

## **Análisis de la producción de maíz en la zona oriente del Estado de México**

CRUZ-CRUZ, Nancy Vianey, PORTILLO-VÁZQUEZ, Marcos, RASTEGARI-HENNEBERRY, Shida y PÉREZ-SOTO, Francisco

N. Cruz<sup>1</sup>, M. Portillo<sup>2</sup>, S. Rastegari<sup>3</sup> y F. Pérez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> LICEO Universidad Pedro de Gante (Liceo-UPG), Texcoco, México

<sup>2</sup> Centro de Investigación en Economía y Matemáticas Aplicadas (CIEMA) de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Texcoco, México

<sup>3</sup> Director de la Maestría del Programa en Agricultura Internacional de la Oklahoma State University (OSU), EEUU

[nvianey.cruz@gmail.com](mailto:nvianey.cruz@gmail.com)

F. Pérez, E. Figueroa, L. Godínez, R. Salazar (eds.) Ciencias Sociales: Economía y Humanidades. Handbook T-III.- ©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

## Abstract

Corn is the most important crop in the Mexican diet, white corn is destined for human consumption and its demand is being satisfied; however, the demand for yellow corn has not been met, thereby necessitating imports. The objective of this study was to identify the technical variables that most affect corn yield of the eastern region of Mexico State. Generalized linear models and stepwise regression were used. The variables with an important statistical significance and determined corn yield were types of seed, phosphorus, irrigation, herbicides, and labor, as well as pesticides; quadratic and cubic effects of phosphorus, animal traction, and nitrogen. It is suggested for a future research incorporate additional variables into the model such as temperature, previous crops, rainfall and increase the number of surveys.

## 9 Introducción

El maíz se produce a lo largo y ancho de la República Mexicana en diversos ambientes agroecológicos, aunque se han utilizado nuevas tecnologías como el establecimiento de fechas y métodos de siembra; nuevos híbridos y el uso de maquinaria, los resultados en el rendimiento y en la calidad del grano siguen siendo muy heterogéneos.

A pesar de que se ha promovido el uso de tecnologías entre los productores de maíz en el Estado de México, existen factores sociales que motivan a la adopción o no de las mismas, como la edad; la educación, el acceso a la información y los usos y costumbres de los productores mismos que son decisivos para la eficiencia del cultivo.

De acuerdo a datos del Sistema de información Agroalimentaria de Consulta [SIACON] (2013d, 2013e) el maíz blanco fue el grano de mayor importancia en México, el volumen de producción registró una tasa de crecimiento media anual (TCMA) de 46.8 por ciento (%), mayor que la del grano amarillo que registró una TCMA de 17 %, en los años 2000 al 2012.

El maíz blanco se destina principalmente al consumo humano, cuya demanda está satisfecha; sin embargo, la demanda por el grano amarillo, que es para consumo de la industria pecuaria, no ha sido compensada, realizándose importaciones y en algunos casos la industria pecuaria se ha visto forzada a incluir entre su materia prima al maíz blanco.

En México, de un total de 193 productos agrícolas cultivados, el maíz grano fue el principal cultivo en 2012, con una superficie sembrada de aproximadamente 7, 372, 218.19 ha esto es el equivalente al 47.4 % del total de la superficie sembrada nacional, por año agrícola y de modalidad en riego y temporal, demostrando la importancia del grano a nivel nacional (SIACON, 2013b).

En cuanto al Estado de México, este cuenta con una diversidad de 82 productos agrícolas registrados oficialmente, siendo el maíz el principal grano cultivado en 2012 destinándole el 72.3 % del total de la superficie sembrada, para cultivos de riego y temporal y por año agrícola, equivalente a un total de 556, 325.32 ha sembradas (SIACON, 2013c).

En esta investigación se eligió al Estado de México por ser un escenario promedio y en transición; específicamente la zona oriente que es la región que sobresale en la producción por superficie sembrada de ambos granos, para evaluar la tecnología aplicada, los insumos y la maquinaria.

A pesar de que el Estado de México es uno de los principales productores de maíz blanco, por superficie sembrada, sus rendimientos ligeramente superaron la media nacional en 2012, de 2.86 toneladas por hectárea (t/ha), registraron solo 3 t/ha. Este rendimiento es dos veces menor comparado con los rendimientos más grandes que tuvo Sinaloa con 9.4 t/ha en el mismo año. Por otro lado, en el maíz amarillo tuvo un rendimiento menor pues no alcanzó al de la media nacional de 4.3 t/ha y registró solo 2.9 t/ha, pese a dichos resultados su producción ha venido consolidándose en el Estado (SIACON, 2013a; 2013f, 2013g, 2013h).

