

FACTORES QUE DETERMINAN LOS RENDIMIENTOS DE LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN MÉXICO: EVIDENCIA DEL CENSO AGROPECUARIO 2007

FACTORS THAT DETERMINE THE MAIZE PRODUCTION YIELDS IN MEXICO: EVIDENCE FROM THE 2007 AGRICULTURE AND LIVESTOCK CENSUS

Sheila Cadet-Díaz¹, Santiago Guerrero-Escobar²

¹Banco de México. Av. 5 de Mayo No. 18, Col. Centro, México, CDMX. (shcadet@banxico.org.mx) ²Dirección Nacional de Medio Ambiente. Galicia 1133, Montevideo, Uruguay. (sguerreroe@gmail.com)

RESUMEN

En este artículo se hace una descripción de la evolución de los rendimientos de la producción de maíz en México. Se compara con la evolución de los rendimientos en otros países productores y se derivan los principales factores que determinan los rendimientos de maíz, a través de un análisis econométrico. Dicho análisis se realiza con datos del Censo Agropecuario 2007 a nivel de municipio de las unidades económicas que reportaron producir maíz y consiste en una estimación lineal con datos de sección cruzada de los rendimientos de las unidades económicas como función de variables tecnológicas, crediticias, socioeconómicas, geográficas y climáticas, controlando por *dummies* de ciclo productivo y entidad federativa. Los resultados apuntan a que el uso de semillas mejoradas, insecticidas, el acceso al crédito y el riego son las variables que tienen una mayor correlación con los rendimientos de la producción de maíz en México.

Palabras clave: crédito, rendimientos del maíz, riego, semilla mejorada.

INTRODUCCIÓN

En general, no solo en tiempos prehispánicos, sino también hasta mediados del siglo XX, los procesos de mejoramiento de semillas de maíz con los que se incrementaban los rendimientos eran de largo plazo³. Esta tendencia se modificó a partir de 1960, donde en un periodo de 25 años los rendimientos agrícolas mundiales se duplicaron (Hazell, 2009).

Dicho incremento en los rendimientos se explica por la “Revolución Verde” proceso que comenzó en la

ABSTRACT

This article presents a description of the evolution of the maize production yields in Mexico. It is compared with the evolution of yields in other producer countries and the main factors that define the maize yields are derived, through an econometric analysis. This analysis is carried out with data from the 2007 Agriculture and Livestock census at the level of municipality of the economic units that reported producing maize and consists of a linear estimation with cross-section data of the yields in economic units as function of technological, credit, socioeconomic, geographic and climate variables, controlling for dummies of productive cycle and state. The results point to the use of improved seeds, insecticides, access to credit and irrigation as the variables that have highest correlation with the yields in maize production in Mexico.

Key words: credit, maize yields, irrigation, improved seed.

INTRODUCTION

In general, not only in Pre-Hispanic times but also until the middle of the 20th century, the processes of improvement of maize seed with which the yields were increased were long term³. This trend was modified since 1960, where in a period of 25 years the global agricultural yields doubled (Hazell, 2009).

This increase in the yields is explained by the “Green Revolution”, process that began in the decade of the 1970s, driven because some developing countries experienced famines and increases in malnutrition (Hazell, 2009), which led the Rockefeller and Ford foundations to promote a program of research and development of agricultural technologies focused on increasing the wheat, rice and maize yields, primarily. The development of new varieties of wheat, rice and maize generated by investments in agricultural

* Autor responsable ✦ Author for correspondence.

Recibido: marzo, 2015. Aprobado: agosto, 2017.

Publicado como ARTÍCULO en ASyD 15: 311-337. 2018.

década de los sesenta, impulsado debido a que algunos países en desarrollo experimentaron hambrunas e incrementos en malnutrición (Hazell, 2009), lo que llevó a las fundaciones Rockefeller y Ford a promover un programa de investigación y desarrollo de tecnologías agrícolas enfocadas a incrementar los rendimientos de trigo, arroz y maíz, principalmente. Al desarrollo de nuevas variedades de trigo, arroz y maíz generado por las inversiones en investigación agrícola mencionadas, aunado a la aplicación más generalizada de fertilizantes, insecticidas, maquinaria y crédito para adquirir insumos se le conoce como la “Revolución Verde” (Borlaug, 1972)⁴.

A pesar de que gran parte del desarrollo de las tecnologías de cultivo de la Revolución Verde se realizaron en México, los rendimientos en el país se mantuvieron rezagados respecto a otros países. El Cuadro 1 compara los rendimientos promedio por década entre México y otros países y regiones del mundo. En él se observa que en la década de los sesenta los países de la Unión Europea y los Estados Unidos de Norteamérica contaban con rendimientos superiores a dos toneladas por hectárea en el cultivo del grano, mientras que diversos países en desarrollo, incluyendo México, no lograban llegar a dicha cifra⁵. No solo México no fue capaz de incrementar sus rendimientos en la década de los sesenta; en la década del 2000 tuvo un rendimiento promedio menor que otros países en desarrollo relevantes en la producción del grano, como China, Brasil y Argentina.

Este artículo tiene como objetivo principal tratar de arrojar luz sobre distintos factores, tanto tecnológicos como de política agropecuaria que puedan estar correlacionadas con los rendimientos del maíz en México en 2007. Con ello se pretende informar a los hacedores de política pública sobre aquellos factores que determinan en mayor medida los rendimientos del maíz.

En la literatura existen diversos estudios que, por medio de modelos econométricos, intentan medir el impacto de variables climáticas, socioeconómicas y tecnológicas para Estados Unidos (Kaufmann y Snell, 1997) o medir impactos potenciales del cambio climático sobre los rendimientos agrícolas en Estados Unidos (Schlenker y Roberts, 2006) y en México (Olivera, 2013). Sin embargo, para México no se encuentran estudios que relacionen directamente el impacto de diversas variables tecnológicas y de políticas agropecuarias sobre los rendimientos de maíz. En este estudio se realiza un ejercicio econométrico similar al realizado por Kaufmann y Snell, 1997, por medio del cual los rendimientos promedio por municipio se

research mentioned, in addition to the more generalized application of fertilizers, insecticides, machinery and credit to acquire inputs, is known as the “Green Revolution” (Borlaug, 1972)⁴.

Although a great part of the development of cultivation technologies in the Green Revolution were carried out in Mexico, the country’s yields remained laggard with regards to other countries. Table 1 compares the average yields per decade between Mexico and other countries and regions of the world. It shows that in the 1960s the countries of the European Union and the United States of North America had yields higher than two tons per hectare in grain cultivation, while various developing countries, including Mexico, did not manage to achieve this figure⁵. It wasn’t only Mexico that was not able to increase its yields in the decade of the 1970s; in the 2000s it had lower average yield than other relevant developing countries in grain production, such as China, Brazil and Argentina.

This article has the main objective of trying to shed light on different factors, both technological and of agriculture and livestock policy that may be correlated with maize yields in Mexico in 2007. With this, we attempt to inform public policy makers about the factors that define to a large extent the maize yields.

In the literature there are various studies that attempt to measure, by way of econometric models, the impact of climate, socioeconomic and technological variables for the United States (Kaufmann and Snell, 1997) or to measure potential impacts of climate change on agricultural yields in the United States (Schlenker and Roberts, 2006) and in Mexico (Olivera, 2013). However, for Mexico there are no studies available that directly relate the impact of various technological variables and agriculture and livestock policies on maize yields. In this study an econometric exercise is performed that is similar to the one carried out by Kaufmann and Snell (1997), through which the average yields per municipality are estimated as a function of technological, geographic and socioeconomic variables, using data from the Agriculture and Livestock Census 2007. The econometric model used does not attempt to establish causal relations, but rather to show correlations between diverse variables and the average yields of the economic units in each municipality of the country. Additionally,

estiman como función de variables tecnológicas, geográficas y socioeconómicas, utilizando datos del Censo Agropecuario 2007. El modelo econométrico utilizado no pretende establecer relaciones causales, sino más bien mostrar correlaciones entre diversas variables y los rendimientos promedio de las unidades económicas en cada municipio del país. Adicionalmente se contextualizan los procesos económicos y tecnológicos que influyeron históricamente en la evolución de los rendimientos de la producción de maíz, tanto en México como en otras naciones en desarrollo productoras de maíz.

Los resultados apuntan a que las variables que se asocian positivamente con los rendimientos son principalmente las de carácter tecnológico y de acceso al crédito. En particular, aquellas unidades productivas que reportaron haber utilizado semilla mejorada⁶, tenido un crédito o haber utilizado insecticidas reportan mayores rendimientos: un incremento de 10 % en el uso o acceso de dichas variables está correlacionado con un incremento del rendimiento del cultivo en 0.35, 0.31 y 0.25 toneladas por hectárea, respectivamente, lo cual representaría un aumento de 12.2 %, 10.8 % y 8.7 % del rendimiento promedio nacional. En términos del crédito, resulta con un mayor nivel de asociación el crédito refaccionario con los rendimientos, el cual se utiliza para financiar la adquisición de activos fijos. Finalmente no se encontraron efectos importantes del uso de fertilizantes ni del Programa de Apoyos Directos al Campo (PROCAMPO).

El artículo se organiza de la siguiente manera: la Sección 1 discute la evolución de los rendimientos del maíz en diversas naciones productoras, incluyendo México, haciendo énfasis en las políticas agropecuarias que incidieron en los mismos; la Sección 2 muestra una revisión de la literatura sobre el tema; la Sección 3 detalla los datos y el método econométrico; la Sección 4 discute los resultados; y la Sección 5 presenta las conclusiones.

RENDIMIENTOS DE MAÍZ EN NACIONES EMERGENTES

Los Rendimientos de maíz en países en desarrollo

Desde 1960, las diferencias en las trayectorias de los rendimientos de maíz que han seguido los diferentes países obedecen a factores socioeconómicos y geográficos. En China, el rendimiento promedio de la década los ochenta superó las tres toneladas por

the economic and technological processes that influenced historically the evolution of the yields in maize production are contextualized, both in Mexico and in other developing nations that produce maize.

The results point to the fact that variables which associate positively with the yields are primarily those of technological nature and access to credit. In particular, those productive units that report having used improved seed⁶, having a credit, or having used insecticides report higher yields: an increase of 10 % in the use or access of those variables is correlated with an increase in the yield of the crop in 0.35, 0.31 and 0.25 tons per hectare, respectively, which would represent an increase of 12.2 %, 10.8 % and 8.7 % in the average domestic yield. In terms of credit, investment credit is the one with highest level of association with yields, which is used to finance the acquisition of fixed assets. Finally, no important effects were found from the use of fertilizers or in the Program of Direct Supports to the Farmland (*Programa de Apoyos Directos al Campo*, PROCAMPO).

The article is organized in the following way: Section 1 argues the evolution of the maize yields in various producing nations, including Mexico, emphasizing the agriculture and livestock policies that had an impact on them; Section 2 shows a literature review on the subject; Section 3 specifies the data and the econometric method; Section 4 discusses the results; and Section 5 presents the conclusions.

MAIZE YIELDS IN EMERGING NATIONS

Maize yields in developing countries

Since 1960, the differences in the trajectories of maize yields that different countries have followed respond to socioeconomic and geographic factors. In China, the average yield in the 1980s exceeded the three tons per hectare (Table 1), which was associated to the changes in agrarian and technological policies. In this decade, the system of communes in effect since 1950 was replaced by the system of family responsibility, with which the peasant in family farms produced and sold his harvest to the state through contracts (McMillan *et al.*, 1989; Fan, 1991; Lin, 1992; Salvador, 2008). Additionally, research institutes were allowed to self-finance through the sale of applied technology (Pray *et al.*, 1997), with

hectárea (Cuadro 1), lo cual se asoció a los cambios en las políticas agrarias y tecnológicas. En esta década se reemplazó el sistema de comunas vigente desde 1950 por el de responsabilidad familiar, con el que el campesino en granjas familiares producía y vendía al estado su cosecha por medio de contratos (McMillan *et al.*, 1989; Fan, 1991; Lin, 1992; Salvador, 2008). Adicionalmente, se permitió que los institutos de investigación se autofinanciaran mediante la venta de tecnología aplicada (Pray *et al.*, 1997), con lo que se fomentó la investigación agrícola y se establecieron sistemas agronómicos altamente productivos gracias al riego (Wang, 2000). Ello permitió que a finales de los años noventa China se convirtiera en líder mundial en biotecnología agraria, siendo uno de los países con mayor inversión en investigación y desarrollo rural en el mundo (Huang y Rozelle, 2009).

