecen descontextualizados o poco vinculados con la dinámica económica, política y social que se da en y entre los distintos ámbitos de desarrollo (local, regional, nacional y global) (Vargas-Canales, Palacios-Rangel, Aguilar-Ávila, & Ocampo-Ledesma, 2016).

De ahí, que resulte necesario identificar el desarrollo de los procesos productivos vistos a través del cambio tecnológico (transferencia, adopción, adaptación e innovación) del que son resultado, a fin de valorar adecuadamente las transformaciones que se generan en las regiones agrícolas en donde se instrumentan. En este sentido, el objetivo de la presente contribución es analizar los procesos que contribuyen al cambio tecnológico y la innovación, la forma de cómo se transmite la tecnología y las redes que se crean en torno a la agricultura protegida

⁶It should be noted that the vast majority of these systems have been subsidized with State funds.

⁶Cabe señalar que la gran mayoría de estos sistemas han sido subsidiados con fondos públicos del Estado.

competitiveness. It is thus intended to contribute to the understanding of the dynamics of protected agriculture in the rural sector in order to improve the decision-making of those responsible for the design and operation of agricultural policies, and to improve the living conditions of the people directly and indirectly involved in this activity.

Methodology

The research was carried out from the perspective of the territorial approach, from which the analysis of the production system is addressed as an interface where diverse historical-social-multidimensional factors that interact with each other converge (Damián, et al., 2007; Llanos-Hernández, 2010). For its systematization and analysis, an analytical body was created that was based on the following three theoretical approaches: 1) the technological trajectory (Pérez, 2001) and the sociotechnical trajectory (Thomas & Gianella, 2006) in order to understand the emergence, behavior and trend of protected agriculture in the study region; 2) the genealogical method, for which an approach was made to what was formulated by Rivers (1975), Davinson (2006) and Linck (1991), with which the actors that introduce, adapt and diffuse the technology were identified, and 3) the Actor-Network Theory (ANT)⁷ in order to identify, from a sociotechnical perspective, the networks that are created around technological change, its complexity, composition and functionality (Arellano, 2007; Latour, 2001, 2007; Murdoch, 2000; Tirado, López, Callén, & Domènech, 2008).

Technology was conceptualized in a broad sense. This includes technological artefacts and the different techniques, knowledge and foundations that allow man to transform nature (Cáceres, Silvetti, Soto & Rebolledo, 1997; Custer, 1995; Dorfman, 1993), as well as forms of organization and even legislation as technological artefacts (Thomas, 2010). Technological change was considered as the set of significant variations in production systems that stimulate their transformation and expansion of

⁷For more information on Actor-Theory Network see Latour (2005), the concept of quasi-object and quasi-subject of Serres (1980) and the principle of generalized symmetry of Bloor (1991) and Callon (1986).

desde un enfoque territorial en la región de Tulancingo, Hgo. De esta forma, se puede apreciar el comportamiento del cambio tecnológico desde los factores y actores que lo originan y, plantear algunas estrategias para mejorar su competitividad. De manera que se pretende contribuir a la comprensión de la dinámica de la agricultura protegida en el sector rural con el fin de mejorar la toma de decisiones de los responsables del diseño y operación de las políticas agrícolas, y mejorar las condiciones de vida de las personas involucradas directa e indirectamente en esta actividad.

Metodología

La investigación se realizó desde la perspectiva del enfoque territorial, desde el que se aborda el análisis del sistema de producción como una interfase donde convergen diversos factores histórico-sociales-multidimensionales que interactúan entre sí (Damián, et al., 2007; Llanos-Hernández, 2010). Para su sistematización y análisis se creó un cuerpo analítico que se sustentó en los tres enfoques teóricos siguientes: 1) la trayectoria tecnológica (Pérez, 2001) y trayectoria sociotécnica (Thomas & Gianella, 2006) con la finalidad de comprender el surgimiento, comportamiento y la tendencia de la agricultura protegida en la región de estudio; 2) el método genealógico, para lo cual se hizo un acercamiento a lo formulado por Rivers (1975), Davinson (2006) y Linck (1991) con lo cual se identificaron los actores que introducen, adaptan y difunden la tecnología, y 3) la Teoría del Actor Red (TAR)⁷ para que desde una perspectiva sociotécnica, identificar las redes que se crean en torno al cambio tecnológico, su complejidad, composición y su funcionalidad (Arellano, 2007; Latour, 2001, 2007; Murdoch, 2000; Tirado, López, Callén, & Domènech, 2008).

Se conceptualizó a la tecnología en un sentido amplio. Se incluyen los artefactos tecnológicos y las distintas técnicas, conocimientos y fundamentos que permiten al hombre transformar la naturaleza (Cáceres, Silvetti, Soto & Rebolledo, 1997; Custer, 1995; Dorfman, 1993). También las formas de organización

⁷Para más información sobre la Teoría del Actor Red véase Latour (2005), el concepto de cuasi-objeto y cuasi-sujeto de Serres (1980) y el principio de simetría generalizada de Bloor (1991) y Callon (1986).

their productivity, in such a way that new objects and processes, regulations and other products derived from technology are incorporated into the productive dynamics (Arteaga, Medellín, & Santos, 1995).

Methods of analysis

Technological trajectories

The trajectory is understood as a process of co-evolution of products, processes, rationalities, policies and strategies, aspects that allow the development of a technology (Pérez, 2001; Thomas & Gianella, 2006). In this sense, the technological events and the directions followed by agricultural technology in the region of Tulancingo, Hgo, from 1980 to 2015 were studied. To this end, a timeline was drawn where the main social, economic, political and technological events that occurred at the local, regional and national levels were identified in order to locate the events of importance for the development of protected agriculture.

Genealogical Method

The genealogical method was used to analyze the introduction, adaptation and diffusion of technology in the study region (Davinson, 2006; Gordo & Serrano, 2008; Rivers, 1975), in order to identify the actors who sequenced the change from traditional systems to protected agriculture through the local structure of social relationships. In this sense, the technological leaderships and the moments in which the main changes occur were identified. The analysis period was from 1980 to 2014 and only the family that introduced this technology for the first time was considered in order to later look for precursors and successors.

Sociotechnical networks

Sociotechnical networks were analyzed from the ANT perspective (Latour, 2001, 2007; Tirado et al., 2008). Protected agriculture was conceptualized as an Actor-Network, that is, as an agricultural production system and at the same time as a way of building society, human relations and territory, where a set of heterogeneous elements is integrated with different history, culture and traditions that interact maintaining a constant flow of information, dynamics that allow them to evolve and transform.

e incluso la legislación como artefactos tecnológicos (Thomas, 2010). El cambio tecnológico se consideró como el conjunto de variaciones significativas en los sistemas de producción que estimulan su transformación y expansión de su productividad. De tal forma que a la dinámica productiva le sean incorporados nuevos objetos y procesos, reglamentaciones y otros productos derivados de la tecnología (Arteaga, Medellín, & Santos, 1995).

Métodos de análisis

Trayectorias tecnológicas

La trayectoria se entiende como un proceso de coevolución de productos, procesos, racionalidades, políticas y estrategias, aspectos que permiten el desenvolvimiento de una tecnología (Pérez, 2001; Thomas & Gianella, 2006). En este sentido, se estudiaron los sucesos tecnológicos y las direcciones que siguió la tecnología agrícola en la región de Tulancingo, Hgo., desde 1980 hasta 2015. Para lo cual se trazó una línea de tiempo donde se identificaron los principales hechos sociales, económicos, políticos y tecnológicos que ocurrieron en el ámbito local, regional y nacional con el fin de ubicar los eventos de importancia para el desarrollo de la agricultura protegida.

Método genealógico

Para analizar la introducción, adaptación y difusión de la tecnología en la región de estudio, se utilizó el método genealógico (Davinson, 2006; Gordo & Serrano, 2008; Rivers, 1975), con la finalidad de identificar a los actores que dieron la secuencia del cambio de los sistemas tradicionales a la agricultura protegida a través de la estructura local de relaciones sociales. En este sentido, se identificaron los liderazgos tecnológicos y los momentos en que ocurren los principales cambios. El periodo de análisis fue de 1980 a 2014 y solo se consideró a la familia que introdujo por primera vez esta tecnología para después buscar precursores y sucesores.

Redes sociotécnicas

Se analizaron las redes sociotécnicas desde la perspectiva de la TAR (Latour, 2001, 2007; Tirado et al., 2008). Se conceptualizó a la agricultura protegida

For this case, the Actor-Network was studied in three development periods: 1998, 2007 and 2014. Its components, functions, relationships, the ways in which connections are produced (Arellano, 1998, 2007; Arellano & Ortega, 2005), and the emergence of new entities (Domènech & Tirado, 2009) were identified, with the purpose of describing the functioning of these collectives in time and territory.

Compilation of information

The information underpinning this paper was the result of fieldwork carried out over three years. The empirical reference was constituted by production units located in the state of Hidalgo, devoted to the production of greenhouse vegetables. The study region included the municipalities of Acatlán, Acaxochitlán, Huasca de Ocampo, Metepec and Tulancingo de Bravo. The information was obtained from primary sources through field visits, producer surveys and interviews with various key actors.

In order to establish genealogical affiliations and identify trajectories (technological and sociotechnical) in production systems, 59 semi-structured surveys focused on identifying the attributes of the producers, their production units and the introduction of new technologies were applied in 2013. In 2014, an extensive documentary review of national, regional and local activity on the political, economic, social and technological aspects that gave rise to protected agriculture in the study region was conducted.

Producers were selected by non-probability sampling (Pimienta, 2000), a common technique in the analysis of the Mexican rural sector (Muñoz, Rendón, Aguilar, García, & Altamirano, 2004). The universe of analysis was constructed from the review of technical reports and evidence provided by SAGARPA and extensionists. In addition, in 2015, in order to cross-check information and identify the sociotechnical network, 20 interviews were conducted with key SAGARPA actors, extensionists and municipal authorities linked to the regional production system.

como un Actor-Red, es decir, como un sistema de producción agrícola y a su vez como una forma de construir la sociedad, las relaciones humanas y el territorio, donde se integra un conjunto de elementos heterogéneos con historia, cultura y tradiciones distintas que interactúan manteniendo un flujo constante de información, dinámica que les permite su evolución y transformación.

Para este caso se estudió al Actor-Red en tres periodos de desarrollo: 1998, 2007 y 2014. Se identificaron sus componentes, funciones, relaciones, las formas en que se producen las conexiones (Arellano, 1998, 2007; Arellano & Ortega, 2005), y la emergencia de nuevas entidades (Domènech & Tirado, 2009) con el propósito de describir el funcionamiento de dichos colectivos en el tiempo y el territorio.

Compilación de la información

La información que sustenta la presente contribución fue resultado del trabajo de campo realizado durante tres años. El referente empírico se constituyó por unidades de producción ubicadas en el estado de Hidalgo, dedicadas a la producción de hortalizas en invernadero. La región de estudio comprendió los municipios de Acatlán, Acaxochitlán, Huasca de Ocampo, Metepec y Tulancingo de Bravo. La información se obtuvo de fuentes primarias mediante recorridos de campo, encuestas a productores y entrevistas con diversos actores clave.

Para establecer las filiaciones genealógicas e identificar las trayectorias (tecnológica y sociotécnica) en los sistemas de producción se aplicaron en el año 2013, 59 encuestas semi-estructuradas centradas en identificar los atributos del productor, sus unidades de producción y la introducción de nuevas tecnologías. En 2014 se realizó una amplia revisión documental sobre la actividad a nivel nacional, regional y local sobre los aspectos políticos, económicos, sociales y tecnológicos que dieron origen a la agricultura protegida en la región de estudio.

La selección de los productores se realizó por muestreo no probabilístico de selección experta

Results

Characteristics of the study region

The study region is a valley surrounded by low-lying hills, crossed by three rivers (Tulancingo, Metepec and Mesillas) and some streams; it is a region with fertile soils for crop development. It has a semi-dry temperate and temperate humid climate, with abundant rainfall in summer, a temperature range between 10° and 18 °C, with rainfall ranging from 500 to 1,100 mm and is located between 1,600 and 3,100 meters above sea level (INEGI, 2014).

The rural landscape is defined by economic activities that have developed since colonial times, which allows us to observe a heterogeneous network of crops, buildings, machinery and equipment. The agricultural society of the region seems to be inherited from the hacienda of the late nineteenth century, as it is characterized by ranchers with small properties based on agriculture (production of maize, wheat, barley and fodder) and livestock (bovine production oriented to milk production and, to a lesser extent, to pig and sheep activity).