La falta de información dinámica sobre los factores que determinan la productividad así como el nivel de uso de insumos de los sistemas agrícolas puede subestimar o sobreestimar la rentabilidad de los cultivos impidiendo decisiones acertadas de continuar o no con dichos sistemas; el conocer las variables y técnicas que afectan el rendimiento en la producción de maíz permitirá una mayor comprensión económica de este.

El objetivo de esta investigación fue identificar las variables técnicas que afectan el rendimiento del maíz, para garantizar la productividad del cultivo y mostrar al agricultor el nivel en que no gana ni pierde y las decisiones a tomar y así convertirlo en un sistema redituable para los productores del Estado de México.

### **9.1 Metodologías para el análisis de productividad de un sistema agropecuario**

En general, la agricultura se puede definir como un sistema heterogéneo de producción, aun dentro de una misma región los productores aplican técnicas y conocimientos individualmente que fueron aceptados y adoptados a través de la experimentación o mediante la información técnica. Siendo la agricultura un sistema heterogéneo y cuya naturaleza implica riesgos, siempre se ha buscado la evaluación de sus impactos a nivel social, económico y recientemente a nivel ambiental.

Para la evaluación de la productividad de un sistema agrícola se han empleado diferentes metodologías con similitudes en algunas de ellas; por ejemplo el Análisis Beneficio–Costo (B-C) y la Matriz de Análisis de Política (MAP), otras metodologías o modelos como las funciones de producción que evalúan más allá del rubro económico que facilitan no solo el cálculo de la eficiencia económica sino también de la eficiencia técnica del sistema como los mostrados en los manuales de la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

El análisis B-C, del cual Dupuit ha sido elogiado por sus grandes contribuciones, si bien más dirigidas a proyectos de carácter público, sus principios se han utilizado en diversos ámbitos.

De acuerdo a Maneschi (1996) Dupuit tomó el problema con J.B. Say y su colega ingeniero L.M.H. Navier sobre su metodología para la identificación y medida de los beneficios de proyectos de transporte. Él alertó que por seguir sus consejos ‘uno es conducido completamente a resultados falsos los cuales tienen las más serias consecuencias para el bienestar público’. También detalló que la posición de Dupuit usando el ejemplo de Navier, para la evaluación de los beneficios de un canal, expuso las falacias en las metodologías seguidas por Say y Navier por limitar su comparación a los costos totales de transporte argumentando que ‘el fin último del bienestar de la comunicación debería ser reducir no los costos de transporte, pero si los costos de producción’.

Adler & Posner (1999) concluyeron que el análisis B-C es un procedimiento de decisión útil y debería ser rutinariamente usado por agencias ya que en su opinión este es superior a metodologías rivales en agencias habilitadas para evaluar proyectos de acuerdo a la extensión en que ellos contribuyen al bienestar general.

El análisis B-C también se ha aplicado a la evaluación de proyectos de ámbito agrícola como en Paul (1970) que examinó la factibilidad de inversiones en pozos, bombas y tractores y la capacidad de pago de los productores emprendiendo estas inversiones. De igual manera, Babu (2013) usó el análisis B-C para comparar costos inmersos en la producción agrícola orgánica y convencional y conocer cuál sistema es de costo efectivo.

Por su parte, Monke & Pearson (1989) propusieron a la MAP como una metodología para medir el impacto de la política gubernamental, la definieron como un producto de dos identidades contables en la que establece a la rentabilidad como la diferencia entre ingresos y costos y la otra mide los efectos de las divergencias (distorsiones de políticas y fallas de mercado) como la diferencia entre los parámetros observados y los parámetros que podrían existir si las divergencias fueran removidas. A través del llenado de los elementos de la MAP (variables de producción y precios) para un sistema agrícola, un analista puede medir ambos la extensión de las transferencias ocasionadas por la serie de políticas actuando sobre el sistema y la eficiencia económica inherente del sistema.

La MAP es una metodología sobre la rentabilidad privada de los sistemas agrícolas y sobre el uso eficiente de los recursos. La rentabilidad privada y la competitividad son conceptos eminentes en el pensamiento de aquellos preocupados específicamente con los ingresos agrícolas (Monke & Pearson, 1989).

La rentabilidad social y la eficiencia están regularmente enfatizadas por los planeadores económicos cuya preocupación es la designación de los recursos entre los sectores y el crecimiento del ingreso agregado en la economía. A través de la evaluación de ingresos y costos privados y sociales, el método de la MAP está diseñado para facilitar las cuestiones del análisis de política agrícola. La aproximación está bien situada particularmente para el análisis empírico de la política de precios agrícolas y los ingresos agrícolas, la política de inversión pública, y la política de investigación agrícola y el cambio tecnológico (Monke & Pearson, 1989).