En Argentina, a partir de la década de los noventa se dio un cambio estructural en el sector agrícola, debido al avance tecnológico, al surgimiento de nuevas formas de organización entre productores y proveedores, y a los cambios en política económica y fiscal, con lo que se logró obtener rendimientos para el maíz por encima de las cuatro toneladas por hectárea (Cuadro 1). Los “pools de siembra” surgieron como nuevas formas de organización que lograban acuerdos para que los productores se encargaran de realizar las labores de campo, mientras que los proveedores otorgaban recursos técnicos, financiamiento y transporte, con la finalidad de generar economías de escala y altos rendimientos, permitiendo que al final de la cosecha las ganancias se distribuyeran (World Bank, 2006; Sturzenegger y Salazni, 2007; Lence, 2010).

El aumento en los rendimientos del maíz argentino se debió a diversos factores como la inversión

which agricultural research was fostered and highly productive agronomic systems were established thanks to irrigation (Wang, 2000). This allowed for China to become global leader in agrarian biotechnology by the end of the 1990s, being one of the countries with highest investment in rural research and development in the world (Huang and Rozelle, 2009).

In Argentina, since the decade of the 1990s a structural change of the agricultural sector took place, due to the technological advancement, the emergence of new forms of organization between producers and suppliers, and to the changes in economic and fiscal policy, with which it was managed to obtain maize yields of more than four tons per hectare (Table 1). The “sowing pools” arose as new forms of organization that attained agreements for producers to be in charge of performing farming tasks, while the suppliers granted technical resources, financing and transport, with the aim of generating scale economies and high yields, allowing for earnings to be distributed at the end of the harvest (World Bank, 2006; Sturzenegger and Salazni, 2007; Lence, 2010).

The increase in maize yields in Argentina was due to diverse factors such as investment in research and development by transnational agricultural companies, as well as the increase in use of fertilizers, the incorporation of supplementary irrigation, and the renovation of machinery and equipment, culminating with the adoption of transgenic seeds since the 1998/1999 cycle (Gear, 2006; Gutman and Lavarello, 2007). This was possible, to a large extent, because of the free trade policy that reduced the imports tariffs on inputs and fixed assets,

Cuadro 1. Rendimientos promedio de maíz por periodo.
Table 1. Average maize yields per period.

	Cifras en toneladas por hectárea				
	1961-1969	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2012
EE. UU.	4.5	5.6	6.6	7.7	9.2
México	1.1	1.3	1.8	2.3	3.0
Unión Europea	2.6	3.9	5.2	5.7	6.6
Mundo	2.2	2.8	3.4	4.0	4.8
China	1.6	2.4	3.6	4.8	5.2
India	1.0	1.1	1.3	1.6	2.1
Brasil	1.3	1.5	1.8	2.4	3.7
Argentina	1.9	2.7	3.3	4.5	6.5

Fuente: elaboración propia con base en los datos de la División de Estadística de la FAO (FAOSTAT). ♦ Source: authors' elaboration based on the data from the Statistics Division of the FAO (FAOSTAT).

en investigación y desarrollo por parte de empresas agroquímicas transnacionales, así como el incremento en el uso de fertilizantes, incorporación del riego complementario y la renovación de maquinaria y equipo, culminando con la adopción de semillas transgénicas a partir del ciclo 1998/1999 (Gear, 2006; Gutman y Lavarello, 2007). Lo anterior fue posible, en gran medida, debido a la política de libre comercio que redujo las tarifas de importación de insumos y de activos fijos, lo cual, a su vez, permitió una mayor flexibilidad en la comercialización de los cultivos (Lence, 2010).

En Brasil, los cambios significativos en los rendimientos iniciaron a partir de 1990, década en la que la política comercial permitió mayor acceso a los mercados internacionales, en la cual se realizaron fuertes inversiones en infraestructura e investigación agrícola y un fortalecimiento del sector privado en el sector agropecuario (Rosegrant *et al.*, 2006). También en la década de los noventa, en el sector agrícola se presentaron mejoras en los rendimientos de distintos cultivos derivado de la investigación y desarrollo que impulsó EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), instituto encargado de la investigación agrícola, tanto en instituciones locales como estatales. Este impulso permitió que los centros de investigación tuvieran presencia nacional y pudieran desarrollar nuevas variedades de semillas de diversos cultivos, entre ellos, el maíz (Magalhaes y Diao, 2009).

En 2008/2009, aproximadamente diez años posteriores al caso argentino, se aprobó la siembra de maíz transgénico, lo cual indujo un incremento en la tendencia de los rendimientos, tal como sucedió en Argentina (Parentoni *et al.*, 2013).

En resumen, los incrementos en rendimientos de maíz en los principales países en desarrollo están ligados a: 1) políticas comerciales, con las cuales se pudo acceder a mercados externos, tanto para exportar como para importar insumos; 2) investigación y desarrollo aplicados a la agricultura, así como a la adopción de semillas transgénicas; y 3) fortalecimiento de las cadenas comerciales, coordinadas por el estado en el caso de China y fomentadas de manera privada en el caso de Argentina y Brasil.

Los rendimientos de maíz en México

El maíz es un cultivo originario de México. Los primeros vestigios de la planta, llamados *teocintle*, se encontraron en Tehuacán, Puebla y tienen una antigüedad de entre 4500 y 7000 años (McClung

which, in turn, allowed a greater flexibility in the commercialization of the crops (Lence, 2010).

In Brazil, the significant changes in yields began since the 1990s, decade when the trade policy allowed greater access to international markets, during which strong investments were made on infrastructure and agricultural research and a strengthening of the private sector in the agriculture and livestock sector (Rosegrant *et al.*, 2006). Also in the 1990s, improvements took place in the yields of different crops derived from the research and development that EMBRAPA (*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*) fostered, institute in charge of agricultural research, both in local and state institutions. This drive allowed for research centers to have a national presence and to develop new varieties of seeds of various crops, among them, maize (Magalhaes and Diao, 2009).

In 2008/2009, approximately ten years after the Argentinian case, the sowing of transgenic maize was approved, which led to an increase in the yields' trend, as had happened in Argentina (Parentoni *et al.*, 2013).

In sum, the increases in maize yields in the main developing countries are linked to: 1) trade policies, with which there was access to external markets, both to export and to import inputs; 2) research and development applied to agriculture, as well as the adoption of transgenic seeds; and 3) strengthening of commercial chains, coordinated by the state in the case of China and promoted privately in the case of Argentina and Brazil.

Maize yields in Mexico

Maize is a crop native to Mexico. The first vestiges of the plant, called *teocintle*, were found in Tehuacán, Puebla, and have an age of between 4500 and 7000 years (McClung de Tapia, 1997). The creation of maize varieties with higher yields, more resistant and apt to be sown in different climates was a process that took Pre-Hispanic peoples thousands of years. This process involved seed selection, sowing techniques, and its cultivation in different climates (Benz, 1997). Presently, there are more than forty maize races and hundreds of varieties.

In Mexico, in the 1970s and beginning of the 1980s, the state was the promoter of agricultural and livestock activity, so that institutions were created in

de Tapia, 1997). La creación de variedades de maíz con mayores rendimientos, más resistentes y aptas para sembrarse en diferentes climas fue un proceso que tomó a los pueblos prehispánicos miles de años. Este proceso involucró selección de semillas, técnicas de siembra y su cultivo en diferentes climas (Benz, 1997). Actualmente se cuenta con más de cuarenta razas de maíz y centenares de variedades.

En México, en los años setenta y principios de los ochenta, el estado fue el promotor de la actividad agropecuaria, de tal forma que se crearon instituciones a favor de los productores agrícolas que contaban con una infraestructura gubernamental que realizaba el acopio, almacenamiento, comercialización y distribución de granos; asimismo, existían grandes subsidios tanto a los productores como a los consumidores del maíz y sus derivados. Ante las fluctuaciones climáticas y la escasa transferencia de tecnología surgieron los precios de garantía para fomentar la producción, lo que incrementó de manera importante el gasto público, por lo que a finales de los años ochenta y en la década de los noventa se realizaron reformas económicas y constitucionales que liberalizaron diversos sectores de la economía, entre ellos el agropecuario, con lo que el gobierno dejó de jugar un rol prominente en la comercialización de los productos agropecuarios se eliminaron los precios de garantía y los subsidios se desacoplaron (Appendini, 2005).

En México, las políticas comerciales que liberalizaron el mercado del maíz con la entrada del TLCAN en 1994 no parecen haber generado un incremento importante en el promedio de los rendimientos del maíz a nivel nacional (Figura 1).

Sin embargo, existe gran heterogeneidad en los rendimientos a nivel regional, donde los rendimientos más altos se concentran en el noroeste y bajío del país, situación que contrasta con las regiones centro y sur, donde en algunos estados los rendimientos promedio no rebasaron las tres toneladas por hectárea en el periodo comprendido entre 2000 y 2010 (Figura 2).

Según los datos del Censo Agropecuario 2007 publicado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) se cuentan con más de dos millones de productores dedicados al cultivo del maíz. Es importante mencionar que es el último que el INEGI ha levantado a la fecha de la realización de este estudio, mientras que el Censo Agropecuario previo data de 1991.

De acuerdo con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP)⁷ y de la División de Estadística de la Organización de las Naciones Unidas

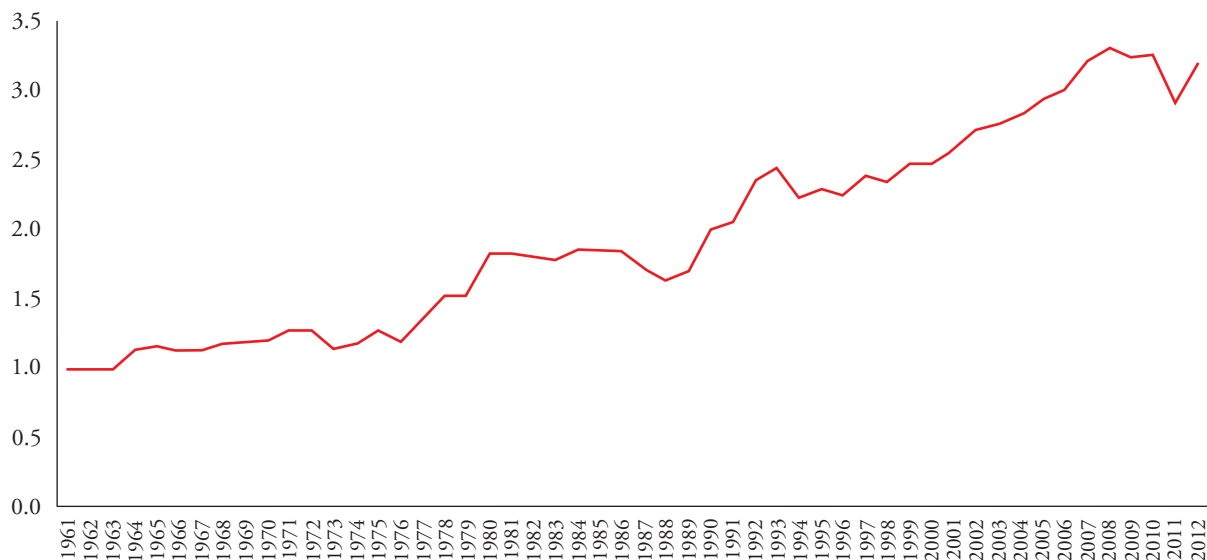
favor de agrícolas productores que had government infrastructure which carried out stockpiling, storage, commercialization and distribution of grains; likewise, there were large subsidies both to producers and to consumers of maize and its byproducts. Facing climate fluctuations and the scarce transfer of technology, guarantee prices arose to foster production, which increased in a relevant way the public expenditure, which is why at the end of the 1980s and in the decade of the 1990s, economic and constitutional reforms were implemented that liberalized various sectors of the economy, among them the agriculture and livestock sector, with which the government ceased to play a prominent role in the commercialization of agricultural and livestock products, the guarantee prices were eliminated, and the subsidies were dissociated (Appendini, 2005).

In Mexico, the trade policies that liberalized the maize market with the entry of NAFTA in 1994 do not seem to have generated an important increase in the average of maize yields at the national level (Figure 1).

However, there is great heterogeneity in the yields at the regional level, where the highest yields were concentrated in the Northeast and Bajío regions of the country, situation that contrasts with the Center and South regions, where in some states the average yields did not exceed the three tons per hectare in the period between 2000 and 2010 (Figure 2).

