



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS ECONÓMICO
ADMINISTRATIVAS

*FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE MAÍZ
EN EL MUNICIPIO DE HUANDACAREO, MICHOACÁN*

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
**MAESTRO EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA Y DE
LOS RECURSOS NATURALES**

PRESENTA:

MARIANO GONZÁLEZ LÓPEZ

DIRECTOR:

DR. GERÓNIMO BARRIOS PUENTE

CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO. NOVIEMBRE DE 2020



**FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE MAÍZ EN EL MUNICIPIO
DE HUANDACAREO, MICHOACÁN**

Tesis realizada por **MARIANO GONZÁLEZ LÓPEZ** bajo la supervisión del
Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito
parcial para obtener el grado de:

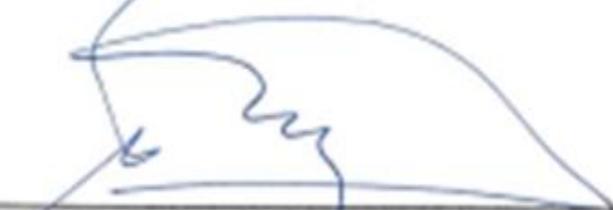
**MAESTRO EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA Y DE LOS
RECURSOS NATURALES**

DIRECTOR:



Dr. Gerónimo Barrios Puente

ASESOR:



Dr. Francisco Pérez Soto

ASESOR:



Dr. Juan Hernández Ortiz

ASESOR:



Dra. Dora María Sangerman Jarquín

DEDICATORIAS

A DIOS, por acompañarme en mi camino y ayudarme a salir adelante, aún en tiempos COVID-19.

Con una profunda admiración, dedico este trabajo a mis padres: Ma. Elda López García y Mariano González López, por darme su apoyo y amor incondicional.

Con mucho cariño a mis hermanos: Andrea González López y Helder González López, de quienes siempre he recibido su cariño y comprensión.

A mis compañeros de generación, en especial a los autodenominados “sukis trukis”.

Con mucho cariño, a todos mis familiares y amigos.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico que me brindó para poder realizar mis estudios de posgrado.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por haberme cobijado dos años más, dándome la oportunidad de estudiar una Maestría en Ciencias.

A la División de Ciencias Económico Administrativas (DICEA) por facilitarnos sus instalaciones y cuerpo académico que hicieron posible el aprendizaje en el posgrado.

A los integrantes de la Coordinación del Posgrado de Economía Agrícola y de los Recursos Naturales, por apoyarnos en todas las gestiones correspondientes.

Agradezco infinitamente al Dr. Gerónimo Barrios Puente, al Dr. Juan Hernández Ortiz, al Dr. Francisco Pérez Soto y a la Dra. Dora María Sangerman Jarquín por haberme brindado de su valioso tiempo en la dirección y revisión de este trabajo.

A los productores maiceros de Huandacareo, por brindarme las atenciones necesarias que hicieron posible la realización de este trabajo.

A Doris por ayudarme a hacer la tabla de contenido.

A todos, mis más sinceros agradecimientos.

DATOS BIOGRÁFICOS DEL AUTOR

Nació en la ciudad de Morelia, Michoacán, pero es originario de Huandacareo, Michoacán el 6 de febrero de 1992. Sus padres son Ma. Elda López García y Mariano González López (padre e hijo son homónimos). Fue consciente de su existencia hasta los 5 años, cuando asistió al jardín de niños “Lázaro Cárdenas” en Huandacareo, donde egresó a los 6 años. Luego ingresó a la primaria “Defensores de Huandacareo” donde pasó los 6 mejores años de su vida. Su infancia fue como cualquier otra. A los 12 ingresó a la secundaria “Cuitláhuac” en Huandacareo y ahí pasó otros 3 años de su vida, 2 de ellos bastante buenos. Cuando salió eligió el Colegio de Bachilleres del Estado de Michoacán plantel Cuitzeo para continuar sus estudios. Lo más destacado que recuerda de ahí es la vez que suspendieron clase por la influenza. Luego cursó tres semestres la carrera de Ingeniería en Agronomía en el Instituto Tecnológico del Valle de Morelia, donde en el 2012 se enteró de la existencia de la Universidad Autónoma Chapingo. Aplicó el examen de admisión y fue uno de los afortunados. A mediados de ese año ya cursaba el propedéutico en Chapingo. Y un año más tarde eligió la carrera de Ingeniería en Agroecología como futura profesión, porque dicha carrera tiene mucho que aportar a la agricultura. En el 2018 ingresó al propedéutico para ingresar a la maestría de DICEA.

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
ABREVIATURAS USADAS.....	ix
RESUMEN GENERAL.....	x
ABSTRACT.....	xi
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.1.1. Tecnología inadecuada.....	4
1.1.2. Disponibilidad de la maquinaria agrícola.....	4
1.1.3. Falta de capacitación.....	5
1.1.4. Minifundio.....	5
1.1.5. Falta de asociatividad.....	5
1.1.6. Falta de acceso a crédito.....	6
1.1.7. Arrendamiento de tierras.....	6
1.1.8. Influencia ganadera.....	6
1.1.9. Relación riesgo-beneficio.....	7
1.1.10. Ineficiencia de los subsidios gubernamentales.....	7
1.2. Justificación.....	8
1.3. Antecedentes.....	8
1.4. Objetivos.....	9
1.5. Hipótesis.....	9
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	10
2.1. Producción.....	10
2.2. Insumos fijos y variables; corto y largo plazo.....	10
2.3. La función de producción.....	11
2.4. El producto total.....	13
2.5. El producto medio y marginal.....	13
2.6. Las tres etapas de la producción.....	15
2.7. Ley de los rendimientos marginales físicos decrecientes.....	16
2.8. Tasa marginal de sustitución técnica y elasticidad de sustitución.....	16

2.9. Eficiencia económica: eficiencia técnica y de precios	18
2.10. Formulación matemática de la función de producción	19
2.11. Productividad	22
2.12. Productividad agrícola	23
2.12.1. Fuentes de la productividad agrícola	23
2.12.2. Importancia de la productividad agrícola.....	24
2.13. Productividad y rentabilidad.....	24
CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
3.1. Etapas de la investigación	26
3.2. Marco muestral	27
3.3. Diseño de la muestra	27
3.4. Localización del área de estudio y características socioeconómicas	29
3.4.1. Localización	29
3.4.2. Recursos naturales	29
3.4.3. Características socioeconómicas	30
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
4.1. Caracterización del sistema de manejo maicero de Huandacareo, Michoacán	32
4.2. Función de producción cuadrática.....	33
4.3. Óptimos económicos de la función de producción cuadrática	36
4.4. Función de producción logarítmica y potenciada	39
4.5. Óptimos económicos de la función de producción tipo Cobb-Douglas	41
4.6. Minimización del costo al producir 16 toneladas de maíz grano	49
4.7. Eficiencia económica	54
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
5.1. Conclusiones.....	59
5.2. Recomendaciones.....	63
LITERATURA CITADA.....	64
ANEXO 1. Entrevista semiestructurada.....	69
ANEXO 2. Procedimiento de medias (Proc Means).....	79
ANEXO 3. Regresión cuadrática	81
ANEXO 4. Cálculo del precio unitario de los insumos nitrógeno y potasio.....	82

ANEXO 5. Regresión logarítmica	83
ANEXO 6. Cambios en la eficiencia económica por superficie y posesión de la tierra	84

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Rendimientos de maíz grano en 2019 reportados por el SIAP.....	3
Cuadro 2. Valores medios generales, en riego y temporal.....	32
Cuadro 3. Rendimiento (kg/ha) de varios escenarios con la función cuadrática.....	39
Cuadro 4. Costos de producción promedio.....	56
Cuadro 5. Costos de producción de medianos y pequeños productores	57
Cuadro 6. Costos de producción con tenencia de la tierra.....	57
Cuadro 7. Número de productores por nivel de eficiencia económica...	58

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Una posible forma que puede adoptar un conjunto de producción.....	11
Figura 2. Isocuantas de producción.....	12
Figura 3. Producto total, medio y marginal.....	15
Figura 4. Líneas de contorno y la región económica de la producción...	17
Figura 5. La eficiencia técnica y la eficiencia de precios.....	18
Figura 6. Ubicación geográfica del municipio de Huandacareo, Michoacán.....	29
Figura 7. Mapa de distribución de suelos.....	30
Figura 8. El conjunto presupuestario.....	42
Figura 9. La relación marginal de sustitución.....	42
Figura 10. La elección óptima.....	43
Figura 11. La minimización del costo.....	49
Figura 12. Costo de producir 1 t de maíz grano por productor.....	55

ABREVIATURAS USADAS

AO= abono orgánico

C-D= Cobb-Douglas

ED= edad del productor

Etc.= etcétera

GS= gasto en semilla (\$)

ha= hectárea

K= potasio

Kg= kilogramos

Ln= logaritmo natural

Max= maximización

Min= minimización

N= nitrógeno

NOT= nivel óptimo técnico

NOE= nivel óptimo económico

PT= Producto total

P-V= primavera-verano

PIB= Producto Interno Bruto

PMe= Producto medio

PMg= Producto marginal

PXIN= gasto en los insecticidas aplicados

RI= número de riegos

RSM= Relación Marginal de Sustitución

t= Toneladas

TST= Tasa de Sustitución Técnica

SU= Tamaño de la parcela (superficie)

RESUMEN GENERAL

Función de producción del cultivo de maíz en el municipio de Huandacareo, Michoacán

El maíz (*Zea mays* L.) es el cereal más investigado de los productos agrícolas en México. En el país, dicho cultivo se siembra principalmente en condiciones de temporal y en el ciclo productivo primavera-verano. El maíz es componente esencial de la dieta de los mexicanos con un consumo per cápita promedio anual de 120 kg. Por ello, es importante analizar el nivel de eficiencia con el que se utilizan los insumos involucrados en una producción maicera típica. El objetivo de este trabajo fue estimar una función de producción con datos de campo para determinar si los insumos involucrados en la producción de maíz grano en el municipio de Huandacareo, Michoacán, se utilizan eficientemente, y de no ser así, examinar sus causas y determinar sus niveles óptimos. La investigación se llevó a cabo en el periodo comprendido entre agosto de 2018 y octubre de 2020. Ésta se dividió en dos etapas de gabinete y una de campo, en la cual se realizaron 68 entrevistas semiestructuradas dirigidas a los productores maiceros convencionales, lo que representó 68% de la población. En ellas se recabó información sobre insumos, rendimientos y costos de la producción de maíz. Los resultados muestran que las variables gasto en semilla, número de riegos, potasio, nitrógeno y edad del productor son los factores que mejor explican el rendimiento de maíz grano. Mediante una función de producción tipo Cobb-Douglas se calcularon los óptimos económicos para nitrógeno (N) y potasio (K), los cuales fueron 181 y 32 kilogramos respectivamente, relativamente diferentes para los que resultan con una función cuadrática. Se concluyó que para incrementar la eficiencia económica del cultivo de maíz es necesaria una genuina organización económica campesina para gestionar compras consolidadas y reducir el costo de los insumos y, por ende, el costo por tonelada producida de maíz.