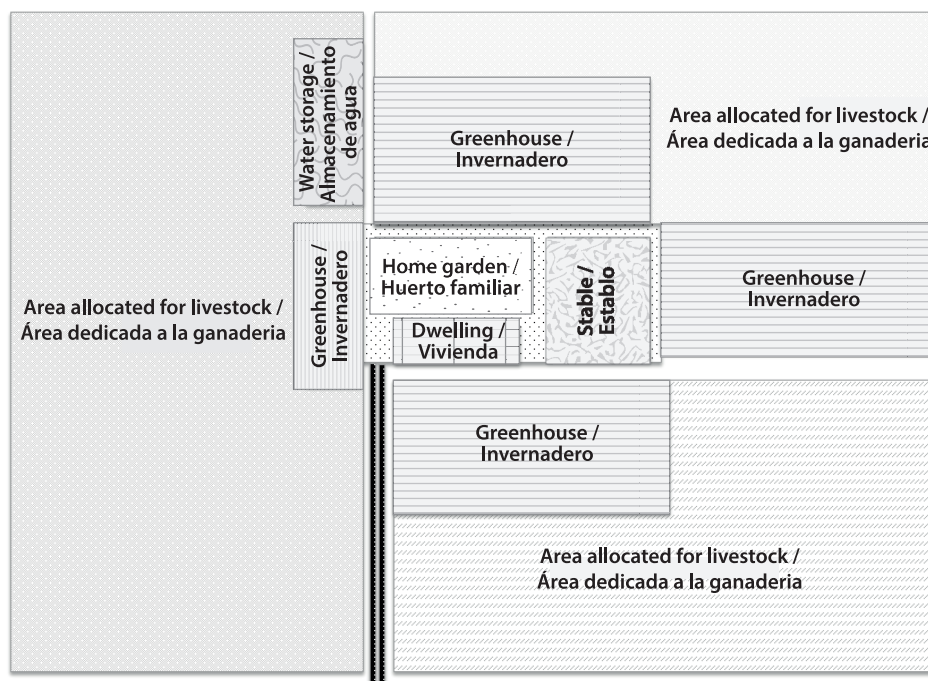
(Pimienta, 2000), técnica común en el análisis del sector rural mexicano (Muñoz, Rendón, Aguilar, García, & Altamirano, 2004). El universo de análisis se construyó a partir de la revisión de informes técnicos y evidencias aportadas por la SAGARPA y extensionistas. Además, en 2015, con la finalidad de cruzar información e identificar la red sociotécnica, se realizaron 20 entrevistas a actores clave de la SAGARPA, extensionistas y autoridades municipales vinculados al sistema productivo regional.

Resultados

Características de la región de estudio

La región de estudio es un valle rodeado por lomeríos de baja elevación, por el cual cruzan tres ríos (Tulancingo, Metepec y Mesillas) y algunos arroyos; es una región con suelos fértiles para el desarrollo de cultivos. Posee un clima semiseco templado y templado húmedo, con abundantes lluvias en verano, un rango de temperatura entre los 10° y los 18 °C, con una precipitación que va de 500 a 1,100 mm y se ubica entre los 1,600 y 3,100 msnm (INEGI, 2014).

Figure 1. Plan of a typical production unit in the study region.
Figura 1. Plano de una unidad de producción típica de la región de estudio.



The production units are distributed very irregularly throughout the territory. All of them carry out diverse activities which form complex production systems, which are developed to make livestock farming more compatible with agriculture since it allows grazing in the plots and the rotation of areas (livestock-agriculture-livestock), which also favors the natural fertilization of the land (Figure 1). This system includes home gardens, which are a space that converges with agricultural and livestock activities in order to provide families with a variety of basic foods.

Over the last few decades, the territory has undergone several transformations, mainly in agricultural activities that are the result of the regional interaction of technical, social, economic, historical and political factors. Now, the natural space is clearly humanized without reaching the extremes of urban areas. The most visible elements of its territorial reconfiguration are manifested in the increase in greenhouses, which have been incorporated into all production systems, adapting to them regardless of the irregular relief. These production systems are characterized by a constant demand for technological innovations, as a commercial agricultural system that supplies markets.

Characteristics of the production system

Agricultural production systems in Mexico are characterized by great diversity in terms of technological level. Protected agriculture in the Tulancingo region of Hgo is characterized by medium technology according to the classification of Costa and Giacomelli (2005). At present and derived from the technological evolution in the territory, it has greenhouses with very heterogeneous designs and structures. All the production units are devoted to tomato production (*Solanum lycopersicum* L.) that is marketed in local and regional markets (Vargas Canales, Palacios Rangel, Camacho Vera, Aguilar Ávila, & Ocampo Ledesma, 2015).

The production system has been adapted to the region's climatic conditions. The prevailing greenhouse design is the zenithal type because it allows better temperature control, its structures are formed by a rectangular galvanized tubular profile framework, and diffuse polyethylene is used as a

El paisaje rural está definido por actividades económicas que se han desarrollado desde la época colonial, lo que permite observar un entramado heterogéneo de cultivos, construcciones, maquinaria y equipo. La sociedad agrícola de la región pareciera ser heredada de la hacienda de finales del siglo XIX, ya que se caracteriza por tratarse de rancheros con pequeñas propiedades que tenían como base la agricultura (producción de maíz, trigo, cebada y forrajes) y la ganadería (producción bovina orientada a la producción de leche y, en menor proporción, a la actividad porcina y ovina).

Las unidades de producción se encuentran distribuidas de manera muy irregular por todo el territorio. Todas realizan diversas actividades con lo que se amalgaman los sistemas de producción complejos, los que se desarrollan para hacer más compatible la ganadería con la agricultura ya que permite el pastoreo en las parcelas y la rotación de áreas (ganadería-agricultura-ganadería), lo que además favorece el abonado natural de las tierras (Figura 1). Este sistema incluye huertos familiares que son un espacio que converge con las actividades agrícolas y pecuarias con la finalidad de proveer alimentos básicos diversos a las familias.

Durante las últimas décadas, el territorio ha sufrido varias transformaciones, principalmente en las actividades agrícolas que son el resultado de la interacción regional de factores técnicos, sociales, económicos, históricos y políticos. Ahora, el espacio natural se observa claramente humanizado sin llegar a los extremos de las zonas urbanas. Los elementos más visibles de su reconfiguración territorial se manifiestan en el incremento de los invernaderos, mismos que se han incorporado a todos los sistemas de producción, adaptándose a éstos sin importar lo irregular del relieve. Estos sistemas productivos se caracterizan por una demanda constante de innovaciones tecnológicas, como una agricultura comercial que abastece a los mercados.

Características del sistema de producción

Los sistemas de producción agrícola en México se caracterizan por una gran diversidad en cuanto al nivel tecnológico. La agricultura protegida en la región de Tulancingo, Hgo., es de tecnología media de acuerdo con la clasificación de Costa y Giacomelli

cover material as it allows a uniform distribution of radiation and minimizes the sovereignty of the structure and plants. All the greenhouses have passive ventilation systems. They have manually-operated folding zenithal and lateral windows; the zenithal (roof) vents have anti-insect meshes, the lateral ones have anti-aphid meshes and most of them have double doors or airlocks to reduce pest entry. The use of heating systems to control temperatures in the winter is also widespread.

Production is established in soil to which, in general, a mixture of organic fertilizers is incorporated. Drip irrigation systems are also used in all greenhouses, accompanied by plastic mulch to prevent weed growth. The crop is established in long production cycles (eight months from transplant to the end of the harvest). Cultivation is usually conducted on a single stem by tutoring and in some cases rings and hooks are used. In terms of nutrition management, it is done according to the phenological stage of the crop and in a few cases is

(2005). En la actualidad y derivado de la evolución tecnológica en el territorio, se observan invernaderos con diseños y estructuras muy heterogéneas. El total de las unidades productivas se dedican a la producción jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) que se comercializa en mercados locales y regionales (Vargas Canales, Palacios Rangel, Camacho Vera, Aguilar Ávila, & Ocampo Ledesma, 2015).

El sistema productivo se ha adaptado a las condiciones climáticas de la región. El diseño de invernadero que prevalece es el tipo cenital debido a que es el que permite un mejor control de las temperaturas, sus estructuras están conformadas por armazón de perfil tubular rectangular galvanizado, como material de cubierta se utiliza polietileno difuso que permite una distribución uniforme de la radiación y minimiza el soberado de la estructura y las plantas. La totalidad de los invernaderos cuentan con sistemas de ventilación pasivos; disponen de ventanas cenitales y laterales abatibles de accionamiento manual; las ventilas cenitales

Table 1. Characteristics of producers and their production units in the Tulancingo region, Hgo.

Cuadro 1. Características de los productores y de sus unidades de producción en la región de Tulancingo, Hgo.

Variables	Mínimum / Mínimo	Maximum / Máximo	Mean / Media	Typ. Dev. / Desv. típ.	Variance / Varianza
Producer age (years) / Edad del productor (años)	24	63	42.12	9.58	91.76
Producer schooling (years) / Escolaridad del productor (años)	1	17	9.22	3.86	14.93
Producer experience (years) / Experiencia del productor (años)	1	15	5.34	3.41	11.64
Yield (kg·m ⁻²) / Rendimiento (kg·m ⁻²)	10	44	21.32	6.55	42.88
Production area (m ²) / Superficie de producción (m ²)	600	15 000	3 455.25	25 86.65	66 907 66.74

based on soil and water analysis. Planting densities range from 3.2 to 4 plants·m⁻², which conform to the techniques recommended for the crop.

The characteristics of the producers and production units are very heterogeneous (Vargas Canales et al., 2015). Producer age varies from 24 to 63 years, with schooling ranging from one year to 17 years (Table 1). Experience in the activity is minimally one year or from one to 15 production cycles, which indicates that each year new producers are incorporated and those that initiated it remain. Yields range from 10 to 44 kg·m⁻², reflecting a very heterogeneous management. In crop area, greenhouse size ranges from 600 to 15,000 m².

Technological trajectories - adoption, technological adaptation and territory

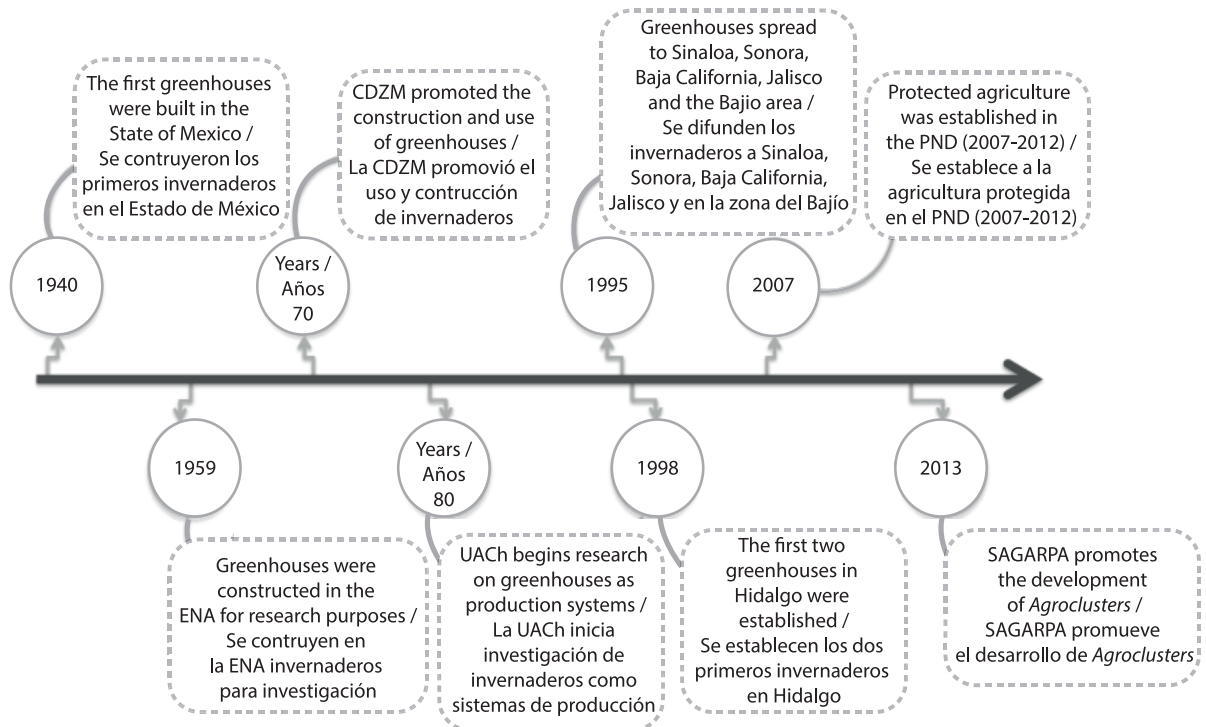
In the country, the first greenhouses were built in the State of Mexico (Figure 2) around 1940, by German and Japanese emigrants, based on concrete, ironwork and glass, designs typical of Europe (Enoch & Enoch, 1999). Later, in 1959, greenhouses made of the same material were built for the conducting of agricultural research in the *Colegio de Postgraduados*

cuentan con mallas anti-insectos, las laterales con mallas anti-áfidos y en su mayoría cuentan con doble puerta o exclusiva para la reducción de la entrada de plagas. También es generalizado el uso de sistemas de calefacción para controlar las temperaturas en la época de invierno.