According to data from the Agriculture and Livestock Census 2007, published by the National Institute of Statistics and Geography (*Instituto Nacional de Estadística y Geografía*, INEGI), there are more than two million producers devoted to maize cultivation. It is important to mention that it was the last census that INEGI performed up until this study, while the previous Agriculture and Livestock Census was in 1991.

According to data from the Agrifood and Fishing Information Service (*Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*, SIAP)⁷ and the Statistics Division from the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)⁸, currently, the most common maize varieties sown in Mexico are white and yellow. In 2010, 23.3 million tons of maize were produced in Mexico, of which approximately 91.0 % corresponded to the white maize variety and the rest to the yellow. This allowed Mexico to be the fourth maize producer, after the United States, China and Brazil, globally, with a participation of 2.8 % in that year.



Fuente: elaboración propia con base en los datos de la División de Estadística de la FAO (FAOSTAT). ♦ Source: Authors' elaboration based on data from FAO's Statistics Division (FAOSTAT).

Figura 1. México: Rendimientos de Maíz de 1961 a 2012. Cifras en Toneladas por Hectárea.
Figure 1. Mexico: Maize yields from 1961 to 2012. Figures in tons per hectare.

para la Alimentación y la Agricultura (FAO)⁸, en la actualidad, las variedades de maíz más común que se siembran en México son el blanco y el amarillo. En 2010 se produjeron 23.3 millones de toneladas de maíz en México, de las cuales aproximadamente 91.0 % correspondieron a la variedad de maíz blanco y el resto al amarillo. Lo anterior permitió a México ser el cuarto productor de maíz, después de Estados Unidos, China y Brasil, a nivel mundial, con una participación de 2.8 % en el citado año.

Las diferencias a nivel regional se pueden explicar en parte a los nuevos instrumentos de fomento a la producción y comercialización agropecuaria que se fueron creando a partir de 1994, tales como el PROCAMPO y los programas de apoyo a la comercialización operados por Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria (ASERCA), que actualmente es un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Estas nuevas políticas permitieron que los productores capitalizados se organizaran, de acuerdo con la apertura e impulso a la privatización ejidal, controlando el mercado y comercializando sus cosechas directamente, gracias a sus habilidades competitivas, ayudas complementarias y el respaldo de ASERCA, en especial fueron

The differences at the regional level can be explained in part by the new instruments for promotion of agricultural and livestock production and trade that were created starting in 1994, such as PROCAMPO, and the programs for support to commercialization operated by Supports and Services to Agriculture and Livestock Commercialization (*Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria*, ASERCA), which is currently a decentralized administrative organization of the Ministry of Agriculture, Livestock Production, Rural Development, Fishing and Food (*Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación*, SAGARPA). These new policies allowed for capitalized producers to be organized according to the openness and promotion of *ejido* privatization, controlling the market and trading their harvests directly, thanks to their competitive abilities, complementary supports, and backing by ASERCA; the large-scale producers located in the Northwest and Bajío regions of the country were especially favored (Aguilar, 2004). In particular, an important growth took place in maize yields of the irrigation zones where commercial producers were concentrated, which differed from the yields in the rainfed zones that did not exceed the two tons per hectare during the first decade of the 21st century,



Fuente: elaboración propia con base en los datos del Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta de SAGARPA. ♦ Source: Authors' elaboration based on data from SAGARPA's Agrifood Consult Information System.

Figura 2. Rendimientos Promedio del Maíz en México (2000-2010). Cifras en Toneladas por Hectárea.
Figure 2. Average maize yields in Mexico (2000-2010). Figures in tons per hectare.

favorecidos los grandes productores ubicados en las regiones noroeste y bajío del país (Aguilar, 2004). En particular se dio un crecimiento importante en los rendimientos del maíz de las zonas de riego donde se concentraron los productores comerciales, lo cual contrastó con los rendimientos en las zonas de temporal que no sobrepasaron las dos toneladas por hectárea durante los primeros años de la primera década del siglo XXI y que concentraron a los pequeños productores o de autoconsumo (Yunez y Serrano, 2010).

Revisión de la literatura

Diversos estudios previos se han enfocado en entender los determinantes de los rendimientos del maíz. Evenson y Kislev (1973) encontraron una relación fuerte y persistente entre la investigación agrícola y los rendimientos del maíz, con una muestra de 49 países productores. Gowon *et al.* (1978) analizaron la

and which concentrated the small-scale or subsistence producers (Yunez and Serrano, 2010).

Literature review

Various previous studies have focused on understanding the determinants of maize yields. Evenson and Kislev (1973) found a strong and persistent relation between agricultural research and maize yields, with a sample of 49 producing countries. Gowon *et al.* (1978) analyzed the response of yields in California, Colorado and Utah, states of the American Union, in face of factors such as irrigation under a specific type of soil and whose results differed, depending on the phenological stages of the crop. Other more recent studies (Kaylen *et al.*, 1992; Schlenker and Roberts, 2006; Roberts *et al.*, 2012) incorporated agronomic knowledge to climate variables such as temperature and precipitation to

respuesta de los rendimientos en California, Colorado y Utah, estados de la Unión Americana, ante factores como la irrigación bajo un determinado tipo de suelo y cuyos resultados diferían, dependiendo de las etapas fenológicas del cultivo. Otros trabajos más recientes (Kaylen *et al.*, 1992; Schlenker y Roberts, 2006; Roberts *et al.*, 2012) se incorporaron conocimientos agronómicos a variables climáticas como la temperatura y precipitación para relacionarlos económicamente con los rendimientos y, en el caso de los dos últimos estudios, proyectar el posible impacto del cambio climático en los rendimientos del maíz en Estados Unidos.

Por otra parte, Kaufmann y Snell (1997) estimaron un modelo para los rendimientos del maíz en los municipios de Estados Unidos, incorporando determinantes socioeconómicos tales como condiciones de mercado, escalas de producción, adopción de tecnología y políticas públicas, así como variables climáticas. Ruttan (2002) realizó un análisis detallado de las restricciones técnicas, institucionales y de recursos para el crecimiento de la productividad agrícola en los últimos 50 años del siglo veinte, donde concluyó que la mayoría de los países en desarrollo debían invertir más en investigación y desarrollo agrícola, capacitación técnica e infraestructura para incrementar los rendimientos en el siglo presente. Kamruzzaman *et al.* (2000) examinaron el efecto del crédito en los rendimientos y en la eficiencia técnica de la producción de arroz en el distrito de Comilla, Bangladesh, y encontraron que los productores que cuentan con crédito tienen un mayor rendimiento potencial que los que no tienen, concluyendo que el crédito tiene un impacto positivo para incrementar la eficiencia técnica de los productores.

Los efectos del cambio climático también han sido estudiados por medio de regresiones de los rendimientos a nivel de municipio en variables climáticas. Olivera (2013) encuentra que el cambio climático tendrá efectos negativos en los rendimientos de maíz en México, especialmente en las zonas de temporal. Asimismo, Galindo (2009) indica que los impactos en los rendimientos derivados del cambio climático serán heterogéneos por regiones y cada ciclo productivo tendrá diferentes sensibilidades de respuesta a la temperatura y la precipitación en México.

relate them econometrically with the yields and, in the case of the last two studies, to project the possible impact of climate change on maize yields in the United States.

In their turn, Kaufmann and Snell (1997) estimated a model for maize yields in the municipalities of the United States, incorporating socioeconomic determinants such as market conditions, production scales, technology adoption and public policies, as well as climate variables. Ruttan (2002) performed a detailed analysis of the technical, institutional and resource restrictions for the growth of agricultural productivity in the last 50 years of the 20th century, where he concluded that most of the developing countries should invest more in agricultural research and development, technical training and infrastructure to increase the yields in this century. Kamruzzaman *et al.* (2000) examined the effect of credit on the yields and on the technical efficiency of rice production in the district of Comilla, Bangladesh, and found that the producers who have credit have a higher yield potential than those who do not, concluding that credit has a positive impact to increase the technical efficiency of producers.

The effects of climate change have also been studied through regressions of the yields at the level of municipality in climate variables. Olivera (2013) finds that climate change will have negative effects on maize yields in Mexico, especially in rainfed zones. Likewise, Galindo (2009) indicates that the impacts on the yields derived from climate change will be heterogeneous by regions and each productive cycle will have different response sensitivities to temperature and precipitation in Mexico.

MATERIALS AND METHODS

Data

Derived from the literature review, it was determined that the factors that could impact a sustained increase in maize yields in Mexico would be those related to the production (infrastructure, biotechnology, use of agrichemicals, and use of credit), geography, climate, agriculture and livestock policies, and socioeconomic factors.

Therefore, the following data were obtained, relative to the use of chemical fertilizers, improved seed, insecticides, tractor, natural fertilizer, controlled

MATERIALES Y MÉTODOS

Datos

Derivado de la revisión de la literatura se determinó que los factores que pudieran incidir en un incremento sostenido de rendimientos del maíz en México serían aquellos relacionados con la producción (infraestructura, biotecnología, uso de agroquímicos, y uso de crédito), geográficos, climáticos, políticas agropecuarias y socioeconómicos.

Por ello, se obtuvieron los datos relativos a la utilización de fertilizantes químicos, semilla mejorada, insecticidas, tractor, abono natural, quema controlada, crédito, así como la escala y escolaridad, agregados a nivel municipio para el cultivo del maíz grano, del Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007, proporcionado por el INEGI, los cuales fueron solicitados a dicha entidad para la realización de este estudio. La variable irrigación se obtuvo a partir de los datos de la superficie de riego de 2005 del Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON) de la SAGARPA.

Las variables socioeconómicas de población total, disponibilidad de servicios públicos y población de derechohabiente a servicios de salud, se obtuvieron del Censo de Población y Vivienda de 2005 elaborado por INEGI. Estas se incluyeron para tener una mayor cobertura de posibles variables que pudieran influir en los rendimientos del maíz, por medio de su incidencia indirecta en el mercado laboral. Por ejemplo, Barbier y Burgess (1996) encuentran una relación positiva entre población y superficie agrícola sembrada en México, lo cual incide directamente en los rendimientos agrícolas. López-Feldman (2012) estima una relación positiva entre el índice de marginación de los municipios en México y la expansión de la frontera agrícola. Por su parte, Deininger y Minten (1999) encuentran una relación negativa entre pobreza y uso de suelo agrícola para México.

Asimismo, se incluyó el precio del maíz, el cual representa el promedio del precio entre 2006 y 2007 por municipio. La variable Monto PROCAMPO por productor a nivel municipal se obtuvo del Sistema Municipal de Bases de Datos (SIMBAD) del INEGI para los años del Censo y representa el monto promedio de transferencias realizadas a productores por PROCAMPO en cada municipio.

También se obtuvieron datos geográficos como la distancia a la ciudad más cercana, densidad de las

burning, credit, as well as the scale and schooling, aggregated at the municipal level for the cultivation of maize grain, from the Agriculture, Livestock and Forest Census 2007, provided by INEGI, which were requested from that organization to carry out this study. The irrigation variable was obtained from the data of the irrigation surface from 2005 of the Agrifood Information System for Consult (*Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta*, SIACON) of the SAGARPA.

The socioeconomic variables of total population, availability of public services and population recipient of public health services, were obtained from the Population and Housing Census 2005 elaborated by INEGI. These were included to get a better coverage of possible variables that could influence the maize yields, through their indirect incidence on the labor market. For example, Barbier and Burgess (1996) find a positive relation between the population and the agricultural surface sown in Mexico, which impacts directly the agricultural yields. López-Feldman (2012) estimates a positive relation between the marginalization index of the municipalities in Mexico, and the expansion of the agricultural frontier. In turn, Deininger and Minten (1999) find a negative relation between poverty and agricultural land use in Mexico.

Likewise, the price of maize was included, which represents the average of the price between 2006 and 2007 per municipality. The variable Amount of PROCAMPO per producer at the municipal level was obtained from the Municipal System of Databases (*Sistema Municipal de Bases de Datos*, SIMBAD) of the INEGI for the years of the Census and represents the average amount of transfers performed to producers by PROCAMPO in each municipality.

Geographic data were also obtained, such as distance to the closest city, density of roads, distance to the coast, length of the road, and slope of the land from the geospatial data of Use of Land and Vegetation from INEGI. These variables have an impact on the surface sown and on the conversion of land use (Barbier and Burgess, 1996).