Palabras clave: maíz, función de producción, eficiencia económica, productividad.

ABSTRACT

Production function of corn crop in the municipality of Huandacareo,
Michoacán

Corn (*Zea mays* L.) is the most researched cereal of agricultural products in Mexico. In the country, this crop is sown mainly under seasonal conditions during the spring-summer production cycle. Corn is an essential component of the Mexican diet with an annual average per capita consumption of 120 kg. Therefore, it is important to analyze the level of efficiency with which the inputs involved in a typical corn production are used. The objective of this work was to perform a production function with field data to determine if the inputs involved in the production of grain corn in the municipality of Huandacareo, Michoacán, are efficiently used, and if not, examine their causes and determine their optimal levels. The research was carried out from August 2018 to October 2020. This was divided into two cabinet stages and a field one, in which 68 semi-structured interviews were done at conventional corn producers, which represented 87% of the population. Information in them was collected on inputs, yields and costs of corn production. The results show that the variables spending on seed, number of irrigations, potassium, nitrogen and age of the producer are the ones that best explain the grain corn yield. Using a Cobb-Douglas production function, the economic optimums were calculated for nitrogen (N) and potassium (K), which were 181 and 32 kilograms respectively, relatively different for those resulting with a quadratic function. It was concluded that to increase the economic efficiency of corn crop a genuine peasant economic organization is necessary to manage consolidated purchases and reduce the cost of inputs and, therefore, the cost per ton of corn produced.

Key words: corn, production function, economic efficiency, productivity.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Cómo en muchos países del orbe, en México y la mayoría de sus entidades federativas que lo componen, las actividades económicas rurales, especialmente las agrícolas son las de mayor importancia. En México, el sector agrícola es fundamental para la economía y el desarrollo del país. Su importancia radica en las funciones que desempeña, como la seguridad alimentaria, la conservación del medio ambiente y el paisaje rural (Ayala et al., 2009).

En México destaca la importancia relativa de los cultivos de cereales. En ese sentido, a nivel mundial el maíz se ha posicionado como el producto agrícola más importante entre todos los cereales existentes. Ha desplazado al trigo de ese sitio y se perfila como el grano más valioso, debido a su gran versatilidad de usos. Puede consumirse como alimento humano en forma directa y en muy diversas formas, utilizarse también en alimentos para ganado o puede transformarse industrialmente en productos con mayor valor agregado como almidón, glucosa, dextrosa, aceites, etanol y polímeros biodegradables. Actualmente se considera a esta gramínea como el recurso renovable más importante del mundo (González, 1995).

A su vez, el maíz es el principal cultivo en México, debido a su importancia como alimento de la población, lo cual lo convierte en un elemento clave a nivel económico, político y social en el país (Luna et al., 2012). Con excepción de las cumbres más elevadas, el maíz se cultiva en todo el territorio mexicano, pues no hay planta que lo aventaje en su adaptación a nuestro clima, en la utilidad de sus productos y en la diversidad de las materias alimenticias que produce (Lesur, 2005).

Sin embargo, a pesar de que el maíz es el cultivo más importante del país, la balanza comercial de maíz grano de México es deficitaria. Durante 2019 presentó un saldo negativo de 15.9 millones de toneladas, consecuencia de exportaciones por 0.72 millones de toneladas e importaciones por 16.7 millones de toneladas (SADER, 2020). Históricamente, Estados Unidos ha

sido el principal proveedor de maíz grano para nuestro país. De acuerdo con cifras del USDA, en el año 2020 se estima que México ocupa el segundo lugar como importador de maíz en el mundo, superando por tercer año consecutivo a Japón (SADER, 2019). Esta creciente importación implica entre otras cosas, que México cada vez tiene menor capacidad de producir maíz.

Este cultivo es muy importante en la región de estudio, en específico, los datos estadísticos emitidos por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de México, muestran que en 2019 en Michoacán se cosecharon 416,775 hectáreas de maíz grano, obteniendo un rendimiento promedio de 4.67 t/ha y una producción total de casi 2 millones de toneladas.

De los municipios michoacanos, los del Bajío se distinguen por la producción de granos, específicamente maíz (Mendoza, 2014). González (2017) estimó que, en el municipio de Huandacareo, Michoacán, se cultivó maíz en el ciclo agrícola P-V 2016 en una superficie de 285 hectáreas, de las cuales 225 son de labor de riego y 60 en condiciones de temporal, con una población de productores aproximada para ese mismo año de 140. Para el año 2019, los datos del SIAP arrojan que el rendimiento promedio de maíz fue de 3.7 t/ha en el año y el precio medio rural por tonelada fue de \$3554.

El alto costo de la renta de maquinaria agrícola y de los agroinsumos, la elección de germoplasma de baja calidad, el empleo de dosis de fertilización inadecuadas, el arrendamiento de tierras agrícolas y sus implicaciones, así como el minifundio, representan las principales limitantes de la productividad agrícola del municipio de Huandacareo para el caso del maíz, debido a que los aspectos anteriores influyen directamente, ya sea en la reducción del rendimiento (t/ha), en el aumento del costo de producción o ambos (González, 2017).

Como puede ser el caso del municipio de estudio, la productividad agrícola afecta a las perspectivas de una determinada región para el crecimiento y la competitividad en el mercado, la distribución del ingreso, el ahorro y la migración laboral.

1.1. Planteamiento del problema

La productividad de maíz grano en el municipio de Huandacareo, es inferior a la de algunos municipios circundantes que presentan condiciones edafoclimáticas y disponibilidad de recursos similares.

De acuerdo con González (2017) el sistema de manejo convencional de maíz grano en el municipio de Huandacareo fue una actividad agrícola rentable en el ciclo agrícola P-V 2016, dado que presentó una relación beneficio costo positiva (>1) y un rendimiento superior al promedio estatal. Sin embargo, este rendimiento suele ser inferior al de los municipios circundantes. Por citar un ejemplo, si comparamos el rendimiento de maíz grano en labor de riego reportados por el SIAP para el año 2019, observamos que el de Huandacareo es inferior al de algunos municipios circundantes destacados en la producción agrícola, lo anterior se observa en el cuadro 1.

Cuadro 1. Rendimientos de maíz grano en 2019 reportados por el SIAP

Municipio	Rendimiento promedio maíz grano 2019 (t/ha)	Distancia al municipio de estudio en km
Huandacareo	5.5	0
Puruándiro	7.92	44
Santa Ana Maya	7.11	42
Indaparapeo	6.54	56
Tarímbaro	6.57	37

Fuente: elaboración propia con datos del SIAP

El Cuadro 1 lleva a pensar que la productividad actual del maíz en el municipio de Huandacareo, Michoacán, es inferior a la potencial, dado que las condiciones edafoclimáticas en la región de análisis son similares. Es lógico preguntarse cuáles son las causas de lo anterior. Entre las razones más frecuentemente aludidas se explican la baja productividad son la tecnología inadecuada, la insuficiencia de la maquinaria agrícola, la poca capacitación de productores maiceros, el minifundio, la falta de asociatividad, poco acceso a

créditos agrícolas, el arrendamiento de tierras y sus repercusiones, la influencia ganadera, la relación riesgo-beneficio y la ineficiencia de los subsidios gubernamentales. Enseguida se describen algunos de los principales factores que influyen para que esta realidad agrícola esté presente.

1.1.1. Tecnología inadecuada

De acuerdo con González (2017) los principales problemas a nivel de tecnología aplicada a producción maicera en el municipio de estudios son los siguientes: el germoplasma elegido es de mediana calidad, la fertilización potásica es insuficiente, la fertilización con microelementos es prácticamente nula, las fertilizaciones se realizan fuera de tiempo y forma y, por último, los productos elegidos para el control de malezas y plagas son de baja calidad, ocasionando estrés y competencia a la planta de maíz. A nivel de infraestructura, el sistema de riego agrícola del municipio podría mejorarse para incrementar el número de hectáreas con irrigación, situación que podría incrementar el rendimiento de maíz grano en el sitio de estudio.

Los puntos anteriormente mencionados son sólo algunas consideraciones que, en conjunto, podrían explicar la baja productividad del cultivo en el municipio.

1.1.2. Disponibilidad de la maquinaria agrícola

Son pocos los productores que son poseedores de toda la maquinaria agrícola necesaria para el cultivo convencional de maíz (tractor, arado, rastra, cultivadora, sembradora, bomba fumigadora, etc.), y por esa razón, muchos de ellos se ven en la necesidad de arrendar maquinaria a maquiladores locales para atender las labores de su cultivo. Situación que es entendible por la pequeña escala de los terrenos agrícolas destinados a la producción maicera. Sin embargo, esta dinámica de maquila les genera algunos inconvenientes que merman la productividad de su cultivo, dado que muchas veces las labores agrícolas que demanda el cultivo (fertilizado, escarda, fumigado, etc.) no son atendidas en tiempo y forma, lo que deriva en un estrés a la planta, ya sea por falta de una buena nutrición, o por no atender a tiempo plagas y malezas.