La producción se establece en suelo al cual, por lo general, se le incorpora una mezcla de abonos orgánicos. Asimismo, en todos los invernaderos se utilizan sistemas de riego por goteo, acompañados por acolchados plásticos para evitar el crecimiento de malezas. El cultivo se establece en largos ciclos de producción (ocho meses de trasplante a fin de la cosecha). La conducción del cultivo se realiza por lo general a un solo tallo mediante tutores y en algunos casos se utilizan anillos y ganchos. En cuanto al manejo de la nutrición, se realiza de acuerdo con la etapa fenológica del cultivo y en pocos casos se fundamenta en análisis de suelo y agua. Las densidades de plantación varían de 3.2 a 4 plantas·m⁻², que se ajustan a las técnicas recomendadas para el cultivo.

Las características de los productores y de las unidades de producción son muy heterogéneas

Figure 2. Technological events that originated protected agriculture in the Tulancingo region, Hgo, Mexico.
Figura 2. Sucesos tecnológicos que originaron la agricultura protegida en la región de Tulancingo, Hgo., México.



de la Escuela Nacional de Agricultura⁸ (College of Postgraduates of the National School of Agriculture); from there they spread to neighboring towns mainly for the production of ornamental plants.

In the 1970s, as part of the promotion policies of the *Comisión para el Desarrollo de las Zonas Marginadas* (CDZM) (Commission for the Development of Marginalized Areas), its use and construction was promoted, especially wooden and plastic cover structures; however, by not controlling the environmental conditions correctly, its success was limited. Business projects such as Rosemex, Summa and Flora were also initiated, adopting technologies based on fiberglass and metal structures (Pacheco, 2008).

Induced by the development of floriculture, nurseries and the production of vegetable seedlings, in the 1980s the *Universidad Autónoma Chapingo* (UACH) (Autonomous Chapingo University) began conducting research into these production systems in relation to the materials to be used and the most appropriate cultivation methods, achieving significant progress. This allowed for technical innovations to be introduced in the following decade in terms of its design and components. It was a stage marked by the use of structures built with lighter materials and with polyethylene covers; in addition, simple climate control systems and automated irrigation equipment were integrated (Pacheco, 2008).

However, it was not until 1995 when favorable conditions for investment in horticultural crops arose, enticing large businessmen in Sinaloa, Sonora, Baja California, Jalisco and the Bajío area (Pacheco, 2008) to venture into the international market where they achieved great success. It was during this period when hundreds of hectares of greenhouses covered the agricultural lands in these states, resulting in increased profits and agricultural profitability.

In the study region, the first change that took place for the development of protected agriculture was the extraction of groundwater through deep wells; the first ones were created in the 1970s, but many more were built in the 1980s. Later, the *Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos*

(Vargas Canales et al., 2015). La edad de los productores oscila entre 24 y 63 años, con escolaridad que va de un año hasta 17 (Cuadro 1). La experiencia en la actividad es mínimamente de un año o de un ciclo de producción hasta los 15, lo que indica que cada año se incorporan nuevos productores y se mantienen los que la iniciaron. Los rendimientos varían en un rango que va de 10 a 44 kg·m⁻², esto refleja un manejo muy heterogéneo. En superficie de cultivo el tamaño de los invernaderos oscila de 600 hasta 15,000 m².

Trayectorias tecnológicas - adopción, adaptación tecnológica y territorio

En el país, los primeros invernaderos fueron construidos en el Estado de México (Figura 2) alrededor del año 1940, por emigrantes alemanes y japoneses, a base de concreto, herrería y cristal, diseños típicos de Europa (Enoch & Enoch, 1999). Posteriormente, en 1959 se construyeron invernaderos del mismo material para el desarrollo de las investigaciones agrícolas en el Colegio de Postgraduados de la Escuela Nacional de Agricultura⁸; de ahí se difundieron a los pueblos vecinos principalmente para la producción de plantas ornamentales.

En los años 70 como parte de las políticas de fomento de la Comisión para el Desarrollo de las Zonas Marginadas (CDZM), se promovió su uso y construcción, sobre todo, a partir de estructuras de madera y cubierta de plástico, sin embargo, al no controlar las condiciones ambientales de manera correcta su éxito fue limitado. Asimismo, se iniciaron los proyectos empresariales como Rosemex, Summa y Flora, quienes adoptaron tecnologías basadas en la fibra de vidrio y estructuras metálicas (Pacheco, 2008).

Inducidos por el desarrollo de la floricultura, el viverismo y la producción de plántulas de hortalizas, en los años 80 se inicia en la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) la investigación de estos sistemas de producción en relación con los materiales por utilizar y los métodos de cultivo, obteniendo importantes avances. Esto permitió

⁸Today *Universidad Autónoma Chapingo* (Autonomous Chapingo University), a public institution for teaching and research in agronomic sciences.

⁸Hoy Universidad Autónoma Chapingo: institución pública de enseñanza e investigación en ciencias agronómicas.

(SARH) (Secretariat of Agriculture and Hydraulic Resources), with the aim of increasing productivity, promoted the development of irrigation, that is, the construction of infrastructure to transport water to maize production areas.

Although improvements in agricultural productivity were achieved with this technology, there were large water losses along the distribution network (due to leaks and high evaporation rates), so it was quickly replaced by hydraulic polyvinyl chloride (PVC) piping, accompanied by a strong agricultural mechanization component. Tractors, seeders, balers and harvesters were introduced, a process that continued until the late 1990s.

It was not until 1998 that the radical innovation emerged in the study region and the first two greenhouses were established in the municipality of Metepec, Hgo. in order to produce cut flowers (Figure 2). These were small low-tech greenhouses, built by the same producers with black-metal rectangular hollow sections or posts (RHS), fiberglass walls, little ventilation and dimensions not exceeding 1000 m². These greenhouses were promoted by some government institutions devoted to agricultural financing in credit schemes. However, their objectives soon changed and they devoted themselves to tomato production.

In the year 2000, the first "Inver2000" greenhouse, designed at UACH for vegetable production, was built in the region, and another one was built in a neighboring municipality. A year later, SAGARPA and SEDAGRO-Hidalgo, in their agricultural promotion programs, granted subsidies for the construction of greenhouses, which brought about decisive changes in the diffusion of protected agriculture.

These changes stimulated transformations in construction methods. The use of galvanized-metal RHS begins, the use of welding is reduced, the size of the structures is increased to 1,200 m² and heaters and irrigation systems are introduced; in addition, construction companies emerged that quickly adapted the design of the greenhouses to local conditions and introduced the zenithal-type greenhouse, which is the most suitable model for the climatic conditions of the region.

Between 2001 and 2006, greenhouse production spread to neighboring municipalities such as

que para la siguiente década se introdujeran innovaciones tecnológicas en su diseño y en el de sus componentes. Fue una etapa marcada por utilizar estructuras construidas con materiales más ligeros y con cubiertas de polietileno; además se integraron sistemas sencillos de control climático y equipos de riego automatizado (Pacheco, 2008).

Sin embargo, fue hasta 1995 cuando se presentan las condiciones favorables para la inversión en cultivos hortícolas entre los grandes empresarios de Sinaloa, Sonora, Baja California, Jalisco y en la zona del Bajío (Pacheco, 2008) e incursionaron con gran éxito en el mercado internacional. Es durante este periodo cuando cientos de hectáreas de invernaderos cubren las tierras agrícolas en estas entidades, cuyo resultado implicó un proceso de reproducción de las ganancias y de la rentabilidad agraria.

En la región de estudio el primer cambio que se dio para el desarrollo de la agricultura protegida fue la extracción de aguas subterráneas mediante pozos profundos; los primeros se iniciaron en los años 70, sin embargo, presentan mayor dinamismo en la década de los 80. Después, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) con el objetivo de aumentar la productividad promovió el desarrollo de la irrigación, es decir, la construcción de infraestructura de conducción del agua a las áreas de producción de maíz.

A pesar de que se lograron mejoras en la productividad agrícola, con esta tecnología se tenían grandes pérdidas de agua a lo largo de la red de distribución (debido a fugas y a las altas tasas de evaporación), por lo que se sustituyó rápidamente por tubería de policloruro de vinilo (PVC) hidráulico, acompañado de un fuerte componente de mecanización agrícola. Se introdujeron tractores, sembradoras, empacadoras y cosechadoras, proceso que continuó hasta finales de los años 90.

Fue hasta 1998 que en la región de estudio surge la innovación radical y se establecen los dos primeros invernaderos en el municipio de Metepec, Hgo., con el fin de producir flor de corte (Figura 2). Se trataba de invernaderos pequeños de baja tecnología, construidos por los mismos productores con perfil tubular rectangular (PTR) de lámina negra, paredes de fibra de vidrio, con poca ventilación y con dimensiones que no superaban

Axochitlán and Tulancingo de Bravo, Hgo, and new crops were promoted, such as cucumber, which was abandoned due to low sales prices and was quickly replaced by tomato, which had a guaranteed market and better prices. At the same time, the first suppliers of specialized inputs appeared in the region, a fact that was later reflected in the increased productivity in the production units.

The most significant increase in protected agricultural area occurred in 2007, when this activity was given higher priority at the national level. The National Development Plan (2007) establishes protected agriculture as one of the fulcrums of the competitive economy and a job creator for the rural sector. During this period important changes were made in the technology derived from the requirements established by SAGARPA to access subsidies; the amounts and areas of support were increased, with semi-automated heating, irrigation and hydroponic systems included.⁹ Thus, in a short time most of the producers who had greenhouses doubled their production area. However, hydroponics meant greater use of fertilizers, more precise management of plant nutrition and higher production costs, so it was abandoned and production in soil continued.

As a result of the growth in area of these production systems in different regions of the country (Querétaro, Guanajuato, San Luis Potosí, State of Mexico, Puebla, Oaxaca and Hidalgo), problems arose related to the construction of greenhouses and the adaptation of the designs to the climatic conditions of the different regions, so for 2008 the Mexican standard NMX-E-255-CNCP-2008 was created, with the objective of having a regulatory base for their design and construction. In addition, as a response to the demand for specialized professionals, an Agronomy Bachelor's Degree in Protected Agriculture was established at UACH; later similar curricula were adopted in technological universities in different regions of the country.

⁹Hydroponics refers to a production system that does not use soil as a means of support or as a means for plants to obtain nutrients. In this substitution, substrates (tezontle, sand, coconut fiber, among others) and nutrient solutions (mixtures of water and fertilizers) are used according to the needs of the crop.

los 1000 m². Estos invernaderos fueron promovidos por algunas instituciones de gobierno dedicadas al financiamiento agrícola en esquemas de crédito. Sin embargo, sus objetivos pronto cambiaron y se dedicaron a la producción de jitomate.

Para el año 2000 se crea en la región el primer invernadero "Inver2000", diseñado en la UACH para la producción de hortalizas y, se construye uno de este tipo, en un municipio vecino. Un año después la SAGARPA y SEDAGRO-Hidalgo en sus programas de fomento agrícola, otorgan subsidios para la construcción de invernaderos, lo que provoca cambios decisivos en la difusión de la agricultura protegida.

Estos cambios estimularon transformaciones en los métodos de construcción. Se inicia el uso de PTR de lámina galvanizada, se disminuye el uso de soldadura, se incrementa el tamaño de las construcciones a 1,200 m² y se introducen calentadores y sistemas de riego; además surgen empresas constructoras quienes rápidamente adaptan el diseño de los invernaderos a las condiciones locales, e introducen el invernadero tipo cenital, que es el modelo más adecuado para las condiciones climáticas de la región.