Similarly, the characteristics of the land per municipality were incorporated, using the geospatial soil data elaborated by the National Institute of Forest, Agriculture and Livestock Research (*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y*

carreteras, distancia a la costa, longitud de la carretera, y pendiente del suelo a partir de los datos geoespaciales de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI. Estas variables tienen impacto en la superficie sembrada y en la conversión del uso de suelo (Barbier y Burgess, 1996).

De igual forma, se incorporaron las características de suelo por municipio, utilizando los datos edafológicos geoespaciales elaborados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) de 1995. Estas características se clasificaron por tipo de suelo, composición física y textura. Se cuenta con 21 tipos de suelo, seis categorías para composición física y tres de textura.

Finalmente, en el caso de las variables climáticas se incluyeron los datos de precipitación acumulada y de grados días acumulados (*growing degree days* o GDD) promedio de los años 2003 a 2007 por municipio que se presentan durante la etapa de crecimiento del maíz. Los datos relativos a la precipitación y temperatura a nivel de estación meteorológica fueron proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional y procesados por los autores para obtener datos a nivel municipal en zonas agrícolas.

Los grados días acumulados se usan para capturar la exposición al calor durante el cultivo en la etapa de crecimiento, por lo que con los datos de temperatura se realizó el cálculo de la siguiente manera (Roberts *et al.*, 2012):

$$\min\{(Th+Tl)/2, Tm\} - Tb$$

donde Th es la temperatura máxima, Tl la temperatura mínima y Tb la temperatura base (10 °C) y Tm el límite superior (30 °C).

En los Cuadros 2a y 2b del Anexo se presentan las estadísticas descriptivas de las variables principales. En el Cuadro 2a se presentan promedios por municipio para todas las variables utilizadas en este estudio y en el Cuadro 2b se presentan los promedios a nivel nacional. Se realiza de esta forma debido a que hay variaciones importantes en términos del grado de utilización de algunos insumos en la producción de maíz, ya sea si se miden como proporción de la superficie nacional o como promedio de la superficie municipal. Como se puede observar, la penetración

Pecuarias, INIFAP) and the National Commission for the Knowledge and Use of Biodiversity (*Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*, CONABIO) from 1995. These characteristics were classified per type of soil, physical composition and texture. There are 21 types of soil, six categories for the physical composition and three for texture.

Finally, in the case of the climate variables, the data of accumulated precipitation and average growing degree days (GDD), of the years 2003 to 2007 per municipality present during the growth stage of maize, were included. The data concerning the precipitation and temperature at the level of meteorological station were provided by the National Meteorological Service and processed by the authors to obtain data at the municipal level in agricultural zones.

The growing degree days are used to capture the exposure to heat during the cultivation in the growth stage, which is why with the data of temperature the calculation was carried out in the following way (Roberts *et al.*, 2012):

$$\min\{(Th+Tl)/2, Tm\} - Tb$$

where Th is the maximum temperature, Tl the minimum temperature, and Tb the base temperature (10 °C) and Tm the upper limit (30 °C).

Tables 2a and 2b from the Annex show the descriptive statistics of the main variables. Table 2a present averages per municipality for all the variables used in this study and Table 2b presents the averages at the national level. It is done this way because there are important variations in terms of the degree of use of some inputs in maize production, whether if measured as proportion of the national surface or as average of the municipal surface. As can be observed, the penetration of improved seed is 12 % in average in the municipalities (Table 2a), but measured in terms of the total surface sown with maize in the country (Table 2b) represents 18 %, figure close to that reported by other studies⁹.

Empirical model

The econometric estimation of the yields as function of the variables specified in the previous subsection is detailed in this section. Three

de semilla mejorada es de 12 % en promedio en los municipios (Cuadro 2a), pero medida en términos del total de la superficie sembrada de maíz en el país (Cuadro 2b) representa 18 %, cifra cercana a la reportada por otros estudios⁹.

Modelo empírico

En esta sección se detalla la estimación econométrica de los rendimientos como función de las variables especificadas en la subsección anterior. Se realizan tres especificaciones del modelo: 1) se controla por variables tecnológicas y de crédito; 2) se añaden datos geográficos, climáticos, y de acceso a infraestructura; y 3) se incluyen variables socioeconómicas. El modelo está basado en Kaufmann y Snell (1997) y se expresa de la siguiente manera:

$$Rend_{cm} = \beta_0 + \beta_T' Tech_{cm} + \beta_g' Geog_{cm} + \beta_s' Socio_{cm} + \mu_e + \mu_c + u_{cm} \quad (1)$$

donde *Rend* indica rendimientos (toneladas de maíz por hectárea), *c* representa el ciclo (Primavera-Verano u Otoño-Invierno) y *m* el municipio; *Tech* representa el conjunto de variables de tecnología como uso de semilla mejorada, irrigación, fertilizantes, insecticidas, quema controlada, abono natural, uso de tractor, escala, crédito y superficie sembrada de maíz blanco; *Geog* denota el conjunto de controles de características geográficas como distancia a ciudades, pendiente promedio, distancia a la costa y tipo de suelo, así como precipitación y los grados días acumulados (GDD). Finalmente, el vector *Socio* contiene variables socioeconómicas como escolaridad, población total, disponibilidad de servicios públicos, población derechohabiente a servicios de salud, monto promedio del PROCAMPO asignado por productor y precio medio rural del maíz.

Cada especificación se estima para tres casos: utilizando las unidades que siembran en el ciclo primavera-verano (PV), otoño-invierno (OI), y en ambos ciclos. En los tres casos se controla por dummies de entidad federativa μ_e y, adicionalmente, en el tercero se controla por ciclo de siembra μ_c .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el caso del ciclo Primavera-Verano (Cuadro 3a) los factores estadísticamente significativos con mayor impacto son el uso de semilla mejorada,

specifications of the model are performed: 1) controlled for technological and credit variables; 2) geographic, climate and access to infrastructure data are added; and 3) socioeconomic variables are included. The model is based on Kaufmann and Snell (1997), and it is expressed in the following way:

$$Rend_{cm} = \beta_0 + \beta_T' Tech_{cm} + \beta_g' Geog_{cm} + \beta_s' Socio_{cm} + \mu_e + \mu_c + u_{cm} \quad (1)$$

where *Rend* indicates yields (tons of maize per hectare), *c* represents the cycle (Spring-Summer or Fall-Winter), and *m* the municipality; *Tech* represents the set of technology variables like use of improved seed, irrigation, fertilizers, insecticides, controlled burning, natural fertilizer, use of tractor, scale, credit and surface sown with white maize; *Geog* denotes the set of controls for geographic characteristics such as distance to cities, average slope, distance to the coast and type of soil, as well as precipitation and growing degree days (GDD). Finally, the vector *Socio* contains socioeconomic variables such as schooling, total population, availability of public services, population that has access to public health services, average amount of PROCAMPO assigned per producer and mean rural maize price.

Each specification is estimated for three cases: using the units that sow in the spring-summer cycle (PV), fall-winter (OI), and in both cycles. In the three cycles it is controlled for dummies of federal state μ_e and, additionally, in the third cycle it is controlled for sowing cycle μ_c .

RESULTS AND DISCUSSION

In the case of the Spring-Summer cycle (Table 3a), the statistically significant factors with greatest impact are the use of improved seed, credit and insecticides, and with lower impact, although still significant when there is irrigation and use of natural fertilizer. In the fall-winter cycle (Table 3b) it can be seen that the impacts are lower than in the spring-summer cycle, but the relevance of the use of improved seed, insecticides and natural fertilizer, is repeated, not coinciding in that for this cycle the use of fertilizers is significant.

Using all of the data and through a control per cycles, the estimations reported in Table 3c indicate that the statistically significant factors with the

Cuadro 2a. Estadísticas descriptivas de promedios por municipio.
Table 2a. Descriptive statistics of averages per municipality.

VARIABLES	Observaciones	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
Rendimientos (tonelada por hectárea)	1913	2.86	2.12	0.17	13.17
Irrigación (porcentaje de superficie de riego)	1913	0.24	0.36	0.00	1.00
Fertilizantes Químicos (porcentaje de fertilizantes químicos aplicados en superficie agrícola)	1913	0.32	0.28	0.00	1.00
Semilla mejorada (porcentaje de semilla mejorada aplicada en superficie agrícola)	1913	0.12	0.19	0.00	1.00
Insecticidas (porcentaje de insecticidas aplicados en superficie agrícola)	1913	0.12	0.18	0.00	0.91
Uso de tractor (porcentaje de unidades de producción que usan tractor)	1913	0.55	0.32	0.00	1.00
Abono natural (porcentaje de abono natural aplicado en superficie agrícola)	1913	0.07	0.11	0.00	0.88
Quema controlada (porcentaje de quema controlada aplicada en superficie agrícola)	1913	0.02	0.04	0.00	0.80
Uso de crédito (porcentaje de unidades de producción que cuentan con crédito)	1913	0.05	0.08	0.00	1.00
Uso de crédito de avío (porcentaje de unidades de producción que cuentan con crédito de avío)	526	0.06	0.11	0.00	0.66
Uso de crédito refaccionario (porcentaje de unidades de producción que cuentan con crédito refaccionario)	526	0.01	0.01	0.00	0.16
Uso de otro tipo de crédito (porcentaje de unidades de producción que cuentan con otro tipo de crédito)	526	0.02	0.02	0.00	0.31
Escala mayor a cinco hectáreas (porcentaje de unidades de producción que cuentan con más de cinco hectáreas)	1913	0.40	0.28	0.00	1.00
Escala mayor a cinco hectáreas al cuadrado (porcentaje de unidades de producción que cuentan con más de cinco hectáreas, elevado al cuadrado)	1913	0.24	0.28	0.00	1.00
Superficie sembrada de maíz blanco (cifras en porcentaje)	1890	0.97	0.12	0.00	1.00
Capacitación (porcentaje de unidades de producción que contaron con capacitación)	486	0.03	0.05	0.00	0.42
Densidad de las carreteras (longitud/área)	1913	1.46	1.08	0.00	12.14
Distancia a la ciudad más cercana > 500 (km)	1913	150.52	90.11	3.72	486.99
Distancia a la costa (km)	1913	144.17	101.77	0.22	611.25
Longitud de la carretera (miles de km.)	1913	0.08	0.10	0.00	1.16
Pendiente del suelo	1913	5.69	3.85	0.06	19.52
Población con algún año de escolaridad (cifras en porcentaje)	1913	0.74	0.13	0.27	1.00
Población total (millones de habitantes)	1913	0.04	0.10	0.00	1.49
Población con acceso a servicios públicos: agua, red pública, drenaje y energía eléctrica (cifras en porcentaje)	1913	0.59	0.25	0.00	0.96
Población derechohabiente a servicios de salud (cifras en porcentaje)	1913	0.31	0.21	0.00	0.86
Monto PROCAMPO por productor (miles de pesos)	1885	4.94	4.54	0.50	38.03
Precio medio rural del maíz (cifras en pesos por tonelada)	1890	2528.75	537.55	1092.59	4202.13

Cuadro 2b. Estadísticas descriptivas como promedios a nivel nacional.
Table 2b. Descriptive statistics as averages at the national level.

Variables	PV	OI	Ambos ciclos
Fertilizantes químicos (porcentaje de fertilizantes químicos aplicados en superficie agrícola)	39.7	31.1	38.6
Semilla mejorada (porcentaje de semilla mejorada aplicada en superficie agrícola)	17.5	23.2	18.3
Insecticidas (porcentaje de insecticidas aplicados en superficie agrícola)	16.5	22.1	17.2
Uso de tractor (porcentaje de unidades de producción que usan tractor)	39.8	36.7	39.6
Abono natural (porcentaje de abono natural aplicado en superficie agrícola)	6.9	3.4	6.5
Quema controlada (porcentaje de quema controlada aplicada en superficie agrícola)	2.2	1.5	2.1
Uso de crédito (porcentaje de unidades de producción que cuentan con crédito)	3.1	8.4	3.4
Uso de crédito de avío (porcentaje de unidades de producción con crédito de avío)	1.8	6.9	2.1
Uso de crédito refaccionario (porcentaje de unidades de producción con crédito refaccionario)	0.3	0.3	0.3
Uso de otro tipo de crédito (porcentaje de unidades de producción con otro tipo de crédito)	0.8	1.0	0.8
Capacitación (porcentaje de unidades de producción que contaron con capacitación)	2.2	4.7	2.4

crédito e insecticidas, y con un impacto menor, pero aún significativos al contar con irrigación y uso de abono natural. En el ciclo otoño-invierno (Cuadro 3b) se puede observar que los impactos son menores que en el ciclo primavera-verano, pero se repite la relevancia del uso de semilla mejorada, insecticidas y abono natural, no coincidiendo en que para este ciclo sí resulta significativo el uso de fertilizantes.