1.1.3. Falta de capacitación

Los productores del municipio de Huandacareo, no reciben capacitaciones ni un acompañamiento técnico constante para la producción de maíz. Las capacitaciones impartidas son esporádicas y por lo general, de un tema diferente al maíz. Sólo 6 de los 140 productores de maíz del municipio de Huandacareo, Michoacán, durante el ciclo agrícola P-V 2016 tuvieron contacto con expertos en maíz, como ingenieros agrónomos, distribuidores de agroinsumos y trabajadores públicos de las instituciones del sector agrícola (González, 2017). El grueso de los productores maiceros del municipio, no tienen acceso a estos círculos de conocimiento, por lo que difícilmente incrementaran la productividad de su actividad agrícola por esta vía.

1.1.4. Minifundio

En el municipio de Huandacareo existen dos tipos de propiedad agrícola: ejidal y pequeña propiedad privada. De las 551 ha de superficie agrícola en Huandacareo, en el año 2016 alrededor de 285 ha se sembraron con maíz, en las demás se cultivó alfalfa y otras se utilizaron como agostadero (González, 2017). Para dicho año la superficie promedio cultivada con maíz por productor en el municipio fue de 2.81 ha en labor de riego (80 productores), y de 1 ha en condiciones de temporal (60 productores). En conclusión, el minifundio es el arreglo dominante de los terrenos agrícolas en el municipio de estudio, lo que dificulta su explotación e impide la implementación de economías de escala. Cabe resaltar que a nivel nacional el tamaño promedio de la superficie en labor de riego por ejidatario es de 3.5 ha (AQUASTAT, 2016). Es decir, en el municipio de Huandacareo cada productor de maíz en labor de riego tiene una superficie agrícola 20 por ciento más pequeña que el promedio nacional.

1.1.5. Falta de asociatividad

Hoy en día no existe alguna organización formal o figura legal de productores de maíz que vele por los intereses del gremio del municipio. Sólo existe una organización ganadera que como parte de sus actividades de apoyo a productores vende agroinsumos (semilla, fertilizantes y pesticidas) a precios

competitivos, pero su variedad, disponibilidad y calidad de estos es escasa, por lo que su impacto en términos de productividad es mínimo.

1.1.6. Falta de acceso a crédito

La inmensa mayoría de los productores maiceros del municipio de Huandacareo presentan problemas de liquidez a la hora de solventar los costos de la producción por falta de capital, dado que la actividad agrícola es sólo una más de las actividades productivas de su economía familiar. Son escasos los productores que tienen acceso a créditos bancarios, créditos a la cosecha y en general, a cualquier tipo de créditos agrícolas, dado que los requisitos para su solicitud por lo general son numerosos. La ausencia de créditos agrícolas muchas veces no permite el acceso a la tecnología de avanzada. Cabe destacar, que muchas veces esta ausencia de créditos agrícolas se debe a la renuencia de los mismos productores por endeudarse y arriesgar su capital en una actividad agrícola con un riesgo adyacente, lo anterior principalmente por temor al sobreendeudamiento y a perder aquello que hayan dejado en garantía por impago.

1.1.7. Arrendamiento de tierras

Aproximadamente, el 20 por ciento de la producción maicera del municipio se lleva a cabo en terrenos arrendados. Esto repercute negativamente en la productividad dado que el arrendatario no procura el cuidado necesario de las tierras para mantener su fertilidad en el largo plazo. Por la misma razón, algunos cuidados que no se efectúan en los terrenos agrícolas arrendados son el abonado orgánico, el nivelado láser, introducción de infraestructura de riego de mayor eficiencia y la rotación de cultivos principalmente.

1.1.8. Influencia ganadera

Muchos productores maiceros están inmersos en esta actividad con el objetivo de obtener alimento y forraje para su principal actividad económica, que es la ganadería, específicamente la engorda de ganado bovino. Estos productores no buscan maximizar la ganancia con la producción de maíz grano, sino que su lógica de producción lo que busca es producir alimento y forraje para su ganado a un precio más barato que los precios de mercado. Es decir, buscan

producir sus propios insumos y de esta manera, evitar comprarlos en el mercado, situación que les representa un ahorro en sus finanzas ganaderas. Esta lógica de producción muchas veces juega en contra de la productividad, dado que mientras estos productores obtengan una determinada cantidad de alimento y forraje más barata que a precios de mercado estarán satisfechos, y por ende no buscarán maximizar la producción o ganancia de su actividad agrícola maicera.

1.1.9. Relación riesgo-beneficio

El grueso de los productores maiceros se encuentra desprotegido contra cualquier tipo de eventualidad. El riesgo implícito en la producción maicera genera que los productores de maíz prefieran no adoptar tecnología de alto rendimiento, ya que les representa un mayor costo explícito. Por ello prefieren un paquete tecnológico que, aunque no permita obtener la totalidad del potencial productivo de los terrenos agrícolas, les permite con mayor facilidad recuperar su inversión. En la lógica del productor maicero, la adopción de esta tecnología convencional se ve como una inversión más segura, dado que el punto de equilibrio es más bajo.

1.1.10. Ineficiencia de los subsidios gubernamentales

Los subsidios gubernamentales, más que incrementar la productividad del cultivo de maíz, logran desestimular a los productores de maíz para que adopten tecnologías de alto rendimiento. El gobierno del Estado, a través de los ayuntamientos municipales, subsidia fertilizantes y semillas de bajo precio y calidad. Por lo que los productores de maíz, cada vez más renuentes a invertir su dinero en una actividad agrícola riesgosa como la maicera, prefieren adquirir estos agroinsumos subsidiados. Situación que tiene un impacto negativo en la productividad del cultivo en el municipio, ya que esta tecnología no logra aprovechar el potencial total de los terrenos agrícolas.

En síntesis, la baja productividad de maíz grano en el municipio de estudio refleja en parte las consecuencias de las limitantes estructurales del campo mexicano planteadas por Galindo (1996): a) baja coordinación entre las instituciones que realizan investigación y las que transfieren tecnologías; b)

falta de continuidad en los programas de generación y validación de tecnología; c) carencia de una estrategia de difusión tecnológica acorde con las características socioculturales de los productores; d) la generación de innovaciones tecnológicas no responde en ocasiones a las necesidades de los productores y consumidores; e) es baja la participación de los habitantes del medio rural en las actividades de difusión, validación y transferencia de tecnología; f) desarticulación de los programas gubernamentales de desarrollo; g) la capacitación a los productores es limitada y no se dispone de mecanismos para su ejecución y seguimiento; y h) los productores agropecuarios desconocen las nuevas tecnologías generadas en las instituciones de investigación y enseñanza.

1.2. Justificación

La productividad agrícola es vital para lograr los beneficios que les permitan a los productores garantizar la sostenibilidad de la producción de maíz, el sustento de sus familias y su crecimiento empresarial. Sarandón y Flores (2014) consideran que, desde el punto de vista social, el trabajo del agricultor debe de ser remunerado justamente, permitiéndole así, solventar todas sus necesidades básicas.

No obstante, hoy en día con la información disponible no se puede determinar con exactitud cuáles son las causas que impiden que el municipio de Huandacareo alcance un mayor rendimiento en el cultivo de maíz, ya que dado el conocimiento de la región y de la productividad de municipios aledaños al municipio de estudio, existen elementos suficientes para inferir que la productividad actual del municipio de estudio es menor a la potencial, lo que implica que algún insumo en la producción no se utiliza eficientemente. Esta investigación lo que intenta es encontrar cuales son los insumos que no se utilizan eficientemente y también, su causalidad.

1.3. Antecedentes

Al investigar acerca de la productividad del maíz en el estado de Michoacán sólo encontramos datos agregados a nivel estatal y municipal, principalmente el rendimiento promedio (t/ha) de maíz grano en labor de riego y temporal. Este indicador nos ayuda a tener una idea general de la productividad en un

determinado sitio, sin embargo, no nos sirve para identificar el conjunto de variables que la explican. De ahí la pertinencia de esta investigación.

Existen algunos trabajos relacionados con el maíz a escala local o regional en Michoacán, pero ninguno propiamente de productividad o función de producción. Astier et al. (2017) realizó una evaluación de sustentabilidad de sistemas campesinos de maíz de la región purépecha en Michoacán, entre los años 1998 y 2001. Orozco, Odenthal y Astier (2017) estudiaron la diversidad de maíces en Pátzcuaro, y su relación con factores ambientales y sociales. González (2017) realizó un estudio de la rentabilidad de siete sistemas de manejo en Huandacareo, Michoacán, este último quizás es el trabajo más cercano a un estudio de productividad a escala local. Otras investigaciones son de índole más ecológica como las de Sánchez y Guevara (2013) y Quesada et al. (2017). En cuanto a funciones de producción de maíz, la investigación más cercana es la de Blas (2012), quien generó una función de producción con observaciones de campo del Estado de México, donde encontró que las variables más significativas fueron el nitrógeno, el fósforo y los jornales. Xochimil y Portillo (2018) determinaron el óptimo técnico y económico en maíz de temporal en el Estado de México. Encontraron que las variables más significativas en su modelo fueron las horas de maquinaria agrícola, el tipo de semilla y el fósforo (Kg).

1.4. Objetivos

Estimar una función de producción con los datos de campo para determinar si los insumos involucrados en la producción de maíz grano en el municipio de Huandacareo, Michoacán, se utilizan eficientemente, de no ser así, examinar sus causas y determinar sus niveles óptimos.

1.5. Hipótesis

Los insumos utilizados en el sistema de manejo de maíz grano no se utilizan eficientemente debido a que se emplean prácticas tradicionales arraigadas en la costumbre de los productores.