La aproximación de la MAP a la evaluación de política argumenta un punto desagregado de los efectos de eficiencia (como medido por la rentabilidad social) y de los efectos de no eficiencia. El analista puede hacer mucho en describir las contribuciones de un sistema particular para objetivos de no eficiencia y en cuantificar las implicaciones de eficiencia (ganancia de ingresos agregados o pérdidas). Pero es dejado a la discreción de cada hacedor de política determinar si objetivos de eficiencia y no eficiencia ameritan cambios en la política o el mantenimiento de incentivos a sistemas particulares (Monke & Pearson, 1989).

La metodología de la MAP se ha utilizado para evaluar sistemas agrícolas regionales (particulares) o sistemas agrícolas de países (generales). Monke & Pearson (1989) utilizaron la MAP para la identificación del sistema agrícola de productos en el Noroeste de México, específicamente en los estados de Sonora y Sinaloa, cuyos objetivos fueron evaluar la competitividad internacional de la agricultura de irrigación del Noreste y evaluar el impacto de la política de gobierno sobre la rentabilidad del ejido. La evaluación fue hecha a través de la comparación de los beneficios de política para granjas privadas con los beneficios provistos a los ejidos. Asimismo ejemplificaron su uso en algunos sistemas agrícolas de Ghana y Portugal.

La MAP también ha sido aplicada para examinar los componentes del dilema de la política arrocera de Indonesia para ayudar a los hacedores de política, analistas, y observadores aclarar los pros y contras de cursos de acción alternativos (Pearson, Monke, Naylor, Falcon, & Heytens, 1990).

FAO (2007) elaboró un manual para la aplicación de la MAP partiendo de la situación que enfrenta un país hipotético. Estas y otras aplicaciones de la Metodología se han seguido con el fin de determinar si un sistema de producción agrícola es conveniente para el productor así como los beneficios (impactos) que este genera en el entorno.

Otra metodología utilizada para evaluar el desempeño de un sistema de producción es la formulación de una función de producción a través de un modelo econométrico.

Dorman (2014) define a una función de producción como aquella expresión algebraica que relaciona la cantidad de un bien o servicio producido con los insumos de varios recursos productivos. La fórmula genérica se refleja así:

$$Q = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Donde  $Q$  es la cantidad de producto, las  $x$ 's (de 1 a  $n$ ) son diferentes insumos (o factores de producción) y  $f$  es una función que describe cómo los insumos son convertidos en productos. Las funciones de producción se aplican en distintas formas, modelos econométricos, y en distintas áreas de estudio como la industria y la agricultura, entre otros. Cabe mencionar que en la esfera económica (en términos de productividad y ganancia) se encuentra, casi siempre, per se en las funciones de producción. Las funciones de producción agrícola (modelos econométricos) buscan representar al sistema, identificar las relaciones entre productos e insumos (nivel de eficiencia), predecir el comportamiento a través de distintos escenarios (plenitud o escasez), generar recomendaciones que permitan al productor la mejor toma de decisiones y garantizar el beneficio económico, este último es uno de los objetivos más buscados por los investigadores y hacedores de política.

Una de las funciones populares aplicadas al sector agropecuario es la Cobb–Douglas cuando se trata de caracterizar la producción agrícola de una región o de un país (Gómez, 1964). Cobb & Douglas (1928) desarrollaron su teoría del movimiento de trabajo, capital, producción, valor y salarios para las industrias manufactureras de los Estados Unidos, este modelo fue diseñado inicialmente para medir los cambios en la cantidad de trabajo y capital usados para convertir cierto volumen de bienes y para determinar qué relaciones existían entre los factores de trabajo, capital y producto.

Otras funciones son las obtenidas a través del modelo donde Nelder & Wedderburn (1972) combinaron componentes sistemáticos y aleatorios para producir un modelo lineal generalizado (GLM) por sus siglas en inglés, caracterizado por una variable dependiente, una serie de variables independientes y predichas y una función de liga que conecta el parámetro de la variable dependiente con las variables predichas del modelo.

Toro et al. (2010) explicó otra forma de obtener funciones de producción a través de las relaciones funcionales de regresión lineal múltiple donde destacan la función lineal; la función cuadrática, la función cúbica y la función hiperbólica.