Utilizando la totalidad de datos y mediante un control por ciclos, las estimaciones reportadas en el Cuadro 3c indican que los factores estadísticamente significativos con el mayor impacto en los rendimientos son el uso de semilla mejorada, crédito e insecticidas: un incremento de 10 % en el uso de dichas variables está correlacionado con el aumento del rendimiento del cultivo en 0.35, 0.31 y 0.25 toneladas por hectárea respectivamente, lo cual representaría un incremento de 12.2 %, 10.8 % y 8.7 % en el rendimiento promedio nacional, por cada una de las variables.

Otros factores estadísticamente significativos, aunque de menor impacto que los anteriores, fueron el uso de abono natural y el contar con una mayor superficie irrigada, donde un aumento de 10 % en cada variable está correlacionada positivamente con el rendimiento en 0.12 y 0.1 toneladas por hectárea, es decir, con un incremento de 4.2 % y 3.5 % en el rendimiento promedio nacional.

En el caso de la escala, la cual fue medida mediante el porcentaje de unidades de producción que contaron con más de cinco hectáreas, sucede un fenómeno interesante, ya que el coeficiente es significativo y negativo, contrario al coeficiente de la escala al cuadrado que resulta positivo (Cuadro 3a y 3c). Esta

highest impact on the yields are the use of improved seed, credit and insecticides: an increase of 10 % in the use of those variables is correlated with the increase in the crop yield in 0.35, 0.31 and 0.25 tons per hectare, respectively, which would represent an increase of 12.2 %, 10.8 % and 8.7 % in the average national yield, for each one of the variables.

Other statistically significant factors, although of lower impact than the previous ones, were the use of natural fertilizer and having a larger irrigated surface, where an increase of 10 % in each variable is correlated positively with the yield in 0.12 and 0.1 tons per hectare, that is, with an increase of 4.2 % and 3.5 % in the national average yield.

In the case of the scale, which was measured through the percentage of production units that had more than five hectares, an interesting phenomenon takes place, since the coefficient is significant and negative, contrary to the coefficient of the square scale which is positive (Table 3a and 3c). This relation is not uncommon in the case of agricultural yields¹⁰.

On the other hand, another exercise was carried out with all of the data and controlling for cycles, aggregating the percentage of production units that had some sort of training or technical assistance to develop their agricultural tasks, as well as including a disaggregation by type of credit: working capital, investment, or other. The working capital credit is the one that has the purpose of financing the needs for working capital; the investment credit is the one that is required for the acquisition of fixed assets or capital goods such as machinery and equipment, transport units, livestock, property building, infrastructure works, among others; and, lastly, the census defines

Cuadro 3a. Resultados-Ciclo PV.
Table 3a. Results- PV Cycle.

Variables	1	2	3
Irrigación	1.7554 *** (0.3413)	1.4529 *** (0.3045)	1.4531 *** (0.3245)
Fertilizantes químicos	-0.1647 (0.2277)	-0.1546 (0.2351)	-0.1631 (0.2447)
Semilla mejorada	3.9659 *** (0.3852)	4.0994 *** (0.3762)	4.0146 *** (0.419)
Insecticidas	2.7507 *** (0.5751)	2.5019 *** (0.633)	2.5671 *** (0.661)
Uso de tractor	0.3010 (0.1879)	0.3235 (0.2629)	0.2240 (0.2559)
Abono natural	1.2927 *** (0.4156)	1.0148 * (0.5594)	1.0092 * (0.6095)
Quema controlada	1.4237 (1.9631)	0.9908 (2.0641)	0.9056 (2.0448)
Uso de crédito	2.9583 ** (1.3382)	3.6636 ** (1.3658)	3.6163 ** (1.3683)
Escala	-0.6479 (0.7753)	-1.0247 (0.7036)	-1.3055 * (0.6487)
Escala ²	0.8814 (0.7759)	1.1315 * (0.6616)	1.3863 ** (0.609)
Superficie sembrada de maíz blanco	0.4105 (0.2932)	0.0599 (0.3926)	-0.0238 (0.3829)
Densidad de las carreteras (longitud/área)		0.0156 (0.0493)	0.0101 (0.0464)
Distancia a la ciudad más cercana >500 (km)		-0.0011 (0.0007)	-0.0008 (0.0009)
Distancia a la costa (km)		0.0020 * (0.001)	0.0024 * (0.0013)
Longitud de la carretera (miles de km)		-0.3425 (0.5868)	-0.5985 (0.6572)
Pendiente del suelo		0.0277 (0.0196)	0.0288 (0.0191)
Precipitación (cifras en mm.)		0.0000 (0.0003)	0.0000 (0.0003)
Grados días acumulados		0.0001 (0.0001)	0.0001 (0.0001)
Población con algún año de escolaridad			0.4193 (0.422)
Población total (millones de habitantes)			0.3609 (0.3941)
Disponibilidad de servicios públicos: agua, red pública, drenaje y energía eléctrica			0.1582 (0.2336)
Población derechohabiente a servicios de salud			0.0230 (0.2838)
Monto PROCAMPO por productor (miles de pesos)			0.0138 (0.013)

Nota: errores estándar aglomerados por entidad federativa entre paréntesis. Nivel de significancia al *10 %, **5 % y ***1 %, respectivamente. En todas las especificaciones se controla por *dummies* de entidad federativa. Especificaciones 2 y 3 incluyen controles de tipo de suelo y clima. ♦ Note: standard errors agglomerated per state between parentheses. Level of significance at *10 %, **5 %, and ***1 %, respectively. In all the specifications it is controlled for *dummies* by state. Specifications 2 and 3 include controls for type of soil and climate.

Cuadro 3a. Continuación.
Table 3a. Continuation.

Variable	1	2	3
Precio del maíz			0.0000 (0.0001)
Constante	1.8312 *** (0.3597)	1.2078 (2.7128)	0.8668 (2.5772)
Observaciones	1613	1402	1381
R ²	0.6679	0.7015	0.6987

Nota: errores estándar aglomerados por entidad federativa entre paréntesis. Nivel de significancia al *10 %, **5 % y ***1 %, respectivamente. En todas las especificaciones se controla por *dummies* de entidad federativa. Especificaciones 2 y 3 incluyen controles de tipo de suelo y clima. ♦ Note: standard errors agglomerated per state between parentheses. Level of significance at *10 %, **5 %, and ***1 %, respectively. In all the specifications it is controlled for *dummies* by state. Specifications 2 and 3 include controls for type of soil and climate.

Cuadro 3b. Resultados-Ciclo OI.
Table 3b. Results- OI Cycle.

Variables	1	2	3
Irrigación	0.8277 *** (0.2439)	0.8577 *** (0.2743)	0.9288 *** (0.2708)
Fertilizantes químicos	0.2276 (0.3781)	0.9922 * (0.5671)	0.9655 * (0.5473)
Semilla mejorada	3.1996 ** (1.1487)	2.3727 ** (1.0531)	2.2723 * (1.1289)
Insecticidas	2.3624 ** (0.8818)	1.9799 ** (0.8271)	2.1188 ** (0.7497)
Uso de tractor	0.1403 (0.4835)	0.4756 (0.6684)	0.4821 (0.6951)
Abono natural	1.7111 ** (0.8012)	2.3829 *** (0.6838)	2.2599 *** (0.7168)
Quema controlada	-4.7569 ** (1.9287)	-3.7377 * (2.1623)	-3.7709 * (2.0848)
Uso de crédito	2.3112 (1.365)	1.6090 (1.2356)	1.7472 * (1.1543)
Escala	0.4161 (1.5055)	-1.4763 (1.6859)	-1.3440 (1.6847)
Escala ²	-1.1771 (1.1749)	0.4345 (1.4635)	0.5459 (1.5304)
Superficie sembrada de maíz blanco	0.0607 (0.4873)	-0.0390 (0.4979)	0.2186 * (0.5156)
Densidad de las carreteras (longitud/área)		0.0236 (0.1172)	0.0142 (0.1454)
Distancia a la ciudad más cercana >500 (km)		-0.0036 (0.0019)	-0.0037 * (0.0019)
Distancia a la costa (km)		-0.0033 (0.0024)	-0.0027 (0.0025)
Longitud de la carretera (miles de km)		2.8359 *** (0.8476)	1.2857 (1.0551)
Pendiente del suelo		0.0230 (0.0281)	0.0303 (0.0299)
Precipitación (cifras en mm)		-0.0004 (0.0003)	-0.0004 (0.0003)

Cuadro 3b. Ccontinuación.
Table 3b. Continuation.

Variable	1	2	3
Grados días acumulados		0.0002 (0.0003)	0.0002 (0.0004)
Población con algún año de escolaridad			-0.3752 (0.7753)
Población total (millones de habitantes)			2.3224 (1.0549) **
Disponibilidad de servicios públicos: agua, red pública, drenaje y energía eléctrica			-0.5500 (0.6624)
Población derechohabiente a servicios de salud			0.7137 (0.7372)
Monto PROCAMPO por productor (miles de pesos)			0.0200 (0.0266)
Precio del maíz			0.0002 (0.0002)
Constante	1.0199 (0.5536)	** -36.9791 (68.6662)	-42.2359 (96.1137)
Observaciones	374	327	321
R ²	0.7439	0.7761	0.7654

Nota: errores estándar aglomerados por entidad federativa entre paréntesis. Nivel de significancia al *10 %, **5 % y ***1 %, respectivamente. En todas las especificaciones se controla por dummies de entidad federativa. Especificaciones 2 y 3 incluyen controles de tipo de suelo y clima. ♦ Note: standard errors agglomerated per state between parentheses. Level of significance at *10 %, **5 %, and ***1 %, respectively. In all the specifications it is controlled for *dummies* by state. Specifications 2 and 3 include controls for type of soil and climate.

Cuadro 3c. Resultados-Ciclos PV y OI.
Table 3c. Results- PV and OI Cycles.

Variabes	1	2	3
Irrigación	1.2409 (0.2368) ***	1.1268 (0.2000) ***	1.1313 (0.2081) ***
Fertilizantes químicos	-0.0686 (0.2004)	0.1085 (0.2065)	0.1347 (0.2188)
Semilla mejorada	3.7879 (0.5399) ***	3.5737 (0.5252) ***	3.4822 (0.5476) ***
Insecticidas	2.7912 (0.4285) ***	2.4902 (0.4895) ***	2.5049 (0.5219) ***
Uso de tractor	0.3246 (0.183) *	0.3294 (0.3049)	0.2353 (0.2966)
Abono natural	1.3670 (0.3953) ***	1.2122 (0.4568) **	1.2316 (0.4979) **
Quema controlada	0.1430 (2.1623)	-0.1097 (2.2622)	-0.1467 (2.2189)
Uso de crédito	2.9531 (1.2582) **	3.2301 (1.2278) **	3.1383 (1.1923) **
Escala	-0.5884 (0.9047)	-0.9803 (0.7884)	-1.2685 (0.7364) *
Escala ²	0.7365 (0.8795)	0.9697 (0.7763)	1.2526 (0.741)

Cuadro 3c. Continuación.
Table 3c. Continuation.

Variable	1		2		3
Superficie sembrada de maíz blanco	0.4133	*	0.1863		0.1239
	(0.2206)		(0.2783)		(0.262)
Densidad de las carreteras (longitud/área)			0.0389		0.0322
			(0.0419)		(0.0384)
Distancia a la ciudad más cercana >500 (km)			-0.0018	**	-0.0013
			(0.0007)		(0.0009)
Distancia a la costa (km)			0.0012		0.0019
			(0.0009)		(0.0011)
Longitud de la carretera (miles de km)			0.3647		-0.0127
			(0.5631)		(0.6319)
Pendiente del suelo			0.0268		0.0302
			(0.0187)		(0.019)
Precipitación (cifras en mm)			0.0000		0.0000
			(0.0003)		(0.0003)
Grados días acumulados			0.0001		0.0002
			(0.0001)		(0.0001)
Población con algún año de escolaridad					0.3622
					(0.332)
Población total (millones de habitantes)					0.4794
					(0.3618)
Disponibilidad de servicios públicos: agua, red pública, drenaje y energía eléctrica					0.1510
					(0.2731)
Población derechohabiente a servicios de salud					0.1170
					(0.2841)
Monto PROCAMPO por productor (miles de pesos)					0.0158
					(0.0143)
Precio del maíz					-0.0001
					(0.0001)
Constante	1.8977	***	0.5527		0.4678
	(0.3199)		(3.0494)		(2.9062)
Observaciones	1987		1729		1702
R ²	0.6749		0.7001		0.6946

Nota: errores estándar aglomerados por entidad federativa entre paréntesis. Nivel de significancia al *10 %, **5 % y ***1 %, respectivamente. En todas las especificaciones se controla por dummies de entidad federativa y de ciclo. Especificaciones 2 y 3 incluyen controles de tipo de suelo y clima. ♦ Note: standard errors agglomerated per state between parentheses. Level of significance at *10 %, **5 %, and ***1 %, respectively. In all the specifications it is controlled for *dummies* by state. Specifications 2 and 3 include controls for type of soil and climate.

relación no es poco común en el caso de los rendimientos agrícolas¹⁰.