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Producción

El trabajo es una actividad esencial para los seres humanos. Desde los albores de la humanidad, hombres y mujeres han tenido que elaborar los elementos satisfactorios de sus necesidades con ayuda de los medios que la naturaleza les ha provisto y las herramientas que ellos mismos han tenido que crear y mejorar. A los procesos para generar sus satisfactorios se les denomina genéricamente procesos de producción.

En un sentido amplio y moderno, producción se refiere a la creación de cualquier bien o servicio que la gente puede adquirir. No obstante, el concepto de producción resulta más claro cuando hablamos solo de bienes (Ferguson y Gould, 1984). Los ingredientes necesarios para producirlos se denominan factores de producción o insumos (Varian, 2010).

Cada vez más, los procesos de producción necesitan de una gran diversidad de insumos. Estos insumos no son tan simples como trabajo, capital y materias primas. Normalmente se utilizan diferentes tipos de insumos para producir un bien (Gould y Lazear, 1994) y su aprovechamiento adecuado es una impronta de cualquier productor.

La teoría de la producción analiza la forma en que el productor, dada una cierta tecnología, combina varios insumos para formar una cantidad de producto en una forma económicamente eficiente (Ferguson y Gould, 1984).

2.2. Insumos fijos y variables; corto y largo plazo

Al analizar el proceso de producción física es conveniente utilizar un artificio analítico: la clasificación de los insumos en fijos y variables. Se define como fijo a un insumo cuya cantidad no se puede cambiar de inmediato cuando las condiciones del mercado indican que tal cambio sería conveniente. En cambio, un insumo variable es aquel cuya cantidad se puede variar casi al instante en que se desea variar el nivel de producción (Ferguson y Gould, 1984). En relación con la diferenciación entre insumos fijos y variables, los economistas utilizan otro artificio corto y largo plazo. De acuerdo con Varian (2010) el largo plazo se distingue del corto en que en este último hay algunos factores de producción fijos (tierra, maquinaria, instalaciones, etc.). A largo

plazo, pueden modificarse todos los factores de producción, incluyendo la tecnología.

2.3. La función de producción

Desde una óptica estrictamente económica, lo relevante en la producción es que se emplean factores productivos y que la cantidad de producto obtenida está relacionada con la de factores o recursos. Las empresas, por lo tanto, deben procurar adoptar planes de producción que sean factibles desde el punto de vista tecnológico (Varian, 2010).

Al conjunto de todas las combinaciones de planes de producción se le denomina conjunto de producción, y muestra las elecciones tecnológicas posibles de la empresa. Supongamos que tenemos un único factor, medido por X , y un único producto medido por Y , en ese caso el conjunto de producción podría tener la forma que muestra la figura 1.

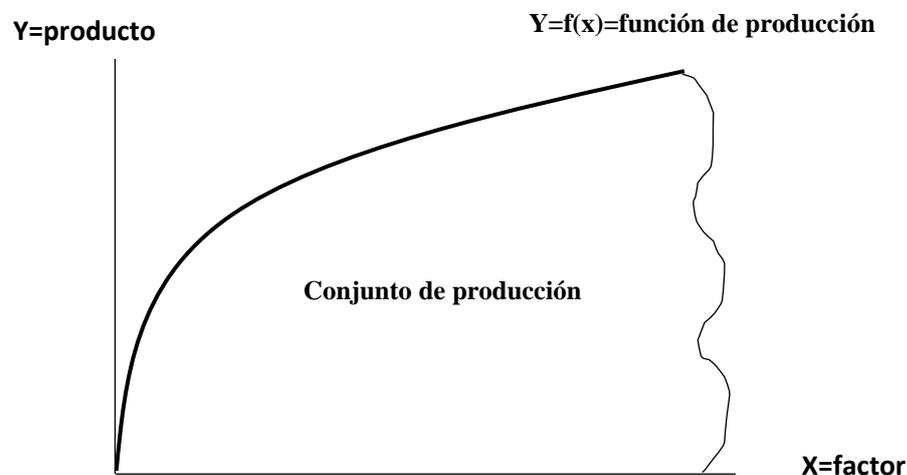


Figura 1. Una posible forma que puede adoptar un conjunto de producción.
Consultado en Varian (2010)

Si los factores cuestan dinero a la empresa, tiene sentido limitarse a examinar la producción máxima posible correspondiente a una cantidad dada de factores. La función determinada por esta frontera se denomina función de producción y mide el volumen máximo de producción que puede obtenerse con una cantidad dada de factores (Varian, 2010).

La función de producción asocia el producto físico con el insumo (Gould y Lazear, 1994). Ferguson y Gould (1984) define a la función de producción como una ecuación matemática que indica la cantidad máxima de producto (Q) que se puede obtener con un conjunto de insumos determinados, dada la tecnología existente. Por sencillez, se supone que hay dos insumos, mano de obra (L) y capital (K). Entonces, se puede escribir la función de producción como:

$$Q = F(K, L)$$

Esta ecuación plantea que la cantidad de producción depende de las cantidades de los dos insumos, capital y mano de obra. Las funciones de producción definen lo que es técnicamente factible cuando la empresa opera eficientemente, es decir, cuando la empresa utiliza cada combinación de insumos en forma tan efectiva cómo es posible (Pindyck y Rubinfeld, 1998).

Cuando hay dos factores, existe un instrumento apropiado para representar las relaciones de producción, se llama isocuanta y es el conjunto de todas las combinaciones posibles de los factores 1 y 2 que son suficientes para obtener una cantidad dada de producción (Varian, 2010).

Un mapa de isocuantas (figura 2) es un conjunto de curvas, en donde cada una de ellas muestra la producción máxima que se puede lograr para cualquier conjunto de insumos. Un mapa de isocuantas es una forma alternativa de describir la función de producción (Pindyck y Rubinfeld, 1998).

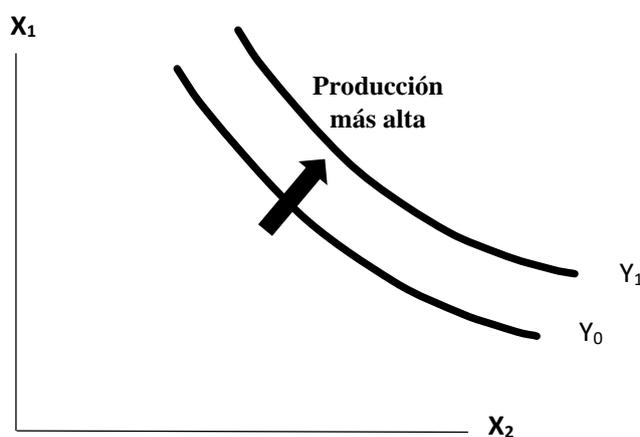


Figura 2. Isocuantas de producción. Consultado en Pindyck y Rubinfeld (1998)

Una empresa puede modificar las cantidades de producto variando las cantidades de insumos que combina de acuerdo con una técnica productiva, cambiando de una tecnología a otra o empleando ambas acciones. Se supone que la empresa emplea la técnica más eficiente, de tal manera que obtiene la máxima producción de cada combinación alternativa de insumos (Zepeda, 2001).

La formulación de la función de producción asume que los problemas de ingeniería y de gestión de la eficiencia técnica ya han sido tratados y resueltos, por lo que el análisis puede centrarse en los problemas de eficiencia en la asignación (Shephard, 1970 citado por Blas, 2012).

2.4. El producto total

El producto total es la cantidad total producida de un determinado bien (Parkin, 2006). La curva del producto total (PT) es similar a la curva del conjunto de producción. La figura 3a nos ayuda a separar los niveles de producción alcanzables de los que no lo son. Todos los puntos que están sobre la curva son inalcanzables. Los que están debajo de la curva, son alcanzables pero ineficientes, puesto que utilizan más unidades de insumo variable del necesario para generar una producción determinada. Únicamente los puntos que se encuentran sobre la curva del producto total son tecnológicamente eficientes (Parkin, 2006).

2.5. El producto medio y marginal

Dos relaciones importantes que existen entre los insumos afectan el nivel de la producción y la relación entre producto e insumo. La primera de ellas es la proporción en que se empleen los insumos y la segunda es la escala de los insumos, esto es, su cantidad absoluta (Ferguson y Gould, 1984).

El producto medio (PMe) de un insumo es el producto total dividido por la cantidad del insumo utilizado en la producción de esta cantidad. O sea que el producto medio es la relación producto/insumo para cada nivel de producción y el volumen correspondiente del insumo (Gould y Lazear, 1994).

Si se considera la función de producción $f(X | Y)$, donde X es el insumo variable y Y es el insumo fijo, y donde la barra vertical significa “dado”. El producto medio del insumo variable X es:

$$\frac{q}{x} = \frac{f(X | Y)}{x}$$

Por su parte, el producto marginal (PMg) de un insumo es la adición al producto total que se puede atribuir a la adición de una unidad del insumo variable al proceso de producción, mientras permanece constante el insumo fijo (Gould y Lazear, 1994). El producto marginal del insumo variable X es la derivada de la función del producto medio.

$$\frac{dq}{dx} = \frac{df(X | Y)}{dx}$$

La figura 3b ilustran varias características importantes de un proceso de producción típico. En primer lugar, tanto el producto medio como el marginal aumentan al principio, alcanzan un máximo y luego disminuyen. En el límite, el producto medio podría bajar hasta cero, porque se puede concebir que el propio producto llegue a ese punto. Por su parte el producto marginal puede volverse negativo.

La segunda característica importante es que el producto marginal es mayor que el producto medio cuando este último está aumentando, es igual que el mismo cuando el producto medio alcanza el máximo, y es menor que el producto medio cuando este disminuye (Ferguson y Gould, 1984).