La función lineal corresponde a una función que asocia dos o más variables de forma que la dependiente se calcula a partir de las independientes  $x$ 's, del valor del término independiente  $\alpha$ , del coeficiente  $\beta$ , y del error  $\varepsilon$ , siendo  $\varepsilon$  y  $\beta$  independientes de  $X$  e  $Y$ , y  $X$  no puede estar elevada a ninguna potencia.

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \varepsilon$$

La función cuadrática tiene un modelo que representa este tipo de frontera, queda expresado por:

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_1^2 + \varepsilon$$

Donde  $\alpha$  corresponde al intercepto o término independiente,  $\beta_1$  es el coeficiente lineal o de primer grado,  $\beta_2$  es el coeficiente cuadrático o de segundo grado (siendo siempre distinto de cero) y  $\varepsilon$  corresponde al error. La función cúbica en una función de producción suele contener un rango de rendimientos crecientes, seguido por una etapa de rendimientos decrecientes y posteriormente por resultados negativos.

Yunker citado por (Toro et al., 2010) representó la función cúbica como:

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 X + \alpha_2 X^2 - \alpha_3 X^3$$

Donde  $Y$  corresponde al output,  $X$  es el factor de producción,  $\alpha_0$  corresponde al intercepto,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  y  $\alpha_3$  son parámetros positivos [sic].

Las funciones hiperbólicas poseen propiedades similares a las cuadráticas, con la diferencia de presentar una mayor dificultad en la realización de su ajuste. La productividad marginal es creciente y luego decreciente para un solo inputs [sic] variable.

Aspicueta et al. (citado por Toro et al., 2010) representó a la función hiperbólica en la predicción diaria de leche como sigue:

$$Y = b_0 + b_1 x + b_2 x^{-1}$$

Donde,  $Y$  es la producción de leche diaria,  $x$  es la semana de lactación y  $b_0$ ,  $b_1$ , y  $b_2$  son los parámetros de cada función.

Las funciones de producción lineales; cuadráticas, cúbicas e hiperbólicas en su vasta mayoría han sido utilizadas para determinar la relación entre los insumos aplicados y los productos obtenidos. En los sistemas agropecuarios, por ejemplo, el determinar la relación entre la cantidad de insumos aplicados por la cantidad de maíz obtenido; en la producción de carne con los insumos aplicados comparados con las características de la calidad de carne obtenida, entre otros productos.

## 9.2 Materiales y métodos

### 9.2.1 Lugar de investigación

La investigación se realizó en la zona oriente del Estado de México, este se localiza en la zona central de la República Mexicana, en la parte oriental de la mesa de Anáhuac. Colinda al norte con los estados de Querétaro e Hidalgo; y al sur con Guerrero y Morelos; al este con Puebla y Tlaxcala; y al oeste con Guerrero y Michoacán, así como con el Distrito Federal, al que rodea al norte, este y oeste. Su extensión territorial es de 22, 499.95 kilómetros cuadrados, cifra que representa el 1.09 % del total del país ocupando el lugar 25 en extensión territorial, respecto a los demás estados. Cuenta con 125 municipios divididos en 16 regiones. (Gobierno del Estado de México [GEM], 2013). Los municipios considerados fueron Amecameca; Ayapango, Chalco, Chiahutla, Ozumba, Texcoco y Tepetlaoxtoc.

### 9.2.2 Tipo de investigación

El uso de las funciones lineales de producción tienen como antecedente el modelo de Nelder & Wedderburn (1972) que se ha aplicado en diferentes sectores de la economía así como la teoría de la producción explicada en Dorman (2014). En la agricultura se han utilizado mayormente para la detección de la factibilidad en la administración de insumos como fertilizantes o agua, en general su uso se ha encaminado hacia la evaluación de la productividad de los sistemas agrícolas.

La presente investigación se considera del tipo exploratoria y correlacional pues además de incluir factores técnicos, usualmente insumos, también considera la relación entre ellos y sus efectos en diversos escenarios.

### 9.2.3 Recopilación de información

A nivel nacional y estatal se recopiló información sobre la producción del grano en riego y temporal a través del Sistema de información agrícola y de consulta (SIACON). La base de datos fue obtenida de Hurtado (2006) donde se seleccionaron 229 encuestas aplicadas a productores dedicados a la siembra de maíz en la zona oriente del Estado de México (ciclo agrícola 2004).

Para el alcance de los objetivos planteados se emplearon como variables a las labores culturales e insumos aplicados. Se consideraron como labores culturales el subsoleo; barbecho, cruza, rastra, nivelación, surcado, siembra, fertilización, riego y otras técnicas aplicadas para el control de plagas y enfermedades. Los insumos fueron; semilla, nitrógeno, fosforo, potasio, herbicidas, plaguicidas, agua así como la cantidad de mano de obra utilizada.