Entre 2001 y 2006 la producción en invernaderos se propaga a municipios colindantes como Axochitlán y Tulancingo de Bravo, Hgo., y se promueven nuevos cultivos como el pepino, que se abandona debido a los bajos precios de venta y se cambia rápidamente por jitomate, que garantizaba mercado y mejores precios. En la misma época surgen en la región las primeras empresas proveedoras de insumos especializados, hecho que se reflejó posteriormente en el incremento de la productividad en las unidades de producción.

El aumento más importante en cuanto a superficie de agricultura protegida se dio en 2007, al darse mayor prioridad a esta actividad en el ámbito nacional. Se establece en el Plan Nacional de Desarrollo (2007) la agricultura protegida como uno de los ejes de la economía competitiva y generadora de empleos para el sector rural. Durante este periodo se realizan cambios importantes en la tecnología derivados de los requisitos que establece la SAGARPA para acceder a los subsidios; se aumentan los montos y superficies de apoyo, se incluyen

The growth dynamics of the activity in the region continued in a similar way until 2010, with protected cultivation areas of even more than one hectare per producer being reached. At this time another important change took place in the construction of greenhouses, namely higher greenhouses that allow greater climate control and that have plates that totally replace the need for welding and that provide better support and greater flexibility.

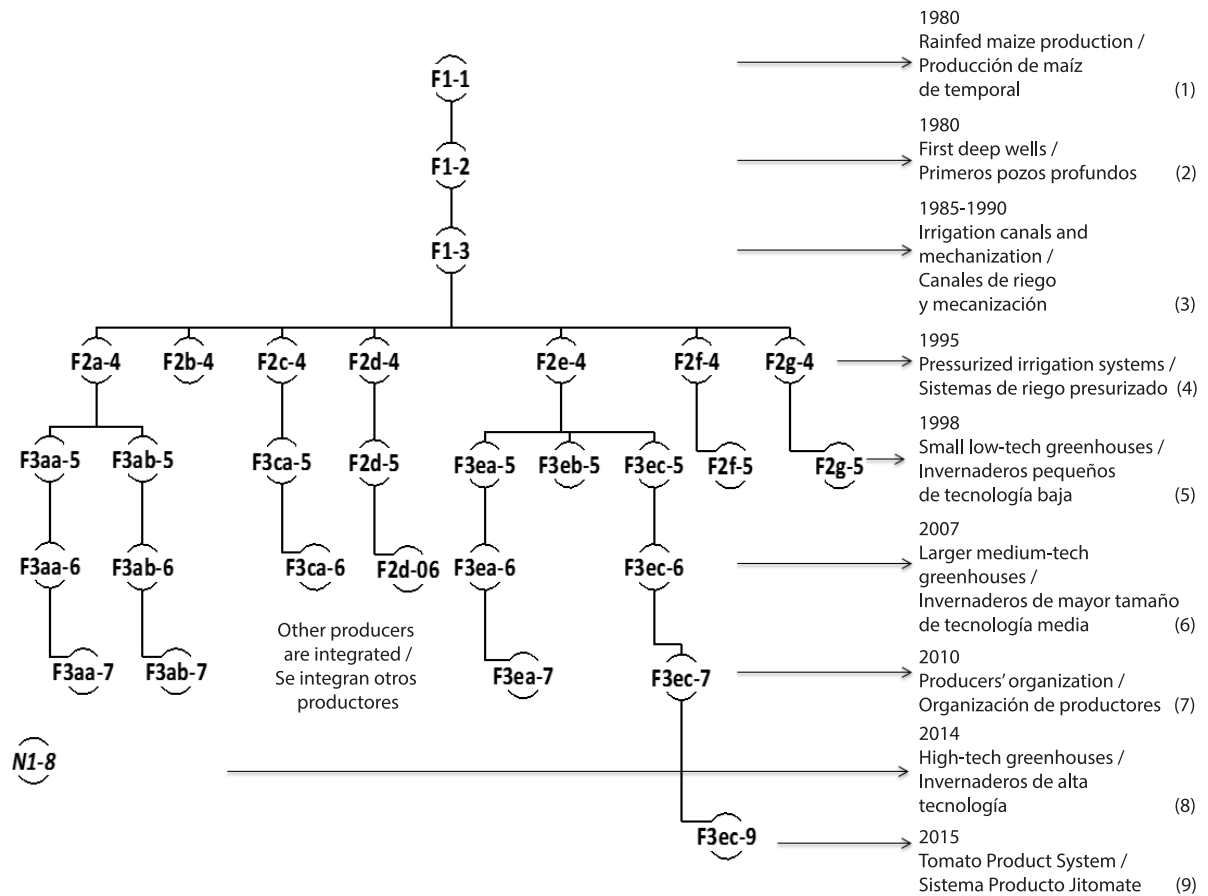
As a result of the success in local production, a wide range of companies devoted to the design and construction of greenhouses and input suppliers were established in the region. However, as a result of the growth dynamics in greenhouse area, in 2011 a tomato overproduction crisis was generated in local

sistemas semiautomatizados de calefacción, riego e hidroponía⁹. Así, en poco tiempo la mayoría de los productores que contaban con invernaderos duplicaron su superficie de producción. Sin embargo, la hidroponía implicaba mayor uso de fertilizantes, manejo más preciso de la nutrición vegetal y un mayor costo de producción, por lo que se abandona y se continúa la producción en suelo.

Como resultado del crecimiento de la superficie de estos sistemas de producción en distintas

⁹La hidroponía se refiere a un sistema de producción que no utiliza suelo como medio de sostén ni como medio para que las plantas obtengan nutrientes. En esta sustitución se utilizan sustratos (tezontle, arena, fibra de coco, entre otros) y soluciones nutritivas (mezclas de agua y fertilizantes) de acuerdo con las necesidades del cultivo.

Figure 3. Genealogy of the technological leadership of protected agriculture in the Tulancingo region, Hgo., Mexico.
Figura 3. Genealogía del liderazgo tecnológico de la agricultura protegida en la región de Tulancingo, Hgo., México.



Note: F1, F2, F3: Indicates the family that initiates and gives continuity to the technology; a, b, c, d, e, f, g: Indicates the parent that gives continuity to the technology; 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9: Indicates the technological event to which reference is made; N: Indicates a new actor that enters the region.

Nota: F1, F2, F3: Indica la familia que inicia y da continuidad a la tecnología; a, b, c, d, e, f, g: Indica el progenitor que da continuidad a la tecnología; 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9: Indica el suceso tecnológico al cual se hace referencia; N: Indica un nuevo actor que ingresa a la región.

markets and this began a gradual loss of profitability, a situation that motivated producers to organize and to try to access other markets.

By the end of 2012, agglomerations of greenhouses were evident in different regions of the country and, given this problem, SAGARPA, in its program to promote agriculture in the Agrifood Cluster Development component, promoted the development of Agroclusters to help increase productivity in agricultural rural economic units through incentives for the integration of productive chains (product systems) and the development of agrifood clusters, among others. However, to date the expected results have not been obtained, mainly due to the lack of experience in organizing.

Genealogical method - Technological leadership and innovative entrepreneurship

The analysis method allowed developing a scheme of technological affiliations from the families. And in this regard, the F1 family in the region is particularly important (Figure 3) because it is the one that is identified as the first to incorporate into its production systems the technologies that gave rise to protected agriculture. It is important to clarify that at this time the country's agricultural societies were in a transition period between modern, mechanized and export-oriented agriculture and traditional, limited and abandoned agriculture. As a result, the region had access to credit and financing to modernize the sector in accordance with the policies of the time.

The families that gave origin and continuity to protected agriculture are characterized by their extensive experience in agriculture, and their permanence strategies include the search for new technologies, so they regularly attend training courses and tech fairs and constantly experiment with new varieties of seeds, fertilizers and equipment. All this allows them to constantly integrate innovations into their production systems and adapt to the transformations that agriculture has undergone in the territory. This is clear evidence that these families have a great technological capacity, that is, that they can recognize the value of new information, knowledge and technologies to apply

regiones del país (Querétaro, Guanajuato, San Luis Potosí, Estado de México, Puebla, Oaxaca e Hidalgo) se presentan problemas relacionados a la construcción de invernaderos y a la adaptación de los diseños a las condiciones climáticas de las distintas regiones, por lo que para 2008 se crea la norma mexicana NMX-E-255-CNCP-2008, con el objetivo de contar con una base normativa para su diseño y construcción. Además, como respuesta a la demanda de profesionales especializados, surge la Licenciatura de Agronomía en Agricultura Protegida en la UACH, más tarde se adoptaron planes de estudio similares en universidades tecnológicas de distintas regiones del país.

La dinámica de crecimiento de la actividad en la región continuó de manera similar hasta el año 2010, con lo que se llegó a tener incluso, superficies de cultivo protegido de más de una hectárea por productor. En esta época se da otro cambio importante en la construcción de invernaderos; se trata de invernaderos más altos que permiten mayor control climático y con el uso de placas para ensamblar en sustitución total de la soldadura para obtener mejor soporte y mayor flexibilidad.

Como efecto del éxito en la producción local se instalan en la región una gran diversidad de empresas dedicadas al diseño y construcción de invernaderos y proveedoras de insumos. Sin embargo, como resultado de la dinámica de crecimiento en superficie de invernaderos, en 2011 se genera una crisis de sobreproducción de jitomate en los mercados locales y con esto se inicia una pérdida paulatina de su rentabilidad; situación que motiva a los productores a organizarse y tratar de acceder a otros mercados.

Para finales de 2012, en distintas regiones del país se hacen evidentes las aglomeraciones de invernaderos y ante esa problemática, la SAGARPA en su programa de fomento a la agricultura en el componente de Desarrollo de Clúster Agroalimentario, promueve el desarrollo de *Agroclusters* para contribuir a incrementar la productividad en las unidades económicas rurales agrícolas mediante incentivos para integración de cadenas productivas (sistemas producto) y desarrollo de clúster agroalimentario, entre otros.

in production processes (Cohen & Levinthal, 2011).

This allowed the adoption, adaptation and management of protected agriculture, a production system that implies a very different management to the traditional ones. In other words, more specialized knowledge is required regarding crop nutrition, soil management, plant manipulation (tutoring, pruning, pollination), control of environmental conditions, and pest and disease management.

Having made this clarification, it should be noted that this family had links with government institutions and universities, which have been maintained by their successors to date. The links were initially developed by extensionists related to the family; in this case the extensionists as part of their functions include the transfer of technology and the translation of knowledge, the linkage of actors and the mediation of their interactions, which enables the operation of knowledge through direct action and the management of innovation *in situ*.

These relationships were maintained by the F1 and F2 families (Figure 3), which led to the development of important technological changes. The process began in the 1980s with the first deep well to improve the maize production systems that until then were rainfed. This triggered the transformation of all production systems, there were a series of changes (irrigation channels and mechanization) through which agriculture was revitalized and the irrigation systems were configured (family F2) and then adopted by a wider group of farmers.

In the study region, the first greenhouses were promoted by agronomist Antonio Verde Montaña with the F2 and F3 families in 1998. These families began a process of adaptation to these new systems in relation to the technological artifacts and knowledge used in the traditional systems (soil management, water, fertilizers, etc.) accompanied by a strong interaction with the market.

Later on, larger, medium-tech greenhouses emerged; in this case their main promoter was agronomist Pasiano Francisco Barranco Islas with the F2 and F3 families. This period was marked by an intense introduction of incremental innovations to improve the production process (through trial and error experimentation). In the beginning, this affected the type of varieties planted in the

Sin embargo, a la fecha no se han obtenido los resultados esperados debido principalmente a la poca experiencia para organizarse.

Método genealógico - Liderazgo tecnológico y emprendimiento innovador

El método de análisis permitió desarrollar un esquema de filiaciones tecnológicas a partir de las familias. Y al respecto, cobra especial importancia la familia F1 en la región (Figura 3), debido a que es a la que se identifica como la primera que incorpora a sus sistemas de producción las tecnologías que dieron origen a la agricultura protegida. Es importante aclarar que en esta época las sociedades agrícolas del país se encontraban en un periodo de transición entre la agricultura moderna, mecanizada y exportadora y la tradicional, limitada y abandonada. Derivado de lo anterior, en la región se contaba con acceso a créditos y financiamiento para modernizar al sector de acuerdo con las políticas de la época.