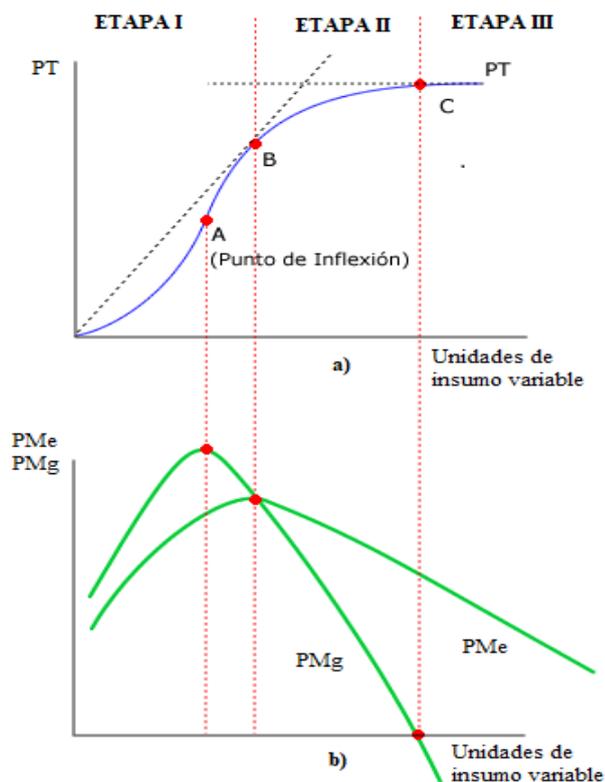


Figura 3. Producto total (PT), medio (PMe) y marginal (PMg). Consultado en Ferguson y Gould (1984)

2.6. Las tres etapas de la producción

Sobre la base del comportamiento del producto marginal (PMg) y producto medio (PMe) los economistas han clasificado la producción en tres etapas (Maddala y Miller, 1995):

- Etapa I: $PMg > 0$, $PMg > PMe$ y PMe subiendo. Por lo tanto, el producto total está aumentando.
- Etapa II: $PMg > 0$, pero PMe bajando. Por lo tanto, $PMg < PMe$, pero el producto total está aumentando (porque $PMg > 0$)
- Etapa III: $PMg < 0$. En este caso el producto total está bajando.

Ningún productor interesado en maximizar su ganancia debería producir en las etapas I o III. En la etapa I, al añadir una unidad de insumo más, el productor puede aumentar la producción en mayor proporción que el aumento del insumo. Sería poco sensato detener la producción en esta etapa. En

cuando a la etapa III, no conviene al productor encontrarse en esa región, porque al reducir las unidades de insumo puede aumentar la producción total y reducir costos.

Por consiguiente, la escala económicamente significativa es exactamente la que ofrece la etapa II. Todos estos resultados se muestran en la figura 3. En el punto de inflexión A se observa cuando se maximiza PMg . En el punto B, puesto que PMe se maximiza, se tiene que $PMe = PMg$. En el punto C el producto total llega a un máximo, en consecuencia, $PMg = 0$ en este punto.

2.7. Ley de los rendimientos marginales físicos decrecientes

La ley de los rendimientos decrecientes plantea que conforme aumenta el uso de un insumo (y mantener otros insumos fijos), se llega en algún momento dado a un punto en el que las adiciones dan como resultado una disminución en la producción (Pindyck y Rubinfeld, 1998).

Parecería más apropiado decir que, empezando desde cero, la ley de los rendimientos marginales físicos decrecientes se refiere al hecho de que, al agregar cada vez una unidad adicional de insumo, inevitablemente se llega a un punto a partir del cual el incremento resultante en la producción es cada vez menor. La ley de los rendimientos decrecientes es sólo una afirmación de relaciones físicas observadas en el mundo real (Ferguson y Gould, 1984).

2.8. Tasa marginal de sustitución técnica y elasticidad de sustitución

La teoría económica tradicional se centra en los intervalos eficientes de la producción, o sea, en aquellos en que el producto marginal de los factores es decreciente pero positivo. El lugar geométrico de los puntos de las isocuantas en que los productos marginales de los factores son cero constituye las líneas de contorno (figura 4). Las técnicas de producción sólo son técnicamente eficientes dentro de estas líneas de contorno, ya que fuera de ellas los productos marginales de los factores son negativos (etapa III). La teoría de la producción no toma en cuenta estos métodos ineficientes, que implican un comportamiento irracional de la empresa. La condición de productos marginales positivos pero decrecientes define el intervalo de producción eficiente o región económica de la producción (Koutsoyiannis, 1985).

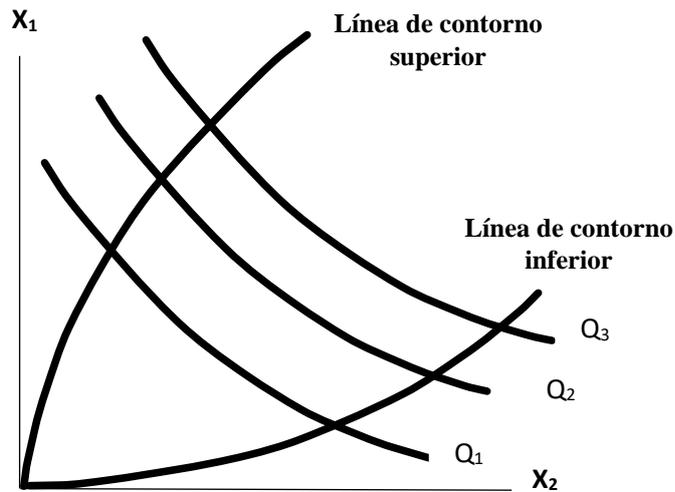


Figura 4. Líneas de contorno y la región económica de la producción. Consultado en Maddala y Miller (1995)

La pendiente de la isocuanta ($-\partial X_1/\partial X_2$) define el grado de sustituibilidad de los factores de la producción sin afectar el producto total (Q). La pendiente de la isocuanta disminuye (en términos absolutos) a medida que nos desplazamos hacia abajo a lo largo de la curva, lo cual muestra la creciente dificultad de sustituir X_2 por X_1 . Esa pendiente es denominada la tasa marginal de sustitución técnica (TMST) de los factores (Koutsoyiannis, 1985).

$$TMST_{x_2, x_1} = -\frac{\Delta X_1}{\Delta X_2} = \frac{PMgX_2}{PMgX_1}$$

Como medida del grado de sustituibilidad de los factores, la TMST tiene un serio defecto: depende de las unidades de medida de los factores. Una mejor medida de la facilidad de sustitución es proporcionada por la elasticidad de sustitución, que se define como el cambio porcentual entre la razón de los insumos X_1 y X_2 , dividido por el cambio porcentual en la tasa de sustitución técnica (Koutsoyiannis, 1985). Por lo general se representa mediante la letra sigma y se expresa en términos absolutos (Maddala y Miller, 1995).

Manteniendo constante la producción se define mediante:

$$\sigma = \frac{\text{Cambio porcentual en } x_1/x_2}{\text{Cambio porcentual en TMST}}$$

La elasticidad de sustitución es un número puro independiente de las unidades de medida de X_1 y X_2 , ya que el numerador y denominador se miden en las mismas unidades.

2.9. Eficiencia económica: eficiencia técnica y de precios

La eficiencia se define como la producción máxima con un conjunto dado de recursos: entre mayor sea la producción en relación con los insumos, mayor será el nivel de eficiencia (Yotopoulos y Nugent, 1981).

La figura 5 representa la isocuanta unitaria en los insumos X_1 y X_2 ; que son las combinaciones de X_1 y X_2 que generan una unidad de producción, Y_0 , en el contexto de la función de producción describe las combinaciones mínimas de insumos que pueden producir la producción unitaria.

En la figura 5 se muestra la utilización efectiva de insumos de dos empresas que producen una unidad de producto, una en Q y la otra en P. Comparando las dos empresas observamos que ambas utilizan las mismas proporciones de insumos X_1/X_2 ; se observa también que la empresa que se encuentra en Q produce la producción unitaria sólo con una fracción OQ/OP de la cantidad de cada insumo utilizado por la empresa que se encuentra en P. Por lo tanto, la empresa que se encuentra en Q se define como técnicamente eficiente.

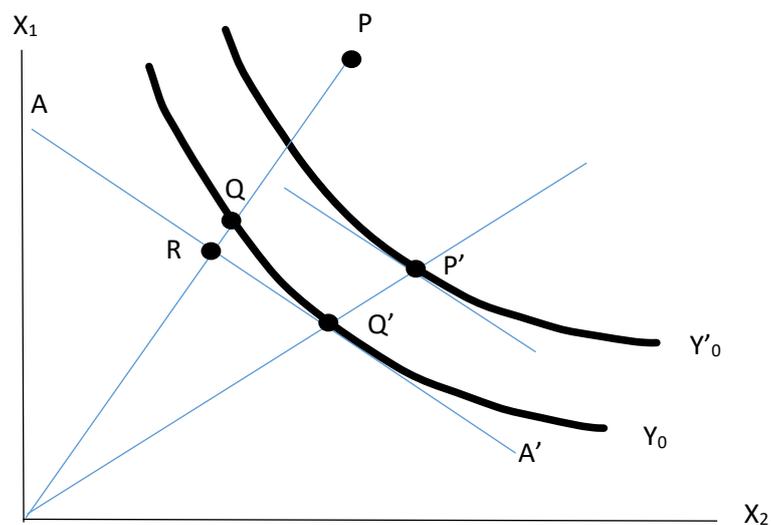


Figura 5. La eficiencia técnica y la eficiencia de precios.
Consultado en Yotopoulos y Nugent (1981)

Sin embargo, esta descripción omite deliberadamente la consideración de los precios de los insumos. El precio de X_1 en relación con el de X_2 se muestra en la figura 5 como la recta isocosto AA' . Comparando los precios de los insumos, reflejados en la pendiente de AA' , con sus productos marginales, reflejados en la pendiente de la isocuanta, se introduce el concepto de eficiencia de precios. La empresa que se encuentra en Q' es eficiente en términos de los precios porque el producto marginal del insumo X_1 y el producto marginal del insumo X_2 (o su razón) es igual, respectivamente, al precio del insumo X_1 y al precio del insumo X_2 (o su razón).