### 9.2.4 Técnicas de análisis de datos

Se consideraron los periodos 1995 a 2012, 2000 a 2012 y para algunos se utilizó solo los años disponibles a fin de no subestimar la información (a nivel nacional y Estado de México). Los datos obtenidos fueron de maíz grano blanco, amarillo y de color para superficie sembrada, rendimiento y precio.

En ambos casos, a los datos se les calculó la TCMA con la fórmula empleada por el INEGI (2001) y adaptada como sigue:

$$TCMA = \left[ \left( \frac{P_f}{P_i} \right)^{1/t} - 1 \right] * 100 \quad (9)$$

Donde  $P_f$  = dato final del periodo de estudio

$P_i$  = dato inicial del periodo de estudio.

$t$  = la magnitud de dicho periodo.

El análisis de resultados consistió en un análisis técnico donde se elaboraron modelos de regresión lineal (GLM) y de regresión stepwise, por su nombre en inglés, que mejor representaran al problema de investigación aplicando la teoría de la producción y utilizando el Statistical Analysis System (SAS® 9.0, 2002).

En el caso de los modelos GLM se formularon para identificar que las variables independientes incluidas tuvieran relación estadística significativa con la variable dependiente. En el caso de las regresiones stepwise se utilizaron para identificar las variables que tuvieran relación significativa con la variable dependiente; iniciando con la de mayor relación y acumulada con las siguientes variables de manera descendente. Posteriormente se seleccionaron e interpretaron los mejores modelos GLM y la regresión stepwise. Finalmente se redactaron las conclusiones y recomendaciones de la investigación en el sentido socioeconómico como estadístico.

### 9.3 Resultados y discusión

En este apartado se formularon diferentes modelos analizados en GLM y la regresión stepwise obteniendo aquel modelo que explica mejor la situación actual de la producción de maíz en el oriente del Estado de México. Para el cálculo de la función de producción se partió de los supuestos básicos como la existencia de un producto; maíz, y de los factores (insumos) que lo determinan.

#### 9.3.1 Modelo planteado

Para identificar las variables técnicas que afectan a la variable dependiente, se partió de la hipótesis de que el rendimiento de maíz está en función de las variables nitrógeno; fósforo, potasio, mano de obra, tipo de semilla, riego, cantidad de semilla, maquinaria, herbicidas, plaguicidas, estiércol, tracción animal, y de los efectos entre los insumos. Las variables se definen en la Tabla 9 y la Tabla 9.1.

**Tabla 9** Especificación de variables

Variable	Unidad	Símbolo
Rendimiento	kg/ha	R
Riego	binario (0/1)	A
Tipo semilla	binario (0/1)	TS
Mano de obra	no. jornal	MO
Fósforo	kg/ha	P
Nitrógeno	kg/ha	N
Potasio	kg/ha	K
Maquinaria	hr/ha	MAQ
Herbicidas	binario (0/1)	HE
Plaguicidas	binario (0/1)	PLA
Estiércol	binario (0/1)	ES
Cantidad de semilla	kg/ha	QS
Tracción animal	binario (0/1)	AN

Fuente: Elaboración propia a partir de base de datos

**Tabla 9.1** Especificación de los efectos entre las variables

Variable	Unidad	Símbolo
N al cuadrado	kg/ha	N2
P al cuadrado	kg/ha	P2
K al cuadrado	kg/ha	K2
Cantidad de semilla al cuadrado	kg/ha	QS2
P al cubo	kg/ha	P3
K al cubo	kg/ha	K3
Cantidad de semilla al cubo	kg/ha	QS3
Producto NP	kg/ha	NP
Producto NK	kg/ha	NK
Producto PK	kg/ha	PK

Fuente: Elaboración propia a partir de base de datos

Con lo anterior, se planteó el siguiente modelo:

$$R = f(N, P, K, MO, TS, A, QS, MAQ, HE, PLA, ES, AN, N2, P2, K2, QS2, N3, P3, K3, QS3, NP, NK, PK) \quad (9.1)$$

No se contó con información estadística de otras variables que pudieran tener influencia sobre los rendimientos como son temperatura; cultivos previos, ambiente, entre otros, para este modelo. Realizando una primera regresión con GLM, resultó que no todas las variables tuvieron efecto significativo sobre la variable dependiente; utilizando el criterio de selección generalmente aplicado para la discriminación de variables (que la probabilidad de que el parámetro sea 0 fuera  $< 15\%$ ). En la Tabla 9.2 se exponen las variables que tuvieron relación estadísticamente significativa con el rendimiento siendo; *MO, TS, A, MAQ, HE, PLA, P2, P3* y *NP*. El resto de las variables no resultaron significativas en este análisis.