Las familias que dieron origen y continuidad a la agricultura protegida se caracterizan por su amplia experiencia en la agricultura, y dentro de sus estrategias de permanencia se incluye la búsqueda de nuevas tecnologías por lo que de manera regular asisten a cursos de capacitación, ferias tecnológicas y ejercen de manera constante experimentos con nuevas variedades de semillas, fertilizantes y equipo. Situaciones que les permite integrar innovaciones de forma constante a sus sistemas de producción y adaptarse a las transformaciones que ha sufrido la agricultura en el territorio. Lo anterior es una clara evidencia de que esas familias tienen una gran capacidad tecnológica, es decir, que pueden reconocer el valor de nueva información, conocimientos y tecnologías para aplicarlos en los procesos de producción (Cohen & Levinthal, 2011).

Lo que permitió adoptar, adaptar y manejar la agricultura protegida, sistema de producción que implica un manejo muy diferente a los tradicionales. Es decir, se requiere de conocimientos más especializados en cuanto a la nutrición del cultivo, manejo del suelo, manipulación de las plantas (tutorio, poda, polinización), control de las condiciones ambientales y, manejo de plagas y enfermedades.

Hecha esta aclaración, destaca que esta familia tenía vínculos con instituciones de gobierno y

soil or hydroponic production systems, the type of polyethylene, and fertilization management. Productive strategies developed to remain in the market and continue its growth; secondly, the product, market and organization innovations were left.

Later on, various input supply and greenhouse design and construction companies settled in the region. This was coupled with the settlement in the region of other families interested in developing agricultural activities through protected production systems, from other regions of the state of Hidalgo, Morelos and the State of Mexico. These actors played an important role because they also introduced high-tech greenhouses (N1-8 family) and new knowledge about their management.

Finally, the attempt to integrate the *Sistema Producto Jitomate-Hidalgo* (Hidalgo Tomato Product System), a basic organizational body of SAGARPA to access support such as specialized technical advice and management to obtain support and services for marketing, stands out. This arose from the initiative of MVZ. Abraham Salomón Ganado, agronomist Pedro A. García Castro, agronomist Pasiano Francisco Barranco Islas, the F3ec family and some newly-created horticultural producer organizations in the region.

Sociotechnical networks - Actors, relations and territory

Based on the information collected, graphs illustrating the interaction among the different actors were constructed. The first one was carried out for 1998, the year in which the Actor-Network is introduced in the study region (Figure 4a); the second one for 2007, which is taken as an intermediate point of analysis (Figure 4b), and the third one for 2014, which allows identifying the current situation (Figure 4c). In order to analyze the Actor-Network it is necessary to mention the acceptance of the postulate of heterogeneity and with it the principle of symmetry of Bloor (1991).

In this sense, protected agriculture is analyzed as the Actor-Network and the entities that make up the network are neither subjects nor objects. To examine the development of the sociotechnical network, the actors were followed through their construction

universidades, las cuales se han mantenido por sus sucesores hasta la fecha. Los vínculos se desarrollaron inicialmente por extensionistas relacionados a la familia; en este caso los extensionistas como parte de sus funciones incluyen la transferencia de tecnología y la traducción del conocimiento, la vinculación de actores y la mediación de sus interacciones, lo que posibilita la operatividad del conocimiento mediante la acción directa y la gestión de la innovación *in situ*.

Estas relaciones se mantuvieron por la familia F1 y F2 (Figura 3) con lo que se desarrollaron a partir de ella importantes cambios tecnológicos. El proceso inició en los años 80 con el primer pozo profundo para mejorar los sistemas de producción de maíz que hasta entonces eran de temporal. Esto desencadenó la transformación de todos los sistemas de producción, se dieron una serie de cambios (canales de riego y la mecanización) mediante los cuales se dinamizó la agricultura y se fueron configurando los sistemas de riego (familia F2) que se adoptaron por un sector más amplio de los agricultores.

En la región de estudio los primeros invernaderos fueron promovidos por el Ing. Antonio Verde Montaña con las familias F2 y F3 en 1998. Estas familias iniciaron un proceso de adaptación a estos nuevos sistemas en relación con los artefactos tecnológicos y conocimientos empleados en los sistemas tradicionales (manejo de suelo, agua, fertilizantes, etcétera) acompañados de una fuerte interacción con el mercado.

Posteriormente surgieron los invernaderos de tecnología media y de mayores dimensiones; en este caso su principal promotor fue el Ing. Pasiano Francisco Barranco Islas con las familias F2 y F3. Este periodo estuvo marcado por una intensa introducción de innovaciones incrementales para mejorar el proceso de producción (por medio de la experimentación ensayo-error). Lo anterior incidió al principio, en el tipo de variedades sembradas sobre la producción en suelo o hidroponía; el tipo de polietileno, y el manejo de la fertilización. Estrategias productivas desarrolladas para permanecer en el mercado y continuar su crecimiento; en segundo término, se dejaron las innovaciones de producto, mercado y organización.

Más adelante se asientan en la región distintas empresas proveedoras de insumos y de diseño

and deconstruction, and in the first period of analysis four important actors stand out, which are described below:

1. Protected agriculture: refers to the greenhouse vegetable production system, which is understood as a sociotechnical system proposed by Geels (2004), and includes the group of producers that develop the activity and that are the main ones responsible for its adoption and adaptation until they are able to achieve it over time in the territory.
2. Teaching and Research Institution (TRI): this is *Universidad Autónoma Chapingo*, founded in 1854 and which in the study of protected agriculture has had at least 30 years of research, during which it has developed important scientific-technological advances.
3. SAGARPA (IG): institution of the federal executive power, in charge of the design and execution of policies to support the agricultural sector. SEDAGRO-Hidalgo is the agency in charge of the public administration of the state of Hidalgo that works in coordination with other educational, social and private institutions.
4. Extensionists (Ext): they are professionals, usually agronomists who are located in the region, and many of them are part of the producers' families and are engaged in the same activity; they are also responsible for the transfer of scientific-technological knowledge related to productive activity.

For the beginning of the analysis, the entity that stands out in the process of translation and technological mediation is the extension agent, who is in charge of articulating entities and giving rise to the Actor-Network. Likewise, it directly or indirectly relates to the Company-University-Government, which articulates SAGARPA and SEDAGRO-Hidalgo (who invest), UACH (which generates technology) and the users (who adopt it) (Figure 4a). The interaction of this small group of actors is what originates the process of technology transfer and adoption in the study region.

For 2007, as can be seen in Figure 4b, the network presents a more complex structure node structure that integrates new actors; the elements that compose it are more heterogeneous, more

y construcción de invernaderos. Esto se apareja con el asentamiento en la región de otras familias interesadas en desarrollar actividades agrícolas mediante sistemas protegidos de producción, provenientes de otras regiones del estado de Hidalgo, Morelos y el Estado de México. Estos actores desempeñan un papel importante porque en su traslado también introducen invernaderos de alta tecnología (familia N1-8) y nuevos conocimientos sobre su manejo.

Por último, destaca el intento por integrar el Sistema Producto Jitomate-Hidalgo, instancia organizativa básica de la SAGARPA para acceder a apoyos como: asesoría técnica especializada y gestión para obtener apoyos y servicios para la comercialización. Esto surge de la iniciativa del MVZ. Abraham Salomón Ganado, el Ing. Pedro A. García Castro, el Ing. Pasiano Francisco Barranco Islas, la familia F3ec y algunas organizaciones de productores hortícolas de reciente creación en la región.

Redes sociotécnicas - Actores, relaciones y territorio

Con base en la información recolectada, se construyeron los grafos que ilustran la interacción entre los diferentes actores. El primero se realizó en 1998, año en que el Actor-Red es introducido en la región de estudio (Figura 4a); el segundo en 2007, el cual se toma como un punto intermedio de análisis (Figura 4b), y el tercero en 2014, que permite identificar la situación actual (Figura 4c). Para analizar el Actor-Red es necesario mencionar la aceptación del postulado de heterogeneidad y con ello el principio de simetría de Bloor (1991).

En este sentido, se analiza a la agricultura protegida como el Actor-Red y las entidades que conforman la red no son ni sujetos ni objetos. Para examinar el desarrollo de la red sociotécnica se siguió a los actores a través de su construcción y deconstrucción, y en el primer periodo de análisis destacan cuatro actores importantes que a continuación se describen:

1. Agricultura protegida: se refiere al sistema de producción de hortalizas en invernadero, el cual se entiende como un sistema sociotécnico que Geels (2004) lo plantea, e incluye al grupo de productores que desarrollan la actividad que

specialized (in terms of their functions) and are not only located at the local level, but also transcend their place of creation and extend to other regions. In this way, new entities related to regional productive systems emerge and are integrated.

5. The *Asociación Mexicana de Constructores de Invernaderos A. C.* (AMCI) (Mexican Association of Greenhouse Builders) and the *Asociación Mexicana de Horticultura Protegida A. C.* (AMHP) (Mexican Association of Protected Horticulture): the former is in charge of normalizing greenhouse construction processes; the latter is devoted to facilitating the development of protected agriculture in Mexico.

6. Greenhouse construction companies (GCC): they are the companies devoted to the development and construction of greenhouses. Their importance lies in the fact that they are also responsible for adapting the design of the greenhouses to the crop and the region's climatic conditions.

7. Input suppliers (IS): this group of companies is essential for the production system, as it requires highly specialized inputs necessary for its proper functioning, and obtaining them in the past was very expensive; in addition, they are important diffusers of information and technologies related to the activity.

At this stage, more government institutions are integrated that subsidize the construction of greenhouses (SRA¹⁰, FIRCO¹¹, SE¹², etc.); likewise, the *Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de Hidalgo* (CESAVEH) (State Plant Health Committee of the State of Hidalgo (CESAVEH), a government agency that supports phytosanitary management and promotes good agricultural practices, is integrated. The integration in the region of these three new actors gave the companies comparative advantages, since it allowed the reduction of production costs. In addition, it is the first evidence of the trend towards specializing in vegetable

son los principales encargados de su adopción y adaptación hasta lograr adecuarla a través del tiempo en el territorio.

2. Institución de enseñanza e investigación (IE): se trata de la Universidad Autónoma Chapingo, fundada en 1854 y que en el estudio de la agricultura protegida lleva cuando menos 30 años de investigación, durante los cuales ha desarrollado importantes avances científico-tecnológicos.

3. SAGARPA (IG): institución del poder ejecutivo federal, encargada del diseño y ejecución de las políticas de apoyo al sector agropecuario. La SEDAGRO-Hidalgo, es la dependencia encargada de la administración pública del estado de Hidalgo que trabajan en coordinación con otras instituciones educativas, sociales y privadas.

4. Extensionistas (Ext): son profesionistas, por lo general ingenieros agrónomos que se ubican en la región, muchos de ellos forman parte de las familias de productores y se dedican a la misma actividad; además se encargan de la transferencia del conocimiento científico-tecnológico relacionado con la actividad productiva.

Para el inicio del análisis quien destaca en el proceso de traducción y mediación tecnológica es el extensionista, que se encarga de articular entidades y dar origen al Actor-Red. Asimismo, de forma directa o indirecta relaciona a la Empresa-Universidad-Gobierno, que articulan a la SAGARPA y la SEDAGRO-Hidalgo (quienes invierten), la UACH (que genera tecnología) y los usuarios (quienes adoptan) (Figura 4a). La interacción de ese pequeño grupo de actores es lo que origina el proceso de transferencia y adopción tecnológica en la región de estudio.

Para 2007, como puede verse en la Figura 4b, la red presenta una estructura de nodos más compleja que integra nuevos actores; los elementos que la componen son más heterogéneos, más especializados (en cuanto a sus funciones) y no solo se ubican a nivel local, sino que trascienden su lugar de creación y se extienden a otras regiones. De esta forma, surgen y se integran nuevas entidades relacionadas con los sistemas productivos regionales.