Por otra parte, se realizó otro ejercicio con la totalidad de datos y controlando por ciclos, agregando el porcentaje de unidades de producción que contaron con alguna clase de capacitación o asistencia técnica para desarrollar sus labores agrícolas, así como incluyendo una desagregación por tipo de crédito: avío, refaccionario u otro. El crédito de avío es aquel que tiene como propósito financiar las necesidades

as other type of credit those that do not fall into these categories. However, these could be simple, secured, factoring, and report, which are contemplated in the range of credits operated by the National Financing Agency for Agriculture, Livestock, Rural, Forest and Fishery Development (*Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero*)¹¹.

It is important to mention that for this exercise the separation of cycles was not carried out, because there are many null values per cycle, once they are

de capital de trabajo; el refaccionario es aquel que se requiere para la adquisición de activos fijos o bienes de capital como maquinaria y equipo, unidades de transporte, ganado, construcción de inmuebles, obras de infraestructura, entre otras y, por último, el censo define como otro tipo de crédito aquellos que no caen en las dos categorías anteriores. Sin embargo, estas podrían ser créditos simples, prendarios, factoraje, y reporto, los cuales están contemplados en la gama de créditos operados por Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero¹¹.

Es importante mencionar que para este ejercicio no se hizo la separación de ciclos, debido a que se tienen muchos valores nulos por ciclo, una vez que se desagrega por tipo de crédito. Los resultados se reportan en el Cuadro 3d y coinciden en su mayoría con los reportados anteriormente (Cuadro 3c): los factores estadísticamente significativos y positivos con mayor correlación con los rendimientos son el uso de semilla mejorada, los tres tipos de crédito, aunque el refaccionario resulta con mayor impacto e insecticidas; un incremento de 10 % en el uso de dichas variables (enfocándonos en el crédito refaccionario) está correlacionado con el incremento del rendimiento del cultivo en 0.39, 0.95 y 0.26 toneladas por hectárea, respectivamente, lo cual representaría un aumento de 13.6 %, 33.2 % y 9.0 % en el rendimiento promedio nacional por cada una de las variables.

Otros factores que fueron estadísticamente significativos, aunque con un menor impacto que los anteriores, fueron el uso de abono natural y el uso de tractor, en donde un aumento de 10 % en cada variable está correlacionada positivamente con el rendimiento en 0.14 y 0.09 toneladas por hectárea, es decir, con un incremento en 4.9 % y 3.1 % en el rendimiento promedio nacional.

Variables como capacitación, precio del maíz y PROCAMPO no resultaron estadísticamente significativas. En el caso de PROCAMPO pudiera deberse a que era un programa gubernamental de subsidio directo que en sus inicios no fue condicionado a la productividad, sino al número de hectáreas sembradas por los beneficiarios. De hecho, la evidencia empírica de diversos estudios mostró que el PROCAMPO sí tuvo un impacto en los ingresos de los productores (Sadoulet *et al.*, 2001; Harris, 2001; Winters y Davis, 2009). Es probable que, derivado de esto, en 2013 la SAGARPA formalizara la transición del PROCAMPO al PROAGRO Productivo, donde este

disagregated by type of credit. The results are shown in Table 3d and they mostly agree with those reported previously (Table 3c): the statistically significant and positive factors with highest correlation with the yields are the use of improved seed, the three types of credit, although the investment credit has a higher impact, and insecticides; an increase of 10 % in the use of these variables (focusing on the investment credit) is correlated to the increase in the crop's yield in 0.39, 0.95 and 0.26 tons per hectare, respectively, which would represent an increase of 13.6 %, 33.2 % and 9.0 % in the national average yield for each one of the variables.

Other factors that were statistically significant, although with a lower impact than the others, were the use of natural fertilizer and the use of tractor, where an increase of 10 % in each variable is correlated positively with the yield in 0.14 and 0.09 tons per hectare, that is, with an increase of 4.9 % and 3.1 % in the national average yield.

Variables like training, maize price and PROCAMPO were not statistically significant. In the case of PROCAMPO it could be because it was a government program of direct subsidy that at the beginning was not conditioned to productivity, but rather to the number of hectares sown by the beneficiaries. In fact, the empirical evidence of various studies showed that PROCAMPO did have an impact on the income of producers (Sadoulet *et al.*, 2001; Harris, 2001; Winters and Davis, 2009). It is likely that, derived from this, in 2013 the SAGARPA formalized the transition from PROCAMPO to PROAGRO Productivo, where the latter would link the subsidy to the improvement of agricultural productivity and the beneficiaries would be obligated to manifest the destination of the resources with technical, productive, organizational and investment aspects, such as: technical training and assistance, mechanization, use of improved or selected Creole seeds, plant nutrition, productive reconversion, agricultural insurance and price coverage, among others¹². Among the diverse specifications of the model, the use of improved seed stands out, which is consistently positive and statistically significant.

In addition, and in order to sustain the results presented, based on data from the census obtained specifically for this study, there are the yields reported by the units per type of technology used. Using this information, means difference tests (t-tests) were

Cuadro 3d. Resultados-Ciclos PV y OI (agregando tipos de crédito y capacitación)
Table 3d. Results- PV and OI Cycles (aggregating types of credit and training).

Variables	1	2	3	
Irrigación	0.9233 (0.5263)	* 0.7037 (0.5166)	0.7303 (0.4904)	
Fertilizantes químicos	-0.6547 (0.5555)	-0.7406 (0.5048)	-0.5298 (0.5496)	
Semilla mejorada	4.0589 (0.7602)	*** 3.9287 (0.9126)	*** 3.8256 (0.919)	***
Insecticidas	3.0739 (0.7231)	*** 2.6879 (0.8989)	*** 2.5501 (0.9075)	***
Uso de tractor	0.8510 (0.3607)	** 1.1594 (0.2925)	*** 0.8865 (0.252)	**
Abono natural	0.9572 (1.2293)	1.2183 (0.8365)	1.3379 (0.7706)	*
Quema controlada	-4.5347 (1.8886)	** -4.2839 (2.2461)	* -4.8173 (2.3697)	*
Uso de crédito de avío	1.4810 (1.2552)	2.6393 (1.3624)	* 2.5001 (1.4402)	*
Uso de crédito refaccionario	15.1464 (8.8)	* 10.0416 (5.3555)	* 9.4666 (5.1343)	*
Uso de otro tipo de crédito	6.3829 (2.4316)	** 5.9010 (2.8016)	** 5.6827 (2.9285)	*
Escala	-1.2770 (1.2035)	-1.4883 (1.8081)	-1.7473 (1.748)	
Escala ²	0.7973 (1.2804)	1.1516 (1.6805)	1.2844 (1.6681)	
Superficie sembrada de maíz blanco	0.1802 (0.3548)	0.1445 (0.4675)	0.1693 (0.4422)	
Capacitación	1.5784 (1.8317)	0.4859 (1.8955)	0.6092 (1.9273)	
Densidad de las carreteras (longitud/área)		0.1025 (0.1105)	0.0323 (0.1056)	
Distancia a la ciudad más cercana >500 (km)		-0.0012 (0.0019)	-0.0008 (0.0019)	
Distancia a la costa (km)		0.0008 (0.0019)	0.0015 (0.002)	
Longitud de la carretera (miles de km)		-0.9100 (0.6951)	-0.8667 (0.8746)	
Pendiente del suelo		0.0351 (0.038)	0.0361 (0.0376)	
Precipitación (cifras en mm)		0.0002 (0.0005)	0.0002 (0.0004)	
Grados días acumulados		0.0002 (0.0002)	0.0002 (0.0002)	
Población con algún año de escolaridad			0.5125 (0.4029)	
Población total (millones de habitantes)			-0.1884 (0.4332)	

Cuadro 3d. Continuación.
Table 3d. Continuation.

Variable	1	2	3
Disponibilidad de servicios públicos: agua, red pública, drenaje y energía eléctrica			0.7072 *
Población derechohabiente a servicios de salud			(0.3542) 0.8429 (0.7141)
Monto PROCAMPO por productor (miles de pesos)			0.0155 (0.0243)
Precio del maíz			-0.0001 (0.0001)
Constante	2.1442 (0.459)	*** -1.2855 (6.0976)	-3.2016 (5.5724)
Observaciones	510	458	456
R ²	0.8476	0.8767	0.8796

Nota: errores estándar aglomerados por entidad federativa entre paréntesis. Nivel de significancia al *10 %, **5 % y ***1 %, respectivamente. En todas las especificaciones se controla por *dummies* de entidad federativa y de ciclo. Especificaciones 2 y 3 incluyen controles de tipo de suelo y clima. ♦ Note: standard errors agglomerated per state between parentheses. Level of significance at *10 %, **5 %, and ***1 %, respectively. In all the specifications it is controlled for *dummies* by state. Specifications 2 and 3 include controls for type of soil and climate.

último vincularía el subsidio a la mejora de la productividad agrícola y los beneficiados estarían obligados a manifestar el destino de los recursos con aspectos técnicos, productivos, organizacionales y de inversión, tales como: capacitación y asistencia técnica, mecanización, uso de semillas mejoradas o criollas seleccionadas, nutrición vegetal, reconversión productiva, seguro agrícola y cobertura de precios, entre otros¹². Entre las diversas especificaciones del modelo resalta el impacto del uso de semilla mejorada, el cual es consistentemente positivo y estadísticamente significativo.

Adicionalmente, y a manera de dar sustento a los resultados presentados, a partir de datos del censo obtenidos específicamente para este estudio, se cuenta con los rendimientos que reportaron las unidades por tipo de tecnología utilizada. Utilizando dicha información se realizaron pruebas de diferencias de medias (Pruebas t) de los rendimientos por municipio y por tipo de tecnología o insumo aplicado en la siembra del cultivo. Los resultados se muestran en los Cuadros 4a y 4b para cada ciclo (Primavera-Verano y Otoño-Invierno, respectivamente), donde el tipo de tecnología o factor está ordenado verticalmente de mayor a menor, tanto por rendimiento promedio como por su significancia estadística respecto a otros tipos de tecnología.

Los resultados muestran que tanto para el ciclo Primavera-Verano (Cuadro 4a) como para Otoño-Invierno (Cuadro 4b), aquellas unidades

carried out of the yields per municipality and by type of technology or input applied on the crop's sowing. The results are shown in Tables 4a and 4b for each cycle (Spring-Summer and Fall-Winter, respectively), where the type of technology or factor is ordered vertically from higher to lower, both for average yield and for its statistical significance with regards to other types of technology.

The results show that both for the Spring-Summer cycle (Table 4a) and for Fall-Winter (Table 4b) the units that apply insecticides and improved seed have higher yields than the units that used other technologies as fertilizers, herbicides, natural fertilizer, and controlled burning. This agrees with the results that are shown in Tables 3a, 3b, 3c and 3d, which show that the main variables that were significant in the three empirical models are concentrated in the production factors such as improved seed and insecticides. Concerning the use of credit this seems to be more relevant in the Fall-Winter cycle.

With regards to the use of improved seed, it should be highlighted that it has been promoted by entities like the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT) and the National Institute of Forest, Agriculture and Livestock Research (*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*, INIFAP). According to Turrent *et al.* (2012), the adoption of improved

que aplican insecticidas y semilla mejorada tienen mayores rendimientos que las unidades que utilizaron otras tecnologías como fertilizantes, herbicidas, abono natural y quema controlada. Lo anterior coincide con los resultados que se muestran en los Cuadros 3a, 3b, 3c y 3d, donde se observa que las principales variables que fueron significativas en los tres modelos empíricos están concentradas en los factores de producción como semilla mejorada e insecticidas. Respecto al uso del crédito este parece ser más relevante en el ciclo Otoño-Invierno.