En virtud de que el costo en Q' es igual al costo en R , la eficiencia de precios de la empresa Q puede expresarse como OR/OQ . Ahora podemos combinar los criterios de la eficiencia de precios y la eficiencia técnica para definir la eficiencia económica. La empresa que se encuentra en Q es eficiente en sentido técnico pero ineficiente en términos de los precios. Lo mismo ocurre con la empresa que se encuentra en P' , eficiente en términos de los precios, pero se encuentra en la isocuanta técnicamente ineficiente $Y'o$. Sólo la empresa que se encuentra en Q' es económicamente eficiente.

2.10. Formulación matemática de la función de producción

De acuerdo con Yotopoulos y Nugent (1981), para un grupo de empresas homogéneas, podemos escribir la función de producción como:

$$Y = f(X_1, \dots, X_i, \dots, X_n) \quad (1)$$

Donde Y es la producción observada de las empresas con diferentes conjuntos de insumos, $X_1, \dots, X_i, \dots, X_n$. El paso siguiente, consiste en elegir una forma algebraica específica para la descripción de esta función. La elección entre numerosas posibilidades se hace de ordinario de acuerdo con criterios como la satisfacción de nociones previas acerca de la ingeniería y las leyes económicas de la producción, la factibilidad de la computación, etc.

La popularidad de la función Cobb-Douglas (C-D) puede atribuirse en gran medida a su consistencia básica con el cuerpo de teoría económica

establecido, sobre todo a la sencillez de su computación. Podemos escribir la forma C-D como:

$$Y = AX_1^{b_1} \dots X_i^{b_i} \dots X_n^{b_n} \quad (2)$$

Donde Y es la producción, X_i son los insumos, A es un término constante, y b_i define el parámetro de transformación para el nivel del insumo X_i . Todas las variables se miden en unidades físicas. La característica atractiva de esta forma, desde el punto de vista de la computación, es que se vuelve lineal en los logaritmos de las variables. Podemos escribir entonces:

$$\log Y = \log A + b_1 \log X_1 + \dots + b_i \log X_i + \dots + b_n \log X_n \quad (3)$$

Ahora podemos presentar las principales propiedades económicas de la función de producción C-D.

La productividad marginal de un factor es uno de los conceptos más importantes de la teoría de la producción. Representa el cambio de la producción resultante de un cambio en cualquier insumo, cuando todos los demás insumos permanecen constantes. En consecuencia, se expresa por la derivada parcial de la producción respecto de un insumo. Así pues, diferenciando la ecuación 2 con respecto a un insumo, X_i , escribimos:

$$\frac{\partial Y}{\partial X_i} = b_i A X_1^{b_1} \dots X_i^{b_i-1} \dots X_n^{b_n} = b_i \frac{Y}{X_i} \quad (4)$$

Si suponemos que b_i es constante y positiva y menor que uno, es decir, $0 < b_i < 1$, el producto marginal del factor i será positivo. Además, dado que, Y/X_i declina en medida que el producto aumenta, el producto marginal de cualquier factor declina generalmente a medida que aumenta el nivel del insumo de ese factor. Sin embargo, por la misma razón, el producto marginal de cualquier factor, i , aumenta al aumentar cualquier otro factor, j , $j \neq i$. Estas propiedades se consideran deseables en toda función de producción.

En lugar ahora de la relación entre producción y un insumo (entre los n insumos), examinaremos ahora la relación entre dos insumos cualesquiera.

En términos empíricos, surgen implicaciones interesantes en relación con las isocuantas, las tasas marginales de sustitución y las rutas de expansión.

Una curva isocuanta, por ejemplo, la dada por Y_0 o Y'_0 en la figura 5, expresa un insumo como función de otro, para el nivel de producción dado. Todo punto de una isocuanta particular representa una combinación particular de los insumos X_1 y X_2 que produciría el mismo nivel de producción. Fijando $Y=Y_0$ y despejando en la ecuación 2 a X_1 en términos de X_2 , escribimos una isocuanta:

$$X_1 = [Y_0/X_2^{b_2}(AX_3^{b_3} \dots X_i^{b_i} \dots X_n^{b_n})] \quad (5)$$

Todas estas isocuantas tienen pendiente negativa y son convexas hacia el origen en todos sus puntos, como podemos ver obteniendo la primera y la segunda derivada de la ecuación 5 con respecto a X_2 . Despejando para distintos niveles de producción, podemos derivar un mapa de producción constante basado en los insumos X_1 y X_2 . Obteniendo las diferencias de la ecuación 2 con respecto a los dos factores, X_1 y X_2 , podemos derivar una expresión para la cantidad de un factor requerida para compensar cierto cambio en la cantidad del otro factor para mantener la producción en la misma isocuanta.

$$\frac{\partial Y}{\partial X_1} dX_1 + \frac{\partial Y}{\partial X_2} dX_2 = dy = 0 \quad (6)$$

La tasa marginal de sustitución, r , se define a partir de la ecuación 6 como la razón del diferencial de los dos insumos, o bien como la razón de los productos marginales.

$$r = -\frac{dX_1}{dX_2} = \frac{\frac{\partial Y}{\partial X_2}}{\frac{\partial Y}{\partial X_1}} \quad (7)$$

Esta ecuación puede interpretarse como una relación entre las proporciones de los factores X_1/X_2 y la tasa marginal de sustitución técnica, r .

2.11. Productividad

Los sentidos que generalmente se atribuyen al concepto “productividad” son variados y en no pocos casos ambiguos. La productividad suele identificarse con la cuantía de la producción, esto quiere decir que para aumentar aquélla basta con acrecentar ésta. No obstante, es más usual considerarla como sinónimo de eficiencia: no basta con aumentar la producción para aumentar la productividad; además se requiere que los recursos disponibles se utilicen eficientemente.

La productividad hace referencia a la relación entre medios y fines: mayor productividad sólo es posible si se obtiene un mayor nivel de producción, dado un conjunto limitado de recursos disponibles o, a la inversa, si se utiliza un menor volumen de recursos, dado un nivel de producción determinado (Hernández, 1992).

En el año de 1950, la Organización para la Cooperación Económica Europea (OCEE), ofreció un término más formal de productividad: “...es el cociente que se obtiene de dividir la producción por uno de los factores de producción”.

La productividad implica la mejora del proceso productivo. La mejora significa una comparación favorable entre la cantidad de recursos utilizados y la cantidad de bienes y servicios producidos (Carro y González, 2012).

Existen cinco formas en las que se puede incrementar la productividad: 1) incrementando la producción y disminuyendo los insumos utilizados para producirla; 2) aumentando la producción, manteniendo constantes los insumos; 3) incrementando la producción en mayor proporción que lo que se incrementan los insumos; 4) manteniendo la cantidad producida y disminuyendo los insumos y 5) disminuyendo los insumos en una mayor proporción que la disminución del producto (Carro y González, 2012).

La productividad sigue siendo una condición necesaria para la competitividad, ya sea para incorporar a todo tipo de productores a las cadenas de valor o

para concurrir con éxito a los mercados, sean estos locales o globales (IICA, 2015).

2.12. Productividad agrícola

La productividad agrícola se mide como el cociente entre la producción agrícola y los insumos agrícolas. Por productividad agrícola se entiende el resultado que se obtiene en la agricultura del comportamiento de los factores totales de la producción (es decir, la productividad total de los factores, PTF). Utilizar ese criterio permite comprender cuál es el resultado de todos los factores (tierra, trabajo, capital y otros insumos materiales) que se usan en los procesos productivos y la relación que guardan con la producción agrícola total obtenida en un determinado período (IICA, 2015).

Además de considerar a esos factores en forma conjunta y en su totalidad, es importante determinar cuál es la contribución de cada factor parcial (PF) de cada uno de ellos, para poder identificar alternativas de solución, ya sea mediante el desarrollo o el fortalecimiento de políticas o mediante la aplicación de instrumentos y el desarrollo de innovaciones que ayuden a mejorar su uso.

Los factores más importantes que impactan en la productividad agrícola son el capital humano, el uso y asignación de factores de la producción, el ambiente de negocios en el que se desarrolla la actividad, el comercio, los mercados y la capacidad de innovación (IICA, 2015).

2.12.1. Fuentes de la productividad agrícola

Algunas de las principales fuentes de la productividad agrícola son:

- Nivel de mecanización agrícola
- Variedades de semilla de alto rendimiento
- Fertilizantes.
- Encalado de suelos ácidos para elevar el pH
- Riego
- Herbicidas
- Pesticidas
- Densidad óptima de siembra

Las posibilidades de incrementar la productividad cada vez descansan más en el desarrollo del conocimiento, las innovaciones, la investigación y sobre todo de grandes inversiones. Además, la menor disponibilidad de los recursos naturales necesarios para el desempeño de las tareas agrícolas es un problema que se ha agudizado por los efectos del cambio climático (IICA, 2015).

2.12.2. Importancia de la productividad agrícola

La importancia de la agricultura en las economías de los países varía notablemente, pero de forma relativamente predecible: la importancia relativa de la agricultura disminuye a medida que aumenta el PIB per cápita y la economía experimenta una transformación estructural (FAO, 2012).

En algunos de los países más pobres del mundo, la agricultura representa más del 30 % de la actividad económica. En cambio, en las economías de la OCDE, la agricultura representa menos del 1,5 % de la producción económica global. Así pues, el papel que desempeña la agricultura en el impulso del crecimiento económico global variará de un país a otro y, en general, su importancia es mayor en los países más pobres (FAO, 2012).

A través de los últimos 55 años la evidencia se ha acumulado para demostrar que la productividad agrícola es una fuerza poderosa para la reducción de la pobreza y para el desarrollo económico (Oshaug y Haddad, 2002). La productividad agrícola de una región es importante por muchas razones. Además de proporcionar más alimentos, afecta a las perspectivas de la región para el crecimiento y la competitividad en el mercado, la distribución del ingreso y el ahorro, y la migración laboral. Un aumento de la productividad agrícola de una región implica una distribución más eficiente de los recursos escasos.