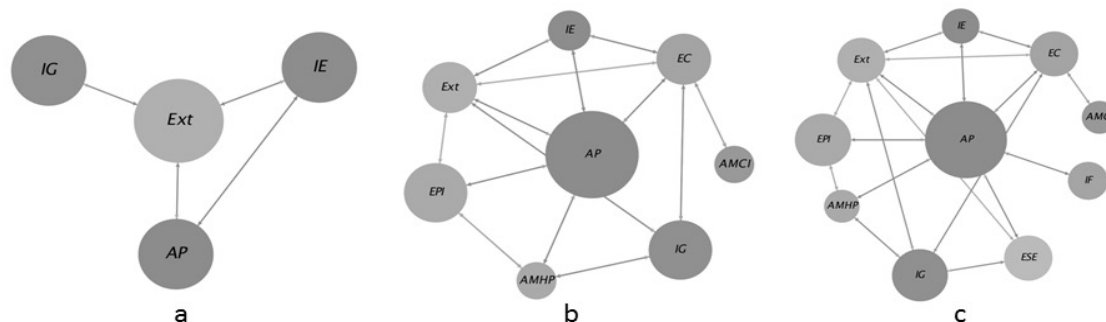
¹⁰Secretariat of Agrarian Reform (SRA), currently Secretariat of Agrarian, Territorial and Urban Development (SEDATU).

¹¹Shared Risk Trust (FIRCO) belonging to SAGARPA, but with its own support programs.

¹²Ministry of the Economy (SE) through the National Support Fund for Companies in Solidarity (FONAES).

Figure 4. Actor-network related to protected agriculture in 1998 (a), 2007 (b) and 2014 (c) in the Tulancingo region, Hgo., Mexico.

Figura 4. Actores-red relacionados a la agricultura protegida en 1998 (a), 2007 (b) y 2014 (c) en la región de Tulancingo, Hgo., México.



production. On the other hand, it is important to emphasize that these actors were the ones who favored the adaptation of the technology to the specific conditions of the territory.

In the last year of analysis of the network, the incorporation of new actors to the production system can be observed (Figure 4c). This is basically due to the difficulties that arose in the region around the Actor-Network, which causes its emergence as an important part for its survival and reproduction.

8. Financial institutions (FI): their emergence in the region is the result of the drop in tomato sales prices in 2011. This situation decapitalized most producers and forced them to apply for loans for the preparation of their production units and for sowing them.

9. Specialized service companies (SSC): in 2012, vegetable production experienced serious problems, as the presence of *Clavibacter michiganensis* subsp. *Michiganensis*, one of the most aggressive bacteria that attack tomato, was detected. This problem led to the need to incorporate specialized services for its identification and control.

In 2011, in response to market pressures, some producer organizations emerged with the aim of entering new national and foreign markets. Also, in response to the importance of the activity in the region, a group of researchers from *Universidad Autónoma Chapingo* (Autonomous Chapingo

5. La Asociación Mexicana de Constructores de Invernaderos A. C. (AMCI) y la Asociación Mexicana de Horticultura Protegida A. C. (AMHP): la primera, encargada de normalizar los procesos de construcción de invernaderos; la segunda, se aboca a facilitar el desarrollo de la agricultura protegida en México.

6. Empresas constructoras de invernaderos (EC): son las empresas dedicadas al desarrollo y construcción de invernaderos. Su importancia radica en que también se encargan de adaptar el diseño de los invernaderos al cultivo y a las condiciones climáticas de la región.

7. Empresas proveedoras de insumos (EPI): este grupo de empresas es indispensable para el sistema de producción, ya que demanda insumos altamente especializados necesarios para su correcto funcionamiento, obtenerlos era muy costoso; además, son difusores importantes de información y tecnologías relacionadas con la actividad.

En esta etapa se integran más instituciones de gobierno que subsidian la construcción de invernaderos (SRA¹⁰, FIRCO¹¹, SE¹², etc.); igual se integra el Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado

¹⁰Secretaría de la Reforma Agraria (SRA) actualmente Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU).

¹¹Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) perteneciente a la SAGARPA, pero con sus propios programas de apoyo.

¹²Secretaría de Economía (SE) a través del Fondo Nacional de Apoyo para las Empresas en Solidaridad (FONAES).

University) and the *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo* (Autonomous University of the State of Hidalgo) are incorporated with the purpose of developing new organizational schemes that would allow producers to market their products in other domestic and international markets. The main function of the incorporation of these actors is related to the management of innovative environments.

Discussion

The process of territorial reconfiguration analyzed through technology is characterized by the influence of global, regional and local changes, where technological change plays a key role in local economic development and socio-cultural and political aspects. The trajectory followed by the development of protected agriculture in the study region occurred through the accumulation of technological changes over time in traditional production systems. These production systems require constant technological improvements for their permanence and reproduction; at the same time, there are continuous processes of creation, transformation and territorial reconfiguration. This is framed in complex processes where technologies are interconnected in systems, and these in turn depend on specific environmental conditions.

In the study region, the predominant activity was rainfed maize production as part of a State-driven agricultural policy (Appendini, 2001). It is possible that technological change was prompted by four main causes, with the first related to the maize crisis that occurred between 1990 and 2000 (Bartra, 2006), which involved the entry of maize producers into the free market without success. In this sense, the development of protected agriculture coincides with the entry into force of the North American Free Trade Agreement in 1994 and the fall in raw material prices in international markets (Schwentesi & Gómez, 2001).

A second factor was the success obtained by businessmen in the north of the country in international markets, which triggered the process of diffusion of protected agriculture to other states of the country until it spread to all of them (García et al., 2011). Thirdly, it came about as part of the State's options in the search for permanence

de Hidalgo (CESAVEH), instancia gubernamental que apoya el manejo fitosanitario y promueve las buenas prácticas agrícolas. La integración en la región de estos tres nuevos actores les confirió a las empresas ventajas comparativas, ya que permitió la reducción de costos de producción. Además, es la primera evidencia de la tendencia a especializarse del territorio en la producción de hortalizas. Por otra parte, es importante resaltar que estos actores fueron los que favorecieron la adaptación de la tecnología a las condiciones específicas del territorio.

En el último año de análisis de la red se puede observar la incorporación de nuevos actores al sistema de producción (Figura 4c). Esto se debe, en lo fundamental, a las dificultades que se presentaron en la región en torno al Actor-Red, lo que origina su emergencia como parte importante para su supervivencia y reproducción.

8. Instituciones financieras (IF): su emergencia en la región es el resultado de la caída de los precios de venta del jitomate ocurrida en 2011. Esta situación descapitalizó a la mayoría de los productores y los obligó a solicitar créditos para el acondicionamiento de sus unidades de producción y para su siembra.

9. Empresas de servicios especializados (ESE): en 2012 la producción de hortalizas presentó fuertes problemas, ya que se detectó la presencia de *Clavibacter michiganensis* subsp. *Michiganensis*, una de las bacterias más agresivas que atacan el cultivo de jitomate. Este problema generó la necesidad de incorporar servicios especializados para su identificación y control.

En 2011, como respuesta a las presiones del mercado surgen algunas organizaciones de productores con el objetivo de incursionar en nuevos mercados nacionales y extranjeros. También, como respuesta a la importancia de la actividad en la región, se incorpora un grupo de investigadores de la Universidad Autónoma Chapingo y la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, con la finalidad de desarrollar nuevos esquemas de organización que permitieran a los productores comercializar sus productos en otros mercados nacionales e internacionales. La principal función de la incorporación de estos actores se relaciona con la gestión de ambientes innovadores.

and competitiveness of the agricultural sector in a stage where globalization and neoliberalism were imposed as the predominant economic model. That is, as an orientation of agricultural policies towards regional specialization with crops of high commercial value in national and international markets. Fourthly, technological change was spurred on by changes in the season and intensity of rainfall and extreme weather conditions that have occurred in the region and the fact that open-field agriculture is very susceptible to these eventualities (Nelson et al., 2009).

This coincides with Geels and Schot (2007), who mention that the reconfiguration of a territory is based on radical innovations that arise to solve local problems. Subsequently, adaptations are initiated, driven mainly by economic issues through the interaction of multiple technologies, so they are not caused by the rupture of one technology, but by the sequences of multiple innovations in search of improving competitiveness, adapting to market demands and complying with regulations.

In other words, there is a kind of cross-fertilization between technological systems (Bellandi & Caloffi, 2010), where one or the other is not substituted or better, but rather they are maintained and evolve in a continuous and parallel manner in the territories. This interaction allows for the reconfiguration needed to adapt to local conditions and find some stability. In this case, its success depended on appropriate relationships between actors who have different functions but share common interests at the local, regional and global levels.

On the other hand, agricultural production is a complex activity that takes place in a space of social relations, and is characterized by a strong family influence of inheritance of knowledge and traditions (Linck, 1991). In this sense, the genealogical construction of technological change develops elements that enable the identification of the leading actors, who are the ones who develop territorial strategies in the face of the prevailing globalized context.

In this case, genealogies suggest that technology is introduced, adapted and reproduced in the territories from two sources of a different nature. On the one hand, through a process of accumulation

Discusión

El proceso de reconfiguración territorial analizado a través de la tecnología se caracteriza por la influencia de cambios globales, regionales y locales; en donde el cambio tecnológico tiene un papel primordial en el desarrollo económico local, los aspectos socioculturales y políticos. La trayectoria que siguió el desarrollo de la agricultura protegida en la región de estudio se dio mediante la acumulación de cambios tecnológicos a través del tiempo en los sistemas de producción tradicionales. Estos sistemas de producción requieren mejoras tecnológicas constantes para su permanencia y reproducción; a la par, se dan procesos continuos de creación, transformación y reconfiguración territorial. Lo anterior enmarcado en procesos complejos donde las tecnologías se interconectan en sistemas, y éstos a su vez, dependen de las condiciones ambientales específicas.

En la región de estudio la actividad predominante era la producción de maíz de temporal como parte de una política agrícola impulsada por el Estado (Appendini, 2001). Es posible que el cambio tecnológico fuera incitado por cuatro causas principales: la primera, relacionada con la crisis maicera que se dio entre 1990 y el 2000 (Bartra, 2006), que implicó la entrada de los productores de maíz al libre mercado sin tener éxito. En este sentido el desarrollo de la agricultura protegida coincide con la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio con América del Norte en 1994 y la caída de los precios de las materias primas en los mercados internacionales (Schwentenius & Gómez, 2001).

La segunda, inducida por efecto del éxito obtenido por los empresarios del norte del país en los mercados internacionales que detonó el proceso de difusión de la agricultura protegida a otros estados del país hasta difundirse en todas las entidades (García et al., 2011). La tercera, como parte de las opciones del Estado en la búsqueda de permanencia y competitividad del sector agrícola en una etapa donde la globalización y el neoliberalismo se imponían como modelo económico predominante. Es decir, como una orientación de las políticas agrícolas hacia la especialización regional con cultivos de alto valor comercial en los mercados nacionales e internacionales. Y la

and recreation of local knowledge that is transmitted to relatives or other producers. On the other hand, by innovative agents that maintained and maintain a close relationship with universities and public institutions.

It is important to highlight the role of extensionists, agents of change and transformation, responsible for developing scientific-technological translation understood as displacement, derivation or mediation (Latour, 2001). In addition, they are the ones who in this sector tend to integrate innovation systems (Howells, 2006), facilitate the interaction of actors, technological change and innovation (Klerkx, Hall, & Leeuwis, 2013) and, at the same time, intervene in research processes (Minh, Friederichsen, Neef, & Hoffmann, 2014).

The importance of the technological leadership of some families in the territory lies in the fact that from this point onwards there is the possibility of productive permanence, of technological multiplicity (repetition) and its change or transformation (differentiation). It also allows us to observe incipiently, perhaps, the emergence of knowledge networks (Casas, 2001; Luna, 2003) or a kind of model close to the so-called triple helix (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000; Leydesdorff & Etzkowitz, 1996), aspects present in the formation of the local family system, although at that moment developed indirectly.

With regard to sociotechnical networks, there is a trend towards increasing their size, with emphasis on actors external to the territory. They are made up of local actors who are indispensable in the construction and consolidation of economic development and, above all, in the adoption and adaptation of technology in the territories. In addition, external actors who are in charge of disseminating new information and technology, as well as their dialogue and interaction, stimulate the expansion and diversification of the territorial economic base.

In this particular case, the sociotechnical network is characterized by its breadth, heterogeneity and clear articulation among actors. Although cooperation and coordination actions among actors are few and sporadic, this network acts as a collective; that is, the actors are becoming aware of

cuarta, por los cambios en la época e intensidad de las lluvias y condiciones climáticas extremas que se han presentado en la región y la agricultura a campo abierto que es muy susceptible ante estas eventualidades (Nelson et al., 2009).