En relación con el uso de semilla mejorada, cabe resaltar que este ha sido promovido por entidades como el Centro Internacional del Maíz y Trigo (CIMMYT) y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). De acuerdo con Turrent *et al.* (2012), la adopción de semillas mejoradas ha sido limitada debido a la resistencia por parte de productores tradicionales a modernizarse, aunque esto sí ha sido aprovechado por los grandes productores. Otros estudios (Donnet *et al.*, 2012; García-Salazar y Ramírez-Jaspeado, 2014) indican que el impacto del uso de la semilla mejorada ha sido heterogéneo en las distintas regiones del país, con una buena adopción y mayor impacto en las zonas de producción comercial como en algunos estados del noroeste y del Bajío.

Es importante resaltar que se están realizando estrategias gubernamentales para aumentar el rendimiento del grano, como por ejemplo el Componente Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional “MasAgro”, establecido en el Programa Sectorial de Desarrollo Agropecuario, Pesquero y Alimentario 2013-2018, cuyo objetivo es el de incrementar la producción y productividad en maíz y trigo a través de la investigación, capacitación y adopción de tecnologías y prácticas agronómicas innovadoras, sustentables y adaptadas a las regiones agroecológicas de México mediante la cooperación entre la SAGARPA y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), haciendo énfasis en el desarrollo de semillas mejoradas y su penetración en zonas potencialmente aptas, pero con agricultores pequeños y con poco acceso a los mercados¹³.

CONCLUSIONES

El análisis sugiere que los rendimientos de la producción de maíz en México son más bajos que en otros países productores y que, en gran medida, ello está relacionado con las bajas tasas de penetración de

seeds has been limited due to the resistance by traditional producers to be modernized, although this has been taken advantage of by the large-scale producers. Other studies (Donnet *et al.*, 2012; García-Salazar and Ramírez-Jaspeado, 2014) indicate that the impact of the use of improved seed has been heterogeneous in different regions of the country, with a good adoption and higher impact in the zones of commercial production as in some of the states of the Northwest and Bajío regions.

It is important to highlight that government strategies being implemented to increase the grain yield, such as for example the Sustainable Modernization Component of Traditional Agriculture “MasAgro”, established in the Sectorial Program of Agriculture, Livestock, Fishing and Food 2013-2018, whose objective is increasing production and productivity in maize and wheat through research, training and adoption of technologies and agronomic practices that are innovative, sustainable and adapted to the agroecological regions of Mexico through cooperation between SAGARPA and the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), emphasizing the development of improved seeds and their penetration into potentially apt zones, although with small-scale farmers and with scarce access to markets¹³.

CONCLUSIONS

The analysis suggests that the yields in maize production in Mexico are lower than in other producing countries and that, to a great extent, this is related to the low rates of penetration of production technologies, especially those related to improved seeds. Additionally, the credit channel seems to have an important correlation with the maize yields in Mexico and could be detonator of the yields, particularly for the productive units that sow in the Spring-Summer cycle. Despite this, the financial penetration in the agricultural sector is relatively low.

Likewise, the infrastructure necessary for irrigation is fundamental for the yields. During the 2001-2010 period, in Mexico, the maize yields in irrigation zones were 217 % higher than in the rainfed zones; in addition, the variability of the yields decreases with the increase in irrigation, and is less vulnerable in face of climate shocks.

The use of fertilizers was only significant in the Fall-Winter cycle, which could be because the

Cuadro 4a. Diferencias en rendimientos (toneladas por hectárea) para el ciclo PV.
Table 4a. Differences in yields (tons per hectare) for the PV cycle.

	Rendimiento	Fertilizantes	Semilla mejorada	Herbicidas	Insecticidas	Abono natural	Quema controlada	Crédito	Capacitación
Insecticidas	3.68	0.4625*** (0.0391) n=1793	0.0071 (0.0446) n=1739	0.184*** (0.0392) n=1756		0.6124*** (0.0521) n=1809	0.8935*** (0.0691) n=1809	0.4301*** (0.058) n=1809	0.3482*** (0.0773) n=1809
Semilla mejorada	3.55	0.458*** (0.0369) n=1976		0.1852*** (0.0415) n=1809	-0.0071 (0.0446) n=1739	0.6427*** (0.0476) n=2018	0.9537*** (0.062) n=2018	0.497*** (0.0537) n=2018	0.4878*** (0.0702) n=2018
Herbicidas	3.47	0.2894*** (0.0374) n=1916	-0.1852*** (0.0415) n=1809		-0.184*** (0.0392) n=1756	0.4712*** (0.0501) n=1936	0.782*** (0.0663) n=1936	3.1677*** (0.0636) n=1936	0.2695*** (0.0754) n=1936
Fertilizantes	3.04		-0.458*** (0.0369) n=1976	-0.2894*** (0.0374) n=1916	-0.4625*** (0.0391) n=1793	0.2478*** (0.0424) n=2201	0.6004*** (0.0583) n=2201	0.1045** (0.0497) n=2201	0.1535** (0.0674) n=2201
Crédito	2.77	-0.1045** (0.0497) n=2201	-0.497*** (0.0537) n=2018		-0.4301*** (0.058) n=1809	0.2016*** (0.0486) n=2430	0.5314*** (0.0573) n=2430		0.0488 (0.0634) n=2430
Capacitación	2.72	-0.1535** (0.0674) n=2201	-0.4878*** (0.0702) n=2018	-0.2695*** (0.0754) n=1936	-0.3482*** (0.0773) n=1809	0.1528** (0.0629) n=2430	0.4827*** (0.0681) n=2430	-0.0488 (0.0634) n=2430	
Abono Natural	2.57	-0.2478*** (0.0424) n=2201	-0.6427*** (0.0476) n=2018	-0.4712*** (0.0501) n=1936	-0.6124*** (0.0521) n=1809		0.3298*** (0.0534) n=2430	-0.2016*** (0.0486) n=2430	-0.1528** (0.0629) n=2430
Quema controlada	2.24	-0.6004*** (0.0583) n=2201	-0.9537*** (0.062) n=2018	-0.782*** (0.0663) n=1936	-0.8935*** (0.0691) n=1809	-0.3298*** (0.0534) n=2430		-0.5314*** (0.0573) n=2430	-0.4827*** (0.0681) n=2430

Nora: * significativo al 10 %, ** significativo al 5 %, *** significativo al 1 %. Prueba t de diferencia de medias de los rendimientos promedio en unidades de producción que cultivan maíz grano por municipio, según el tipo de tecnología aplicada. No se incluyen los municipios cuyas unidades de producción no emplearon el tipo de tecnología que especifica la columna. ♦ Note: * significant at 10 %, ** significant at 5 %, *** significant at 1 %. Difference means t-test from the average yields in production units that grow maize grain per municipality, according to the type of technology applied. The municipalities whose production units did not employ the type of technology that the column specifies are not included.

Cuadro 4b. Diferencias en rendimientos (toneladas por hectárea) para el Ciclo OI.
Table 4b. Differences in yields (tons per hectare) for the OI Cycle.

	Rendimiento	Fertilizantes	Semilla mejorada	Herbicidas	Insecticidas	Abono natural	Quema controlada	Crédito	Capacitación
Capacitación	4.42	0.9275*** (0.1692) n=427	0.3529* (0.1895) n=354	0.843*** (0.1648) n=409	0.5857*** (0.1891) n=364	0.977*** (0.2166) n=335	0.3651 (0.2419) n=267	0.2311 (0.2017) n=373	
Semilla Mejorada	4.40	0.7183*** (0.0733) n=1074	0.615*** (0.075) n=1014	0.2693*** (0.0846) n=869	0.5276*** (0.1022) n=850	0.267* (0.1406) n=494	0.1124 (0.1291) n=655	-0.3529* (0.1895) n=354	
Insecticidas	4.25	0.4703*** (0.0711) n=1024	-0.2693*** (0.0846) n=869	0.3714*** (0.0694) n=987	0.3975*** (0.1077) n=775	0.0087 (0.1354) n=494	-0.1615*** (0.1266) n=636	-0.5857*** (0.1891) n=364	
Crédito	4.07	0.5296*** (0.1103) n=782	-0.1124 (0.1291) n=655	0.4869*** (0.1077) n=736	0.1615 (0.1266) n=636	0.5426*** (0.1388) n=607	0.1973 (0.1791) n=417	-0.2311 (0.2017) n=373	
Quema Controlada	4.11	0.4323*** (0.13) n=574	-0.267* (0.1406) n=494	0.3202** (0.1291) n=550	-0.0087 (0.1354) n=494	0.2166 (0.1702) n=443		-0.1973 (0.1791) n=417	
Abono Natural	3.68	0.2377*** (0.0797) n=1088	-0.5276*** (0.1022) n=850	0.1465* (0.0889) n=977	-0.3975*** (0.1077) n=775	-0.1465 (0.0889) n=977	-0.2166 (0.1702) n=443	-0.5426*** (0.1388) n=607	-0.977*** (0.2166) n=335
Herbicidas	3.54	0.0517 (0.0424) n=1348	-0.615*** (0.075) n=1014	0.3714*** (0.0694) n=987	-0.3714*** (0.0694) n=987	-0.1465 (0.0889) n=977	-0.3202** (0.1291) n=550	-0.4869*** (0.1077) n=736	-0.843*** (0.1648) n=409
Fertilizantes	3.42		-0.7183*** (0.0733) n=1074	-0.0517 (0.0424) n=1348	-0.4703*** (0.0711) n=1024	-0.2377*** (0.0797) n=1088	-0.4323*** (0.13) n=574	-0.5296*** (0.1103) n=782	-0.9275*** (0.1692) n=427

Nora: * significativo al 10 %, ** significativo al 5 %, *** significativo al 1 %. Prueba t de diferencia de medias de los rendimientos promedio en unidades de producción que cultivan maíz grano por municipio, según el tipo de tecnología aplicada. No se incluyen los municipios cuyas unidades de producción no emplearon el tipo de tecnología que especifica la columna. ♦ Note: * significant at 10 %, ** significant at 5 %, *** significant at 1 %. Difference means t-test from the average yields in production units that grow maize grain per municipality, according to the type of technology applied. The municipalities whose production units did not employ the type of technology that the column specifies are not included.

tecnologías de producción, en especial las relacionadas con semillas mejoradas. Adicionalmente, el canal crediticio parece tener una correlación importante con los rendimientos de maíz en México y pudiera ser detonador de los rendimientos, particularmente para las unidades productivas que siembran en el ciclo Primavera-Verano. A pesar de ello, la penetración financiera en el sector agrícola es relativamente baja.

De igual forma, la infraestructura necesaria para la irrigación resulta fundamental para los rendimientos. Durante el periodo 2001-2010, en México, los rendimientos del maíz en zonas de riego resultaron 217 % mayores que en las de temporal; adicionalmente, la variabilidad de los rendimientos decrece con el incremento de irrigación, y es menos vulnerable ante choques climáticos.

El uso de fertilizantes solo fue significativo en el ciclo Otoño-Invierno, lo cual puede deberse a que los municipios cuya producción pertenece a dicho ciclo cuentan con un mayor uso de semilla mejorada (según datos del Censo Agropecuario 2007, un porcentaje de 23.2 de semilla mejorada aplicada en la superficie agrícola en el ciclo Otoño-Invierno versus uno de 17.5 en el ciclo Primavera-Verano) que, combinado con un mayor uso de fertilizantes, puede aumentar los rendimientos. De igual forma, un uso desequilibrado de los fertilizantes no necesariamente incrementaría los rendimientos y se tendrían que analizar los efectos adversos que ocasionaría en el suelo, así como los daños ambientales que pudieran presentarse.

Como recomendaciones para aumentar los rendimientos del maíz se sugiere fomentar programas que promuevan el desarrollo y la adopción de semilla mejorada, así como una mayor penetración del crédito.

NOTAS

³En estadística agrícola se entiende por rendimiento a la cantidad media del producto agrícola obtenido por unidad de superficie cultivada (ver FAO, 1982). ♦ In agricultural statistics, yield is understood as the mean amount of agricultural product obtained by cultivated surface unit (see FAO, 1982).