**Tabla 9.2** Variables con relación estadísticamente significativa ( $R^2 = 0.5565$ )

Variable	MO	TS	A	MAQ	HE	PLA	P2	P3	NP
Pr >  t	<.0001	<.0001	0.0796	0.1464	0.0169	0.0892	0.1329	0.1170	0.0555

Fuente: Elaboración propia con resultados de SAS®9.0

La Tabla 9.3 presenta el resumen obtenido de la regresión stepwise donde se contemplaron las mismas variables que en la regresión GLM. Esta usó dos criterios; seleccionó las variables que hicieron mayor aportación al  $R^2$  y que su respectivo parámetro tuviera una probabilidad menor de  $15\%$  de ser 0 (lo que significa que sí tienen relación estadísticamente significativa con la variable dependiente rendimiento). Además discriminó aquellas variables que pudieran tener problemas de multicolinealidad como *MAQ* y *NP*, no así en GLM.

**Tabla 9.3** Resumen de variables seleccionadas ( $R^2 = 0.5328$ )

Step	Variable seleccionada	R2	Pr > F
1	TS	0.4030	<.0001
2	P	0.4503	<.0001
3	A	0.4684	0.0062
4	HE	0.4841	0.0096
5	MO	0.5012	0.0062
6	PLA	0.5090	0.0609
7	P2	0.5166	0.0644
8	AN	0.5234	0.0769
9	P3	0.5279	0.1490
10	N	0.5328	0.1338

Fuente: Elaboración propia con resultados de SAS®9.0

### 9.3.2 Modelo definitivo

Con los resultados obtenidos en el modelo inicialmente planteado y para descartar problemas de multicolinealidad; se seleccionaron las variables significativas de ambas regresiones GLM y stepwise, sin repetir, y se formuló un nuevo modelo al que se le aplicó las mismas regresiones, quedando como:

$$R = f(MO, TS, A, MAQ, HE, PLA, P2, P3, NP, P, AN, N) \quad (9.2)$$

En la Tabla 9.4 se muestran los resultados de la regresión GLM donde las variables que tuvieron relación estadísticamente significativa con el rendimiento fueron; *TS, P, A, HE, PLA, P2, PE* y *MO*.

**Tabla 9.4** Variables con relación estadísticamente significativa y ( $R^2=0.5565$ )

Variable	TS	P	A	HE	PLA	P2	P3	MO
Pr >  t	<.0001	.0005	0.0180	0.0206	0.0854	0.0187	0.0455	0.0003

Fuente: Elaboración propia con resultados de SAS®9.0

El tipo de semilla (*TS*) que utiliza el productor para la producción de maíz es primordial, tan solo el cambio de usar semilla criolla a semilla mejorada incrementa en el rendimiento 1780.42 kg/ha.

Por cada kilogramo adicional de fósforo (*P*) aplicado se genera un incremento en el rendimiento de 43.52 kg/ha.

El cambio del sistema de temporal al sistema de riego (*A*) incrementa el rendimiento en 665.19 de kg/ha.

La aplicación de herbicida (*HE*), existiendo malezas, aumenta el rendimiento en 386.29 kg/ha con respecto a que si este no se aplicara.

Cada jornal agregado (*MO*) al proceso de producción aumenta el rendimiento en 16.86 kg/ha.

La aplicación de plaguicidas (*PLA*) muestra un efecto negativo en aquellos que los utilizaron, su uso está relacionado con una disminución en el rendimiento en 462.63 kg/ha posiblemente porque la plaga generó algún daño al cultivo.

El efecto cuadrático y cúbico de fósforo ( $P2$ ) y ( $P3$ ) señala que la relación que se establece entre diferentes cantidades de este insumo y el rendimiento tiene productos marginales crecientes y decrecientes.

La Tabla 9.5 expone el análisis stepwise obteniendo los mismos resultados que en el modelo previamente elaborado, seleccionando a  $TS$ ,  $P$ ,  $A$ ,  $HE$ ,  $MO$ ,  $PLA$ ,  $P2$ ;  $AN$ ,  $P3$  y  $N$  como las variables más significativas. La variable ( $TS$ ) es la que tiene mayor relación estadística significativa en el rendimiento y por sí sola aporta el 40 % de la variación de dicha variable; el fósforo ( $P$ ) por sí solo contribuye al rendimiento en 5 %, la aplicación de riego ( $A$ ) con el 2 %, la aplicación de herbicida ( $HE$ ) y la utilización de mano de obra ( $MO$ ) aportan más del 1 %, respectivamente. Estas variables en conjunto explican en aproximadamente en 50 % la variación en rendimiento de maíz. El resto de las variables como  $PLA$ ;  $P2$ ,  $AN$ ,  $P3$  y  $N$  en total contribuyen al rendimiento aproximadamente con el 3 %. Las variables no descritas en este análisis no tienen coeficientes estadísticamente significativos y fueron eliminadas como  $MAQ$  y  $NP$  que resultaron correlacionadas y no pueden estar en el mismo modelo de regresión.