Lo anterior coincide con lo plateado por Geels y Schot (2007) quienes mencionan que la reconfiguración del territorio se da a partir de innovaciones radicales que surgen para resolver problemas locales, posteriormente se inician adaptaciones impulsadas principalmente por cuestiones económicas a través de la interacción de múltiples tecnologías, por lo que no son causados por la ruptura de una tecnología, sino por las secuencias de múltiples innovaciones en busca de mejorar la competitividad, adaptarse a las exigencias del mercado y cumplir con la normatividad.

Es decir, se da una especie de fertilización cruzada entre sistemas tecnológicos (Bellandi & Caloffi, 2010), en donde no se sustituyen ni es mejor uno u otro, sino que se mantienen y evolucionan de manera continua y paralela en los territorios. Esa interacción permite la reconfiguración necesaria para adaptarse a las condiciones locales y encontrar cierta estabilidad. En este caso, su éxito dependió de las relaciones apropiadas entre los actores que tienen funciones distintas pero que comparten intereses comunes a escala local, regional y global.

Por otra parte, la producción agrícola es una actividad compleja que se desarrolla en un espacio de relaciones sociales, y se caracteriza por una fuerte influencia familiar de herencia de saberes, conocimientos y tradiciones (Linck, 1991). En este sentido, la construcción genealógica del cambio tecnológico desarrolla elementos que posibilitan la identificación de los actores líderes, que son quienes desarrollan estrategias territoriales ante el contexto globalizado predominante.

En este caso las genealogías sugieren que la tecnología se introduce, adapta y se reproduce en los territorios a partir de dos fuentes de naturaleza distinta. Por un lado, a partir de un proceso de acumulación y recreación de los saberes locales que se transmiten a familiares o a otros productores. Por el otro, por agentes innovadores que mantenían y mantienen una estrecha relación con universidades e instituciones públicas.

the situations they face and start, as Grossetti (2009) mentions, by drawing borders around their situation.

The nodes that are created between the Actor-Network and the emerging entities seem to extend everywhere in a similar way to that found by Arellano (1998). This suggests thinking of a global entity that nevertheless remains local. Coinciding with Arellano and Ortega (2005), a network is a connection interested in the process, which breaks with the idea of distance and proximity, and allows alluding to the associations and connections of the actors at all levels.

It is evident that these networks do not develop and evolve in isolation, but are interconnected and dependent on each other. These interactions and articulations are what manage and configure the innovation systems as expressed by Freeman (1995) and Lundvall (1992) or sociotechnical systems (Geels, 2004). In this way, through the interaction of the actors, protected agriculture is created, maintained and reconfigured. Likewise, it is evident how protected agriculture attracts and generates more Actor-Networks for its permanence and reproduction. This is a clear example of the importance of the study of human and non-human actors in technological processes (Latour, 2001). In this sense, the evaluation of the production system as a sociotechnical system allows identifying in greater depth how technological change and innovation develop (Fuenfschilling & Truffer, 2014).

Finally, in this case, it is clear how the territory is reconfigured with a trend towards regional agricultural specialization and it is inevitable to think of co-innovation as the basis for system stability and economic and technological sustainability. However, in order to guarantee the sustained success of this activity, it is essential to consider socio-economic aspects, promote organizational and market innovations, and think about collective development schemes (Vargas-Canales et al., 2018). Another aspect to consider is the urgent need to diversify production and, in this sense, some technological proposals have been developed such as intensive fig production systems in greenhouses (Mendoza-Castillo, Vargas-Canales, Calderón-Zavala, Mendoza-Castillo, & Santacruz-Varela, 2017), which could be an excellent alternative for the region.

Es importante destacar el papel de los extensionistas, agentes de cambio y transformación, encargados de desarrollar la traducción científico-tecnológica entendida como el desplazamiento, derivación o mediación (Latour, 2001). Además, son quienes en este sector tienden a integrar los sistemas de innovación (Howells, 2006), facilitan la interacción de los actores, el cambio tecnológico y la innovación (Klerkx, Hall, & Leeuwis, 2013) y, al mismo tiempo, intervienen en procesos de investigación (Minh, Friederichsen, Neef, & Hoffmann, 2014).

La importancia del liderazgo tecnológico de algunas familias en el territorio radica en que a partir de ahí se da la posibilidad de la permanencia productiva; de la multiplicidad tecnológica (repetición) y su cambio o transformación (diferenciación). También permite observar de manera incipiente, tal vez, el surgimiento de redes de conocimiento (Casas, 2001; Luna, 2003) o una especie de modelo cercano a la llamada triple hélice (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000; Leydesdorff & Etzkowitz, 1996) aspectos presentes en la conformación del sistema familiar local, aunque en ese momento desarrolladas de manera indirecta.

En relación con las redes sociotécnicas se observa que hay una tendencia a aumentar su tamaño, con énfasis en actores externos al territorio. Están compuestas por actores locales indispensables en la construcción y consolidación del desarrollo económico y, sobre todo, en la adopción y adaptación de la tecnología en los territorios. Además, actores externos que son quienes se encargan de difundir la nueva información y tecnología, así como su diálogo e interacción, estimulan la expansión y diversificación de la base económica territorial.

En este caso en particular, la red sociotécnica se caracteriza por su amplitud, heterogeneidad y la clara articulación entre actores. A pesar de que las acciones de cooperación y coordinación entre actores son pocas y esporádicas, esta red actúa como un colectivo; es decir, los actores se están volviendo conscientes de las situaciones que enfrentan y comienzan como lo menciona Grossetti (2009), al trazar fronteras en torno a su situación.

Los nodos que se crean entre el Actor-Red y las entidades emergentes parecen extenderse por

Conclusions

The trajectory that the production system has followed is characterized by the accumulation of technological changes in the regional production systems, driven and supported by promotion policies aimed at improving competitiveness. These are developed integrated into complex processes where technologies are interconnected in systems, and these, in turn, depend on specific environmental conditions.

The genealogy of technological leadership shows how technology is introduced, adapted and reproduced in the territories by innovative agents that maintain relations with universities and public institutions. The sociotechnical network is characterized by being broad and heterogeneous, with a clear articulation between actors as a collective. The extensionists in charge of the mediation and harmonization of processes and the creation of links and relations between the actors stand out.

It is evident that the trend towards specialization in the region allowed for the development of protected agriculture. However, for the evolution and permanence of this production system in the market in a sustainable manner, it is necessary to encourage the more active participation of education and research institutions in order to trigger technological innovation. It is advisable to consider an extensionist program that encourages the articulation of all actors, and that promotes productive agglomerations and long-term projects in accordance with individual and collective needs. This will allow the development of external economies, incursion into new markets, diversification of production and the creation of new forms of organization.

To achieve this, it is necessary to promote more inclusive and interactive sociotechnical systems, where not only technical but also economic and social aspects are considered and where co-innovation is the basis for system stability and economic and technological sustainability. Finally, it is important to emphasize that the methodology allows understanding technological change and innovation in agricultural production systems.

todas partes de manera similar a lo encontrado por Arellano (1998). Esto sugiere pensar en una entidad global que no obstante permanece local. Coincidiendo con Arellano y Ortega (2005), una red es una conexión interesada en el proceso, lo que rompe con la idea de distancia y de proximidad, y permite aludir a las asociaciones y conexiones de los actores a todos los niveles.

Es evidente que estas redes no se desarrollan y evolucionan de forma aislada, sino interconectadas y dependientes unas de otras. Estas interacciones y articulaciones son las que van gestionando y configurando los sistemas de innovación a manera de lo expresado por Freeman (1995) y Lundvall (1992) o sistemas sociotécnicos (Geels, 2004). De esta forma, mediante la interacción de los actores, se crea, mantiene y reconfigura la agricultura protegida. Asimismo, se evidencia cómo la agricultura protegida atrae y genera más Actores-Red para su permanencia y reproducción. Esto es una clara muestra de la importancia del estudio de los actores humanos y no humanos en los procesos tecnológicos (Latour, 2001). En ese sentido, la evaluación del sistema de producción como un sistema sociotécnico permite identificar a mayor profundidad cómo se desarrolla el cambio tecnológico e innovación (Fuenfschilling & Truffer, 2014).

Finalmente, en este caso, es clara la forma de cómo se reconfigura el territorio con una tendencia hacia la especialización agrícola regional y es inevitable pensar en la co-innovación como base para la estabilidad del sistema y la sustentabilidad económica y tecnológica. Sin embargo, para garantizar un éxito sostenido de esta actividad es esencial considerar los aspectos socioeconómicos, promover las innovaciones de organización y mercado y, pensar en esquemas de desarrollo colectivo (Vargas-Canales et al., 2018). Otro aspecto por considerar, es la necesidad urgente de diversificar la producción y en ese sentido, se han desarrollado algunas propuestas tecnológicas como los sistemas de producción intensivo de higo en invernadero (Mendoza-Castillo, Vargas-Canales, Calderón-Zavala, Mendoza-Castillo, & Santacruz-Varela, 2017), que podría ser una excelente alternativa para la región.

End of English version

Referencias / Referencias

- Aguilar G. N., Muñoz, R. M., Santoyo, C. V., & Aguilar, Á. J. (2013). *Políticas públicas para el fomento de clústers de horticultura protegida con pequeños productores: Lecciones aprendidas. Reporte de Investigación 93. Reporte de investigación*. México: CIESTAAM/UACH. <https://doi.org/10.13140/2.1.4073.0409>
- Appendini, K. A. (2001). Summary for Policymakers. In Intergovernmental Panel on Climate Change (Ed.), *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis* (pp. 1–30). Cambridge, D. F.: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Arellano, H. A. (1998). La sociología de la ciencia y técnicas en todos sus estados. Conversación con Bruno Latour. *Argumentos: Estudios Críticos de La Sociedad. UAM-X*, (30), 117–128.
- Arellano, H. A. (2007). Capacidades epistemológicas foucaultianas: la posibilidad de los dispositivos tecnocientíficos. *Revista Do Departamento de Psicología. UFF*, 19(1), 13–36. <https://doi.org/10.1590/S0104-80232007000100002>
- Arellano, H. A., & Ortega, P. C. (2005). Las Redes Sociotécnicas en Torno a la Investigación Biotecnológica del Maíz. *Convergencia Revista de Ciencias Sociales*, (38), 255–276.
- Arteaga, A., Medellín, E., & Santos, M. J. (1995). Dimensiones sociales del cambio tecnológico. *Nueva Antropología. Revista de Ciencias Sociales*, 14(47), 9–22. Retrieved from <http://www.juridicas.unam.mx/publica/librev/rev/nuant/cont/47/cnt/cnt1.pdf>
- Bartra, A. (2006). Milpas airadas: hacia la autosuficiencia alimentaria y la soberanía laboral. *México En Transición: Globalismo, Estado y Sociedad Civil* 39–58.
- Bastida, T. A. (2008). *Los Invernaderos en México*. Chapingo., México. Universidad Autónoma Chapingo.
- Bellandi, M., & Caloffi, A. (2010). An Analysis of Regional Policies Promoting Networks for Innovation. *European Planning Studies*, 18(1), 67–82. <https://doi.org/10.1080/09654310903343534>
- Bloor, D. (1991). *Knowledge and Social Imagery*. University of Chicago Press.
- Cáceres, D., Silvett, F., Soto, G., & Rebolledo, W. (1997). La adopción tecnológica en sistemas agropecuarios de pequeños productores. *Agro Sur*, 25(2), 123–135. <https://doi.org/10.4206/agrosur.1997.v25n2-01>
- Callon, M. (1986). Eléments pour une sociologie de la traduction. La domestication des coquilles Saint-Jacques et des marins-pêcheurs dans la baie de Saint-Brieuc. *L'année Sociologique*.

Conclusiones

La trayectoria que ha seguido el sistema de producción se caracteriza por la acumulación de cambios tecnológicos en los sistemas regionales de producción, impulsados y apoyados por las políticas de fomento en busca de mejorar la competitividad. Éstos se desarrollan integrados a procesos complejos donde las tecnologías se interconectan en sistemas, y éstos a su vez, dependen de las condiciones ambientales específicas.

La genealogía del liderazgo tecnológico muestra cómo la tecnología se introduce, se adapta y se reproduce en los territorios por agentes innovadores que mantienen relación con universidades e instituciones públicas. La red sociotécnica se caracteriza por ser amplia, heterogénea, con una clara articulación entre actores como un colectivo. Destacan los extensionistas que se encargan de la mediación y armonización de procesos y de la creación de vínculos y relaciones entre los actores.