⁴Gran parte de las investigaciones para desarrollar nuevos híbridos se desarrolló en México por Norman E. Borlaug, que lo hizo acreedor al Premio Nobel de la Paz en 1970. ♦ A large part of the studies to develop new hybrids was developed in Mexico by Norman

municipalities whose production belongs to this cycle have a higher use of improved seed (according to data from the Agriculture and Livestock Census 2007, a percentage of 23.2 of improved seed applied on the agricultural surface in the Fall-Winter versus one of 17.5 during the Spring-Summer cycle), which, combined with a higher use of fertilizers, can increase the yields. Likewise, an unbalanced use of fertilizers would not necessarily increase the yields and the adverse effects that it would cause in the soil would have to be analyzed, as well as the environmental damages that could take place.

As recommendations to increase the maize yields, it is suggested to foster programs that promote the development and the adoption of improved seed, as well as a higher penetration of credit.

— End of the English version —

E. Borlaug, which made him deserving of the Nobel Peace Prize in 1970.

⁵Es importante mencionar que los datos de la FAO consideran el cultivo genérico de maíz, sin especificar variedad, por lo que se estaría considerando tanto el maíz blanco que se produce mayoritariamente en México como el maíz amarillo que se produce generalmente en los países con los cuales se realiza la comparación. ♦ It is important to mention that the data from FAO consider the generic cultivation of maize, without specifying variety, which is why both the white maize that is produced mostly in Mexico and the yellow maize that is generally produced in the countries with which the comparison is done would be considered.

⁶La semilla mejorada es aquella que es resultado de un proceso de mejoramiento y selección de variedades vegetales con el fin de aumentar la capacidad productiva y la resistencia a enfermedades, plagas, sequías o que tienen alguna otra característica deseable. La diferencia con la semilla transgénica es que esta ha sido cambiada genéticamente en laboratorio, modificando su información a nivel celular. Ver Glosario del Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007 en la página web del INEGI: <http://www.inegi.org.mx/> ♦ The improved seed is that which is the result from a process of improvement and selection of plant varieties with the objective of increasing the productive capacity and the resistance to diseases,

pests, droughts or which have some other desirable characteristic. The difference with the transgenic seed is that this has been genetically altered in the laboratory, modifying its information at the cellular level. See Glossary of the Agriculture, Livestock and Forest Census 2007 on the webpage of the INEGI: <http://www.inegi.org.mx/>

⁷Ver en la página web del SIAP: <http://www.siap.gob.mx/> ♦ See the SIAP webpage: <http://www.siap.gob.mx/>

⁸Ver en la página web de la FAO: <http://faostat.fao.org/> ♦ See the FAO webpage: <http://faostat.fao.org/>

⁹Aquino-Mercado y Ortiz-Monasterio (2009) reportan una penetración de 20 % del uso de semilla mejorada en el total de la superficie sembrada a nivel nacional. ♦ Aquino-Mercado and Ortiz-Monasterio (2009) report a penetration of 20 % of the use of improved seed on the total surface sown at the national level.

¹⁰Campos y Oviedo (2015) muestran que existe una relación de U entre rendimientos y escala de producción en la producción de azúcar en México. Dicha relación también se observa para el caso que se estudia en este artículo aunque el término cuadrático no es estadísticamente significativo. ♦ ¹⁰Campos and Oviedo (2015) show that there is a U relation between yields and production scale in sugar production in Mexico. This relationship is also observed for the case that is studied in this article although the quadratic term is not statistically significant.

¹¹Ver Productos de Crédito en la página web de Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero: <http://www.fnd.gob.mx> ♦

¹¹See Credit Products on the webpage of the Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero: <http://www.fnd.gob.mx>.

¹²Ver el Acuerdo por el que se dan a conocer las Reglas de Operación del Programa de Fomento a la Agricultura de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación publicado en el Diario Oficial de la Federación el 18 de diciembre de 2013. ♦ See the Agreement by which the Operation Rules of the Program for Agriculture Promotion by the Ministry of Agriculture, Livestock Production, Rural Development, Fishing and Food are published in the Diario Oficial de la Federación on December 18, 2013.

¹³Ver la Guía Operativa 2014 del Componente Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional

“MasAgro” ♦ See the Operative Guide 2014 of the Sustainable Modernization Component of Traditional Agriculture “MasAgro”.

LITERATURA CITADA

- Aguilar Soto, O. 2004. Las élites del maíz. Ed. Universidad Autónoma de Sinaloa. México. 227 p.
- Appendini, K. 2005. De la Milpa a los Tortibonos. La reestructuración de la Política Alimentaria en México. El Colegio de México. 2ª ed. México. 290 p.
- Aquino-Mercado P., R. J. Peña, y I. Ortiz-Monasterio. 2009. México y el CIMMYT. Disponible en: <http://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/657/90966.pdf?sequence=1>
- Barbier, E. B., y Burgess, J. C. 1996. Economic Analysis of deforestation in Mexico. *Environmental and Development Economy*. 1:203-239.
- Benz, B. 1997. Diversidad y Distribución Prehispánica del Maíz Mexicano. *México. Arqueología Mexicana*. 5 (25): 16-23.
- Borlaug, N. E. 1972. La Revolución Verde, Paz y Humanidad. Conferencia pronunciada en ocasión de la recepción del premio Nobel de la paz en 1970. Oslo, Noruega. México. Serie de Reimpresos y Traducciones CIMMYT No. 3. 37 p.
- Campos Ortiz, F., y Oviedo Pacheco, M. 2015. Extensión de los predios agrícolas y productividad. El caso del campo cañero en México. *El Trimestre Económico*, vol. LXXXII (1), núm. 325, enero-marzo, 2015. pp: 147-181.
- Deininger, K., y Minten, B. 1999. Poverty, Policies and Deforestation: The case of México. *Economic Development and Cultural Change*. 47(2): 313-344.
- Donnet, L., López, D., Arista, J., Carrión, F., Hernández, V., y González, A. 2012. El Potencial de Mercado de Semillas Mejoradas de Maíz en México. México. Programa de Socioeconomía. Documento de Trabajo No. 8, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo CIMMYT. 21p.
- Evenson, R.E., and Kislev, Y. 1973. Research and Productivity in Wheat and Maize. *Journal of Political Economy*. The University of Chicago Press. 81(6): 1309-1329.
- Fan, S. 1991. Effects of Technological Change and Institutional Reform on Production Growth in Chinese Agriculture. *American Journal of Agricultural Economics*. 73:266-275.
- FAO. 1982. Estadística Agrícola: Estimación de las Superficies y de los Rendimientos de los Cultivos. Roma.
- Galindo Paliza, L. 2009. La Economía del Cambio Climático en México. Documento de investigación de SHCP y SEMARNAT, México.
- García-Salazar, J. A., y Ramírez-Jaspeado, R. 2014. El mercado de la semilla mejorada de maíz (*zea mays* l.) en México. Un análisis del saldo comercial por entidad federativa. México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 37 (1): 69 – 77.
- Gear, J. R. E. 2006. El cultivo del maíz en la Argentina. *In: Maíz y Nutrición*, Informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal. Recopilación de ILSI Argentina. Serie de Informes Especiales. Vol. II: 4-8.
- Gowon, D. T., Andersen J.C., and Biswas B. 1978. An Economic Interpretation of Impact of Phenologically Timed Irrigation on Corn Yield. *Western Journal of Agricultural Economics*. 3(2):145-156.

- Gutman, G., y Lavarello, P. 2007. Biotecnología y desarrollo: Avances de la agrobiotecnología en Argentina y Brasil. México. *Revista Economía: Teoría y práctica*. (27): 9-39.
- Harris, L. R. 2001. A computable general equilibrium analysis of Mexico's agricultural policy reforms. International Food Policy Research Institute. Discussion Paper No. 65, Trade and Macroeconomics Division, IFPRI.
- Hazell, P. 2009. The Asian Green Revolution. IFPRI Discussion Paper 00911. Washington, DC: International Food Policy Research Institute.
- Huang, J., and Rozelle S. 2009. Desarrollo agrícola y nutrición: las políticas que han favorecido el éxito de China. Documento especial N° 19- Programa Mundial de Alimentos.
- Kamruzzaman, M., Ahmed M., and Ashik Bashar M. A. 2000. Effect of Credit on Yield Gap and Technical Efficiency of Boro Paddy Production in a Selected Area of Comilla District. *Bangladesh Journal of Agricultural Economics*. 24(1-2):113-126.
- Kaufmann, R.K., and Snell S.E. 1997. A Biophysical Model of Corn Yield: Integrating Climatic and Social Determinants. *American Journal of Agricultural Economics*.79:178-190.
- Kaylen, M.S., Wade J.W., and Frank D.B. 1992. Stochastic trend, weather and US corn yield variability. *Applied Economics*. 24: 513-518.
- Lence, S.H. 2010. The Agricultural Sector in Argentina: Major Trends and Recent Developments, Cap. 14. *In: The Shifting Patterns of Agricultural Production and Productivity Worldwide*. Iowa State University. The Midwest Agribusiness Trade Research and Information Center (MATRIC). pp: 409-448.
- Lin, J.Y. 1992. Rural Reforms and Agricultural Growth in China. *American Economic Review* 82:34-51.
- López-Feldman, A. 2012. Deforestación en México: Un análisis preliminar. CIDE, Documento de trabajo No. 527.
- Magalhaes, E., and Diao X. 2009. Productivity Convergence in Brazil, The Case of Grain Production. IFPRI Discussion Paper 00857.
- McClung de Tapia, E. 1997. La domesticación del Maíz. *Arqueología Mexicana*. 5(25): 34-39.
- McMillan, J., Walley J., y Zhu L. 1989. The Impact of China's Economic Reforms on Agricultural Productivity Growth. *Journal of Political Economy*. 97:781-807.
- Olivera Villarroel, S. 2013. La productividad del maíz de temporal en México: Repercusiones del cambio climático. *División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos*. CEPAL, Unidad de Cambio Climático.
- Parentoni, S.N., de Miranda R.A., and García J.C. 2013. Implications on the introduction of transgenics in Brazilian maize breeding programs. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, Brazilian Society of Plant Breeding. 13: 9-22.
- Pray C., Rozelle S., and Huang J. 1997. Can China's Agricultural Research System Feed China? Rutgers University, Department of Agricultural Economics. Working Paper. New Brunswick, NJ, USA.
- Roberts, M. J., Schlenker W., and Eyer J. 2012. Agronomic weather measures in econometric models of crop yield with implications for climate change. *American Journal of Agricultural Economics*. 95(2): 236-243.
- Rosegrant, Mark W., Sulser Timothy B., and Valmonte-Santos Rowena A. 2006. Global Markets and Sustainable Agricultural Development: Lessons from Brazil. Draft paper for presentation to the International Workshop on Transforming Tropical Agriculture: An Assessment of Major Technological, Institutional and Policy Innovations, Brasília, Brazil.
- Ruttan, V. W. 2002. Productivity Growth in World Agriculture: Sources and Constraints. *The Journal of Economic Perspectives*. American Economic Association. 16(4): 161-184.
- Sadoulet, E., de Janvry A., and Davis B. 2001. Cash Transfer Programs with Income Multipliers: PROCAMPO in Mexico. *World Development*. 29(6): 1043-1056.
- Salvador Chamorro, A. I. 2008. El proceso de reforma económica de China y su adhesión a la OMC. *Revista de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales*. Universidad de León, España. *Pecunia*. (7): 257-284.
- Schlenker, W., and Roberts M.J. 2006. Nonlinear Effects of Weather on Corn Yields. *Review of Agricultural Economics*. 28(3): 391-398.
- Sturzenegger, A. C., and Salazni M. 2007. Distortions to Agricultural Incentives in Argentina. *Agricultural Distortions Working Paper 11*. World Bank. Washington, D. C.
- Turrent Fernández, A., Wise T. A., and Garvey E. 2012. Factibilidad de alcanzar el potencial productivo del maíz de México. *Mexican Rural Development Research Reports*, Report 24. 36 p.
- Wang, J. 2000. Property Right Innovation, Technical Efficiency and Groundwater Management: Case Study of Groundwater Irrigation System in Hebei, China. Ph.D. thesis.
- Winters, P., and Davis B. 2009. Designing a Program to Support Smallholder Agriculture in Mexico: Lessons from PROCAMPO and Oportunidades. *Development Policy Review*. 27(5): 617-642.
- World Bank. 2006. Argentina Agriculture and Rural Development. Selected Issues, Environmentally and Socially Sustainable Unit, Latin American and the Caribbean Region, Report No. 32763-AR.
- Yunez Naude, A., and Serrano Cote V. 2010. Liberalization of Staple Crops: Lessons from the Mexican Experience in Maize. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 4(3): 95-101.