2.13. Productividad y rentabilidad

La rentabilidad se define como la relación entre la utilidad obtenida y el valor total de los activos empleados en generarla. Si bien la evaluación de los niveles y de la evolución de la productividad es de interés en sí misma en la

medida en que refleja la eficiencia con la que se utilizan los recursos en una industria, su mayor importancia radica en que constituye un elemento determinante en la rentabilidad de dicha industria. En efecto, en la medida en que la rentabilidad es el resultado de obtener un ingreso por ventas mayor a los costos incurridos en la producción de los bienes vendidos, en esa medida resulta evidente que una mayor productividad puede traducirse directamente en una mayor rentabilidad (Carro y González, 2012).

No obstante, en la rentabilidad inciden otros factores no relacionados de manera directa. Sólo en el caso de que los precios relativos de los insumos y de los productos permanecieran constantes, las mediciones de productividad reflejarían directamente los movimientos de la rentabilidad.

CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Etapas de la investigación

El presente trabajo se realizó en el municipio de Huandacareo, Michoacán, en el periodo comprendido entre agosto de 2018 y octubre de 2020. Se dividió en tres etapas con el fin de recopilar toda la información necesaria para su elaboración.

La primera etapa consistió en un trabajo de gabinete, donde se planteó la problemática a estudiar, se precisaron los objetivos de esta investigación y donde se construyeron las herramientas para alcanzarlos. En este caso, una vez detectado un problema de productividad de maíz en el sitio de estudio, se decidió generar una función de producción de maíz grano, para contar con un instrumento que permitiera captar los efectos productivos de los diferentes factores de la producción sobre los rendimientos obtenidos. Con esa finalidad, primero se elaboró una entrevista semiestructurada dirigida a productores maiceros convencionales y de alto rendimiento del sitio de estudio (anexo 1). Dichas entrevistas tuvieron como objetivo recabar información sobre insumos, rendimientos y costos de la producción maicera para alimentar con ellos un modelo de regresión. Además, en esta fase se definió el marco muestral y se calculó el tamaño de muestra.

Una vez definido lo anterior, se procedió a validar en campo el instrumento metodológico para la obtención de la información (entrevista semiestructurada). Después de hacer los ajustes correspondientes, se entró de lleno a la segunda etapa, que fue la investigación directa en campo. Lo anterior a través de la aplicación de las entrevistas dirigidas a los productores maiceros de interés y con el auxilio de observaciones en campo.

La tercera etapa consistió en un segundo trabajo de gabinete, donde se llevó a cabo el vaciado de la información recabada en las entrevistas, todo referido a hectáreas, su ordenación, análisis y posterior interpretación. Una vez interpretados los resultados, se comenzó con la redacción del presente trabajo final.

3.2. Marco muestral

Para cumplir con los objetivos de la investigación se diseñó una entrevista semiestructurada para aplicarla a productores maiceros del municipio de Huandacareo. Posteriormente se definió el marco muestral, el cual está conformado por los productores maiceros convencionales en labor de riego y temporal, y de alto rendimiento en labor de riego del ciclo agrícola primavera-verano (P-V) 2018. Lo anterior dado la homogeneidad de su manejo. Por lo tanto, se excluyeron aquellos productores maiceros con sistemas de manejo diferentes, como pudieran ser los tradicionales (milperos), con manejo orgánico y aquellos cuyo objetivo de la producción fue la obtención de forraje y no de maíz grano. En el presente estudio se encontraron alrededor de 100 productores de maíz grano con un manejo similar quienes constituyeron la población bajo estudio.

3.3. Diseño de la muestra

El muestreo utilizado fue el probabilístico, que se basa en la obtención de una muestra a partir de los elementos de una población definida previamente (marco muestral) y donde se puede realizar inferencia estadística válida hacia la población (Infante, 2005 citado por Blas, 2012). El requisito principal de las técnicas de muestreo probabilístico es su principio de equiprobabilidad, es decir, que todas las personas de la población estudiada cuenten con las mismas oportunidades de selección (Otzen y Manterola, 2017).

Con el fin de lograr una buena representatividad de la población, el tamaño de muestra se determinó de acuerdo con un diseño de muestreo aleatorio simple (Cochran, 1984). En este caso, todos y cada uno de los productores maiceros de la población total, tuvieron la misma e independiente probabilidad de ser seleccionados como miembros de la muestra.

La fórmula para calcular el tamaño de muestra óptimo se obtuvo de Cochran (1984) y fue la siguiente:

$$n = \frac{NZ^2(pq)}{(N - 1)d^2 + Z^2(pq)}$$

Donde:

n= Tamaño de la muestra

N= Tamaño de la población

d= Precisión expresada en porcentaje (5%=0.05)

Z= Valor de la distribución Z con una confiabilidad del 95% ($Z_{0.05}= 1.96$)

p= Probabilidad de éxito (50%=0.5)

q= Probabilidad de fracaso (50%=0.5)

Como ya se mencionó en el presente estudio se encontraron alrededor de 100 productores de maíz grano con un manejo más o menos homogéneo, lo que representó el tamaño de la población. Una vez hecha la sustitución de valores y realizado las operaciones correspondientes, se obtuvo el tamaño de muestra óptimo, 79 elementos, como se muestra a continuación:

Sustituyendo valores en la fórmula:

$$n = \frac{(100)(1.96)^2(0.5)(0.5)}{(100 - 1)(0.05)^2 + (1.96)^2(0.5)(0.5)}$$

Resolviendo operaciones:

$$n = \frac{96.04}{0.2475 + 0.9604}$$

Simplificando:

$$n = \frac{96.04}{1.21}$$

$$n = 79.37 \sim \mathbf{79}$$

De dicho tamaño de muestra, por cuestiones sanitarias extraordinarias sólo fue factible entrevistar a 68 productores. Obteniendo al final de cuentas 70 observaciones, dado que dos de los productores entrevistados tenían sistemas de manejo lo suficientemente diferentes como para ser divididos.

3.4. Localización del área de estudio y características socioeconómicas

3.4.1. Localización

El municipio de Huandacareo, Michoacán, está situado a 46 kilómetros al noroeste de la capital del estado; comprende una extensión territorial de 95.11 Km² (figura 6). La región hidrológica en la que se encuentra el municipio es Lerma-Santiago, que cubre una superficie aproximada 14,818.25 km²; la zona de estudio pertenece a su vez a la subregión hidrográfica Lago de Pátzcuaro-Cuitzeo-Laguna de Yuriria; el relieve del municipio forma parte de la depresión de Cuitzeo (INEGI, 2009).

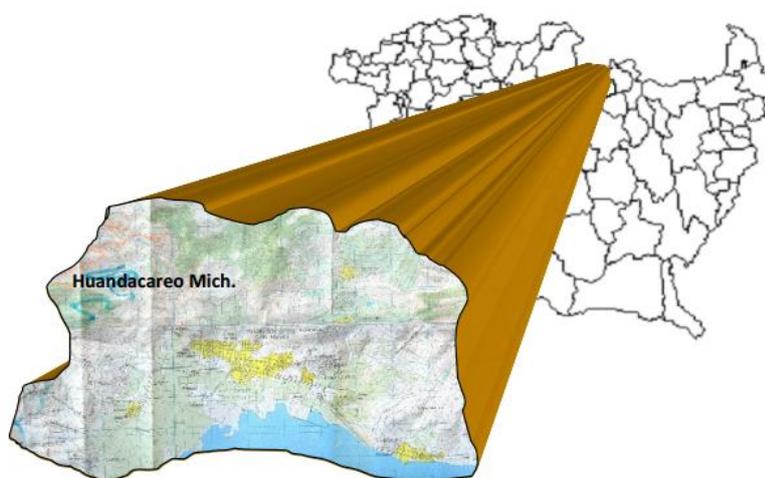


Figura 6. Ubicación geográfica del municipio de Huandacareo, Michoacán

3.4.2. Recursos naturales

3.4.2.1. Clima.

El clima reportado es Cb(w1)(w)(e')g, que se describe como un clima templado con lluvias en verano. Con una precipitación pluvial anual de 965 mm y temperaturas que oscilan de 12.4 a 31 °C. El mes más cálido corresponde a mayo con temperaturas máximas de 32°C y el más frío representa a enero con temperaturas mínimas de 5 °C (García, 1988). Los meses con mayor incidencia de lluvias son los comprendidos de junio a septiembre. Se presentan heladas en los meses de noviembre a febrero, las granizadas ocurren durante los meses de junio y agosto. La evaporación media anual es de 164.17 mm y la temperatura media anual es de 23.3 °C.

3.4.2.2. Vegetación

En el municipio es posible distinguir los siguientes tipos de vegetación: bosque de pino, bosque de encino, pastizal inducido y selva baja caducifolia. Este último tipo de vegetación del municipio se encuentra también en un estado secundario, lo que señala que la selva fue perturbada a un grado tal en el que ha sido modificada profundamente, y puede presentar cualquiera de las siguientes predominancias: vegetación secundaria herbácea, vegetación secundaria arbustiva y vegetación secundaria arbórea (INEGI, 2005).

3.4.2.3. Suelos

Los suelos del municipio datan de los períodos cenozoico, cuaternario, terciario y mioceno; corresponden principalmente a los del tipo chernozem (INEGI, 2009), los cuales presentan una superficie color negro como resultado de un alto contenido en humus, con acumulación de calcio en el subsuelo. Los suelos dominantes se presentan en la figura 7.