Es evidente que la tendencia hacia la especialización de la región permitió el desarrollo de la agricultura protegida. Sin embargo, para la evolución y permanencia de este sistema de producción en el mercado de forma sostenible, es necesario fomentar la participación más activa de las instituciones de educación e investigación para detonar la innovación tecnológica. Es conveniente considerar un programa de extensionismo que promueva la articulación de todos los actores, que impulse las aglomeraciones productivas y proyectos a largo plazo de acuerdo con las necesidades individuales y colectivas. Lo que permitirá desarrollar economías externas, incursionar en nuevos mercados, diversificar la producción y crear nuevas formas de organización.

Para lograrlo, es necesario impulsar sistemas sociotécnicos más inclusivos e interactivos, en donde se consideren no sólo aspectos técnicos sino también económicos y sociales y donde la co-innovación sea la base para la estabilidad del sistema y la sustentabilidad económica y tecnológica. Finalmente, es importante resaltar que la metodología permite entender el cambio tecnológico y la innovación en los sistemas de producción agrícola.

Fin de la versión en español

- Capdevielle, M. (2005). Globalización, especialización y heterogeneidad estructural en México. In M. Cimoli (Ed.), *Heterogeneidad estructural, asimetrías tecnológicas y crecimiento en América Latina* (pp. 101–126). Santiago de Chile. Retrieved from [internal-pdf://lcw35e-3602887506/LCW35e.pdf](http://www.cepal.org/publicaciones/xml/0/27320/LCW35e.pdf) <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/0/27320/LCW35e.pdf>
- Casas, R. (2001). *La formación de redes de conocimiento: una perspectiva regional desde México*. Anthropos Editorial.
- Castañeda-Miranda, R., Ventura-Ramos, E., Peniche-Vera, R. del R., & Herrera-Ruiz G. (2007). Análisis y simulación del modelo físico de un invernadero bajo condiciones climáticas de la región central de México. *Agrociencia*, 41(3), 317–335.
- Chavalier, F. (1985). *La formación de los latifundios en México*. México.
- Chavalier, F. (2007). Orígenes y elaboración de la formación de los grandes latifundios en México. Tierra y sociedad en los siglos XVI y XVII. *Investigaciones Sociales*, (18), 499–508.
- Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (2011). Absorptive Capacity: A New Perspective on and Innovation Learning. *Administrative Science Quarterly*, 35(1), 128–152.
- Costa, P., & Giacomelli, G. (2005). Los planes del éxito. Agricultura protegida: productividad basada en el nivel tecnológico. *Productores de Hortalizas Para Centroamérica (USA)*, 7(1), 42–44.
- Custer, R. L. (1995). Examining the dimensions of technology. *International Journal of Technology and Design Education*, 5(3), 219–244.
- Damián, H. M. Á., Ramírez, B., Parra, I. F., Paredes S., J., Muñoz A., G., Olguín L., J., & León A. C. (2007). Tecnología agrícola y territorio: el caso de los productores de maíz de Tlaxcala, México. *Investigaciones Geográficas*, 63(63), 36–55.
- Davinson, P. G. (2006). *Herramientas de Investigación Social. Guía Práctica del Método Genealógico*. México.
- Domènech, A. M., & Tirado, S. F. (2009). El problema de la materialidad en los estudios de la ciencia y la tecnología. In G. Gatti, I. Martínez de Albéniz, & B. Tejerina (Eds.), *Tecnología, Cultura Experta E Identidad En La Sociedad Del Conocimiento*. Servicio editorial de la Universidad del País Vasco, Bilbao. (pp. 25–52).
- Dorfman, A. (1993). Tecnología e innovaciones tecnológicas. Algunas acotaciones. Tecnología. *Realidad Económica (Buenos Aires)*, (116), 120–127. Retrieved from <http://biblat.unam.mx/es/revista/realidad-economica-buenos-aires/articulo/tecnologia-e-innovaciones-tecnologicas-algunas-acotaciones-tecnologia>
- Enoch, H. Z., & Enoch, Y. (1999). The history and geography of the greenhouse. In G. Stanhil & H. Z. Enoch (Eds.), *Greenhouse Ecosystems. Ecosystems of the World 20*. (pp. 1–15). Amsterdam.
- Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). The dynamics of innovation: from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university–industry–government relations. *Research Policy*, 29(2), 109–123. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00055-4](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00055-4)
- Freeman, C. (1995). The “National System of Innovation” in historical perspective. *Cambridge Journal of Economics*, 19, 5–24.
- Fuenfschilling, L., & Truffer, B. (2014). The structuration of socio-technical regimes - Conceptual foundations from institutional theory. *Research Policy*, 43(4), 772–791. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2013.10.010>
- García, V. N., Valk Van der, O., & Elings, A. (2011). *Mexican protected horticulture Production and market of Mexican protected horticulture described and analysed. Rapport GTB-1126*. The Hague, Netherlands: Wageningen Academic Publishers.
- Garnaud, J. C. (1995). El estado del arte de la plasticultura. *Horticultura Internacional*, 7(7), 17–23. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=36445048&lang=es&site=ehost-live>
- Geels, F. W. (2004). From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research Policy*, 33(6–7), 897–920. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2004.01.015>
- Geels, F. W., & Schot, J. (2007). Typology of sociotechnical transition pathways. *Research Policy*, 36(3), 399–417. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.01.003>
- Gordo, A. J., & Serrano, A. (2008). *Estrategias y prácticas cualitativas de investigación social*. Madrid.
- Grossetti, M. (2009). ¿Qué es una relación social? Un conjunto de mediaciones diádicas. *REDES-Revista Hispana Para El Análisis de Redes Sociales*, 6(2), 44–62.
- Herrera, T. (2006). Innovaciones tecnológicas en la agricultura empresarial mexicana. Una aproximación teórica. *Gaceta Laboral*, 12(1), 93–119. Retrieved from http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-85972006000100005&lng=es&nrm=iso%3E. ISSN 1315-8597.
- Howells, J. (2006). Intermediation and the role of intermediaries in innovation. *Research Policy*, 35(5), 715–728. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2006.03.005>

- INEGI. (2014). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Retrieved from <http://www.inegi.org.mx> esta cita no aparece en el texto
- Klerkx, L., Hall A., & Leeuwis, C. (2013). Fortalecimiento de la capacidad de innovación agrícola: ¿los gestores sistémicos de innovación son la respuesta? *Escalando Innovaciones Rurales*, 87.
- Latour, B. (2001). *La esperanza de Pandora: Ensayos sobre la realidad de los estudios de la ciencia*. Barcelona. Gedisa.
- Latour, B. (2005). *Reassembling the social*. Oxford, London. Oxford University Press.
- Latour, B. (2007). *Nunca fuimos modernos: Ensayo de antropología simétrica*. Buenos Aires, Argentina: Siglo XXI.
- Leydesdorff, L., & Etzkowitz, H. (1996). Emergence of a triple helix of university-industry-government relations. *Science and Public Policy*, 23(5), 279–286. <https://doi.org/10.1093/spp/23.5.279>
- Linck, T. (1991). El trabajo campesino. *Argumentos*, 13.
- Llanos-Hernández, L. (2010). El concepto del territorio y la investigación en las ciencias sociales. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 207–220. Retrieved from <http://www.colpos.mx/asyd/volumen7/numero3/asd-10-001.pdf>
- Luna, M. (2003). *Itinerarios del conocimiento: formas, dinámicas y contenido: un enfoque de redes*. (Editorial Anthropos, Ed.). México, D. F. Anthropos.
- Lundvall, B. Å. (1992). *National systems of Innovation: Towards a theory of interactive learning*. (P. London, Ed.).
- Mendoza-Castillo, V. M., Vargas-Canales, J. M., Calderón-Zavala, G., Mendoza-Castillo, M. del C., & Santacruz-Varela, A. (2017). Intensive production systems of fig (*Ficus carica* L.) under greenhouse conditions. *Experimental Agriculture*, 53(3), 339–350. <https://doi.org/10.1017/S0014479716000405>
- Minh, T. T., Friederichsen, R., Neef, A., & Hoffmann, V. (2014). Niche action and system harmonization for institutional change: Prospects for demand-driven agricultural extension in Vietnam. *Journal of Rural Studies*, 36, 273–284. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2014.09.008>
- Moreno, R. A., Aguilar, D. J., & Luévano, G. A. (2011). Características de la agricultura protegida y su entorno en México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 15(29), 763–774.
- Muñoz, R. M., Rendón M., R., Aguilar A., J., García M., J., & Altamirano C., J. (2004). *Redes de Innovación: un acercamiento a su identificación, análisis y gestión para el desarrollo rural*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Murdoch, J. (2000). Networks - A new paradigm of rural development? *Journal of Rural Studies*, 16(4), 407–419. [https://doi.org/10.1016/S0743-0167\(00\)00022-X](https://doi.org/10.1016/S0743-0167(00)00022-X)
- Nelson, G. C., Rosegrant M., W., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., & Lee, D. (2009). *Cambio climático: el impacto en la agricultura y los costos de adaptación*. IFPRI.
- Pacheco, A. A. (2008). Fundamentos técnicos para el diseño y construcción de invernaderos. *2000Ago*, 51, 12–16.
- Pérez, C. (2001). Cambio tecnológico y oportunidades de desarrollo como blanco móvil. *Revista de La CEPAL*, 75, 115–136.
- Pimienta, L. R. (2000). Encuestas probabilísticas vs no probabilísticas. *Política y Cultura*, (13), 263–276.
- Plan Nacional de Desarrollo (2007). *Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012. Gobierno de la República. Diario Oficial de la Federación*. Retrieved from <http://pnd.calderon.presidencia.gob.mx/index.php?page=documentos-pdf>
- Pujol, A. J., & Fernández P., L. (2001). El cambio tecnológico en la historia agraria de la España contemporánea. *Historia Agraria*, (24), 59–86.
- Rivers, W. H. R. (1975). El método genealógico de la investigación antropológica. In J. Llobera (Ed.), *La Antropología Como Ciencia*. (pp. 85–96). Barcelona, España. Editorial Anagrama.
- Schwentenius, R. R., & Gómez C., M. (2001). El TLCAN y el sector agroalimentario de México. *Comercio Exterior*, 51(6), 545–554.
- Serres, M. (1980). *Le Parasite*. París.
- SIAP. (2013). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. *Boletín semanal del SIAP de la SAGARPA*. 2.
- Thomas, H. (2010). Los estudios sociales de la tecnología en América Latina. *Íconos - Revista de Ciencias Sociales*, (37), 35–53. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3319094>
- Thomas, H., & Gianella, C. (2006). Trayectorias de aprendizaje y dinámicas de resolución de problemas en instituciones latinoamericanas de generación y transferencia de conocimientos científicos y tecnológicos. *Espacios*, 27(2).
- Tirado, F., López, D., Callén, B., & Domènech, M. (2008). La producción de fiabilidad en entornos altamente tecnificados. Apuntes etnográficos sobre un servicio de teleasistencia domiciliaria. *Papeles Del CEIC*.

- International Journal on Collective Identity Research*, 2008(2), 1–28. Retrieved from <http://www.ehu.eus/ojs/index.php/papelesCEIC/article/view/12229>
- Vargas-Canales, J. M., Castillo-González, A. M., Pineda-Pineda, J., Ramírez-Arias, J. A., & Avitia-García, E. (2014). Nutrient extraction of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in mixtures of volcanic rock with fresh and recycled sawdust. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 20(1), 71–88. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2013.02.005>
- Vargas-Canales, J. M., Palacios-Rangel, M. I., Aguilar-Ávila, J., & Ocampo-Ledesma, J. (2016). *Cambio tecnológico e innovación en agricultura protegida en Hidalgo, México*. Universidad Autónoma Chapingo. Retrieved from <http://ciestaam.edu.mx/cambio-tecnologico-e-innovacion-en-agricultura-protegida-en-hidalgo-mexico/>
- Vargas-Canales, J. M., Palacios-Rangel, M. I., Aguilar-Ávila, J., Ocampo-Ledesma, J., & Medina-Cuellar, S. E. (2018). Efficiency of small enterprises of protected agriculture in the adoption of innovations in Mexico. *Estudios Gerenciales*, 34(146), 52–62. <https://doi.org/10.18046/j.estger.2018.146.2811>
- Vargas Canales, J. M., Palacios Rangel, M. I., Camacho Vera, J. H., Aguilar Ávila, J., & Ocampo Ledesma, J. G. (2015). Factores de innovación en agricultura protegida en la región de Tulancingo, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(4), 827–840.