**Tabla 9.5** Resumen de variables seleccionadas y ( $R^2=0.5328$ )

Step	Variable seleccionada	R <sup>2</sup>	Pr > F
1	TS	0.4030	<.0001
2	P	0.4503	<.0001
3	A	0.4684	0.0062
4	HE	0.4841	0.0096
5	MO	0.5012	0.0062
6	PLA	0.5090	0.0609
7	P2	0.5166	0.0644
8	AN	0.5234	0.0769
9	P3	0.5279	0.1490
10	N	0.5328	0.1338

Fuente: Elaboración propia con resultados de SAS®9.0

Al ser  $TS$  la variable que más afecta en el rendimiento, es importante mencionar que el 78 % de los productores utilizó semilla criolla y el 22 % utilizó semilla mejorada. Los mayores rendimientos se obtuvieron empleando semilla mejorada, tanto en riego como temporal, con 4.8 t/ha en ambos sistemas, los rendimientos empleando semilla criolla fueron más bajos con 2.9 t/ha en riego y 2.3 t/ha en temporal.

## 9.4 Conclusiones

El maíz es el cultivo de mayor importancia en la dieta de la población mexicana, pues es el producto más importante de su canasta básica, a nivel nacional existen diferentes variedades nativas principalmente para consumo humano; sin embargo con la apertura comercial se ha dado cabida al uso de híbridos en sus diferentes modalidades, riego y temporal, ampliando así los usos de este grano.

México es uno de los principales productores de maíz blanco y principal consumidor e importador de maíz amarillo con producción insuficiente para abastecer la creciente demanda del grano (amarillo), no solo por el consumo destinado a la elaboración de tortilla sino por la creciente demanda de las industrias pecuaria y de almidón, la primera para la elaboración de alimento para ganado y la segunda para suplementos y otros productos alimenticios.

El Estado de México consume y produce principalmente maíz grano blanco, con aumento en los rendimientos obtenidos así como en el precio de venta, aunque en este último se ha visto más beneficiado el maíz amarillo por destinarse al sector industrial.

En la zona oriente del Estado de México, las variables estadísticamente significativas y que determinan en mayor medida el rendimiento del maíz son el tipo de semilla; el fosforo, el riego, la aplicación de herbicidas, el uso de plaguicidas, el uso de mano de obra, el uso de tracción animal y el uso de nitrógeno.

### 9.5 Recomendaciones

Se sugiere promover el mayor uso de semillas mejoradas como la mejor acción para influir en mayores rendimientos.

Se sugiere que para futuras investigaciones se incorporen otras variables como posibles determinantes del rendimiento tales como temperatura; cultivos previos, precipitación, entre otros y así ver su efecto en los ciclos presentes de producción.

Se sugiere que en investigaciones posteriores, para una región “pequeña”, se aumente el número de muestra para darle mayor confiabilidad a los resultados.

### 9.6 Referencias

Adler, M. D., & Posner, E. A. (1999). Rethinking cost-benefit analysis. *The Yale Law Journal*, 109(2), 165-247. Recuperado el 25 de febrero de 2015, de <http://www.jstor.org/stable/797489>

Babu, P. R. (2013). Cost benefit analysis in organic farming. *International Journal of Retailing & Rural Business Perspectives*, 2(4), 609-621.

Cobb, C. W., & Douglas, P. H. (1928). A theory of production. *The American Economic Association*, 18(1), 139-165. Recuperado el 25 de febrero de 2015, de <http://www.jstor.org/stable/1811556>

Dorman, P. (2014). *Microeconomics: A fresh start*. Recuperado el 25 de febrero de 2015, de <http://www.gbv.de/dms/zbw/738433551.pdf>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2007). Competitividad de la agricultura en América Latina y el Caribe. Matriz de Análisis de Política: Ejercicios de cómputo. Recuperado el 25 de febrero de 2015, de [http://www.fao.org/docs/up/easypol/769/comp\\_agri\\_america\\_221sp.pdf](http://www.fao.org/docs/up/easypol/769/comp_agri_america_221sp.pdf)

Gobierno del Estado de México (GEM). (2013, Noviembre 15). Turismo: Mapas y municipios. Recuperado el 15 de noviembre de 2013, de <http://portal2.edomex.gob.mx/edomex/temas/turismo/regionesy municipios/index.htm>

Gómez, E. (1964). Funciones de producción en la agricultura. *Revista de Estudios Agrosociales*, 48, pp. 35-130. Recuperado el 25 de febrero de 2015, de [http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf\\_reas%2Fr048\\_02.pdf](http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_reas%2Fr048_02.pdf)

Hurtado, H.F. (2006). *Competitividad de los productores de maíz en el Estado de México* (Tesis de doctorado). Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2001). Nota técnica. Cálculo de indicadores. Recuperado el 15 de noviembre de 2013, de [http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpvsh/doc/metodologia\\_indicadores.pdf](http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpvsh/doc/metodologia_indicadores.pdf)

Maneschi, A. (1996). Jules Dupuit: A sesquicentennial tribute to the founder of benefit-cost analysis. *The European Journal of the History of Economic Thought*, 3(3), pp. 411-432.

Monke, E. A., & Pearson, S. R. (1989). *The policy analysis matrix for agricultural development*. Recuperado el 25 de febrero de 2015, de <http://web.stanford.edu/group/FRI/indonesia/documents/pambook/pambook.pdf>

Nelder, J. A., & Wedderburn, R. W. M. (1972). Generalized Linear Models. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 135(3), pp.370-378. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/2344614>

Paul, S. (1970). Investment in Agriculture: A cost-benefit analysis. *Economic and Political Weekly*, 5(20), pp. 808-811. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/4359987>

Pearson, S., Monke, E., Naylor, R., Falcon, W., & Heytens, P. (1990). *Indonesian rice policy*. Recuperado el 25 de febrero de 2015, de <http://web.stanford.edu/group/FRI/indonesia/documents/ricebook/ricepolicy.pdf>

Sistema de información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). (2013a). Estados con mayor rendimiento de maíz grano amarillo. Recuperado el 10 de agosto de 2014, de <http://www.siap.gob.mx/optestadisticasiacon2012parcialasiacon-zip/>

Sistema de información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). (2013b). Producción agrícola nacional por superficie sembrada 2012. Recuperado el 10 de agosto de 2014, de <http://www.siap.gob.mx/optestadisticasiacon2012parcialasiacon-zip/>

Sistema de información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). (2013c). Producción agrícola total del Estado de México por superficie sembrada 2012. Recuperado el 10 de agosto de 2014, de <http://www.siap.gob.mx/optestadisticasiacon2012parcialasiacon-zip/>

Sistema de información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). (2013d). Producción nacional de maíz grano amarillo por volumen de producción años 2000-2012. Recuperado el 10 de agosto de 2014, de <http://www.siap.gob.mx/optestadisticasiacon2012parcialasiacon-zip/>

Sistema de información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). (2013e). Producción nacional de maíz grano blanco por volumen de producción años 2000-2012. Recuperado el 10 de agosto de 2014, de <http://www.siap.gob.mx/optestadisticasiacon2012parcialasiacon-zip/>

Sistema de información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). (2013f). Rendimiento de maíz grano en el Estado de México 2001-2012. Recuperado el 10 de agosto de 2014, de <http://www.siap.gob.mx/optestadisticasiacon2012parcialasiacon-zip/>

Sistema de información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). (2013g). Rendimiento nacional de maíz grano 1995-2012. Recuperado el 10 de agosto de 2014, de <http://www.siap.gob.mx/optestadisticasiacon2012parcialasiacon-zip/>

Sistema de información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). (2013h). Superficie sembrada maíz grano en el Estado de México 2001-2012. Recuperado el 10 de agosto de 2014, de <http://www.siap.gob.mx/optestadisticasiacon2012parcialasiacon-zip/>

Statistical Analysis System (SAS® 9.0) [Programa estadístico]. (2002). SAS Institute Inc. Cary, NC. USA.

Toro, P., García, A., Aguilar, C., Acero, R., Perea, J., y Vera, R. (2010). Modelos econométricos para el desarrollo de funciones de producción. *Departamento Producción Animal. Universidad de Córdoba. Documentos de trabajo producción animal y gestión, ISSN: 1698-4226 DT 13(1)*, pp. 1-55. Recuperado el 25 de febrero de 2015, de [http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/25\\_14\\_43\\_Modelos2\[1\].pdf](http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/25_14_43_Modelos2[1].pdf)