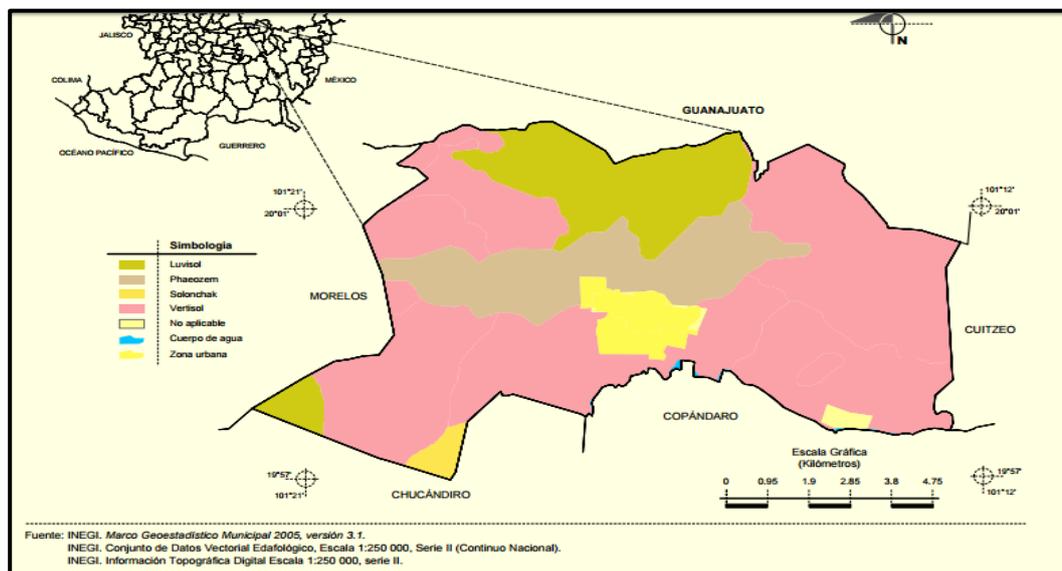


Figura 7. Mapa de distribución de suelos. Consultado en INEGI (2009)

3.4.3. Características socioeconómicas

3.4.3.1. Población

Los datos del Censo de Población y Vivienda 2010 (INEGI, 2010), arrojaron que el Municipio de Huandacareo cuenta con una población total de 11,592

habitantes, de los cuales 6,193 son mujeres y 5,399 son hombres, equivaliendo a sólo el 0.3% de la población total del Estado.

3.4.3.2. Uso de suelo

La superficie por uso de suelo en hectáreas es: superficie agrícola de riego 444; superficie agrícola de temporal 107; superficie agrícola con aptitud de temporal 3986; superficie con aptitud ganadera 4353; superficie forestal 0; otros usos 621. Lo anterior da el total de las 9,511 ha que posee la comunidad. El porcentaje destinado a la zona urbana corresponde al 4% del total (INEGI, 2009).

3.4.3.3. Tenencia de la tierra

Dentro del territorio de Huandacareo se encuentran seis ejidos: Huandacareo, San Cristóbal, San Nicolás, La Estancia, El Jaripal y El Marino. En total, en los seis ejidos del territorio municipal existen 708 hectáreas parceladas, de las cuales 551 se destinan a actividades agrícolas (INEGI, 1999).

3.4.3.4. Actividades productivas primarias

La actividad primaria principal del municipio es la agricultura, teniendo como cultivos principales son la avena forrajera, el maíz amarillo y blanco, y el sorgo forrajero (INEGI, 2007). Otros cultivos destacados son la alfalfa, el jitomate y algunos frutales cítricos. Las principales actividades pecuarias son la porcicultura, la producción de ganado bovino y la cría de aves en traspatio (Plan municipal de desarrollo 2015-2018). De acuerdo con el INEGI (2007) el número total de Unidades de Producción en el municipio de Huandacareo, Michoacán es de 813, de las cuales el 50.5% se dedican a la producción maicera en los ciclos P-V.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización del sistema de manejo maicero de Huandacareo, Michoacán

El rendimiento promedio de maíz grano en el municipio de Huandacareo en el ciclo P-V 2018 fue de 8609 kg. Con un mínimo de 4 t/ha, un máximo de 16 t/ha y una desviación estándar de 2548.9 kg (anexo 2). En condiciones de temporal, el rendimiento promedio de maíz grano fue de 6816 kg/ha, mientras que, en riego, fue de 9681 kg/ha, como se observa en el cuadro 2.

Cuadro 2. Valores medios generales, en riego y temporal

Variable	General	En riego	En temporal
Abono orgánico (kg)	625	757	333.6
Semilla (kg)	29.2	29.3	29
Nitrógeno (kg)	206.4	217.8	181.4
Fósforo (kg)	53.7	62.5	34.5
Potasio (kg)	14.6	15.6	12.4
Maquinaria (horas)	7.9	7.8	8
Número de jornales	4.7	5.25	3.45
Herbicidas (l)	2.4	2.5	2.17
Insecticidas (l)	1.8	1.9	1.72
Número de riegos	1.24	1.81	0
Edad del productor	47.5	46.8	49.2
Escolaridad del productor	9.3	9.9	8.1
Tamaño de la superficie	4	4.27	3.5
Posesión de la tierra (%)	0.54	0.6	0.4
Tenencia de la tierra (%)	0.38	0.3	0.7
Rendimiento (kg)	8609	9681	6816

Fuente: elaboración propia con datos de campo

Existen insumos que cambian relativamente poco sus cantidades entre manejo y manejo. Un ejemplo de esto es la semilla, cuyo promedio por hectárea es de 29.2 kg, lo que resulta en una densidad aproximada de 80000-90000 mil plantas por hectárea, dependiendo del tamaño de semilla y el porcentaje de emergencia.

La maquinaria agrícola es otro insumo que tiene poca varianza. Este insumo promedió 7.9 horas por hectárea. Lo anterior a causa de que la labranza

predominante en el municipio es la labranza convencional, que consta de arado, rastreo y surcado.

De igual manera los jornales es un insumo con poca variación, en este caso el promedio fue de 4.6 jornales/ha. Se pudiese hablar de que el manejo típico requiere de 4-6 jornales por hectárea, ya que éstos son indispensables para el traslado y aplicación de agroinsumos, así como para los riegos.

El promedio de riegos del municipio fue de 1.2 riegos/ha, aunque se debe de considerar que los sistemas de manejo en temporal bajan este dato. El manejo típico de maíz en riego por lo general utiliza de 1 a 3 riegos por hectárea, dependiendo de las condiciones de la temporada de lluvias.

Los insumos líquidos como herbicidas e insecticidas tienen promedios de uso bajos, 2.4 y 1.85 litros/ha respectivamente, ambos con una desviación estándar +/- de 1 litro/ha. Sin embargo, no se debe olvidar que el uso de estos insumos depende también de la efectividad de los productos comerciales utilizados (la mayoría de las veces la relación entre volumen y calidad tanto de herbicidas como insecticidas es inversa).

Las características del productor promedio son una edad de 47.5 años y con una escolaridad de 9.35, lo que significa la secundaria terminada. Asimismo, las características promedio de las parcelas donde se lleva a cabo la producción maicera son las siguientes; el 54.4% de las parcelas son propiedad de los productores, el restante 45.6% produce en terrenos rentados o prestados. El 38.5% de la producción maicera se lleva a cabo en terrenos privados y el restante 61.5% en terrenos ejidales. Por último, la superficie promedio fue de 4 ha, aunque cabe mencionar que la desviación estándar de esta variable es muy alta (6.17 ha), además, si no se consideran los datos atípicos de superficies muy grandes (para las condiciones del municipio) la superficie promedio baja a 3 hectáreas, dato que corresponde con el tamaño promedio de la unidad de producción reportada por el INEGI (2007).

4.2. Función de producción cuadrática

Con los datos obtenidos de los productores de maíz durante esta investigación se obtuvo la información suficiente para generar una función de producción

cuadrática. Después de hacer varias pruebas la que mejor explicó las variaciones en producción de maíz grano fue la siguiente:

$$Y = 1253.0319 + 0.5368GS + 771.7866AO + 577.8047RI + 52.441K - 0.4431K^2 + 29.7869N - 0.0555N^2 + 0.234PXIN + 730.0959SU$$

Donde la variable Y representa el rendimiento de maíz grano en kilogramos y las variables explicativas consideradas en el modelo fueron:

GS = Gasto semilla (\$)

AO = Abono orgánico (Dicotómica: Lo usa=1, No lo usa=0)

RI = Número de riegos

K = Potasio (kg)

N = Nitrógeno (kg)

PXIN = Gasto en los insecticidas aplicados. Cantidad de insecticidas (IN) por el precio de los insecticidas (\$)

SU = Tamaño de la parcela. Dicotómica: Parcela grande=1, Parcela chica=0.

Donde Parcela grande \geq 3ha; de otra manera, parcela chica.

Las variables se seleccionaron a prueba y error, utilizando como referencia o regresión base la obtenida a partir del procedimiento stepwise. De las variables arrojadas por dicho procedimiento, la mayoría se mantuvieron, algunas se agregaron y otras más se eliminaron, lo anterior en función del ajuste del modelo y de la significancia de las variables modificadas.

Como se observa en el anexo 3 el coeficiente de determinación R^2 del modelo fue de 0.7397, lo que quiere decir que las variables consideradas como independientes explican un 73.9% del rendimiento de maíz grano del municipio de Huandacareo, Michoacán. Asimismo, el modelo satisface la prueba de F con un nivel de confiabilidad del 95%, lo que nos indica que la regresión es estadísticamente confiable, ya que dicho estadístico indica que las variables empleadas son significativas en conjunto.

Los valores de t-value de las variables son lo suficientemente altos como para declarar que existen relaciones con la variable dependiente (Y).

Prácticamente todos los valores de t-value son mayores de $|1.7|$, lo cual garantiza una significancia mayor al 90 por ciento, con la excepción del término independiente.

Los signos de las variables dicotómicas (AO y SU) resultaron positivos, lo que significa que tanto el abono orgánico como las superficies grandes influyen positivamente en el rendimiento de maíz grano.

Las variables cuadráticas (N^2 y K^2) tienen signos negativos lo que se explica por la ley de los rendimientos marginales decrecientes, ya que sus signos negativos le dan concavidad a la función del insumo correspondiente. Las variables no dicotómicas ni cuadráticas tuvieron signos positivos, que eran los esperados.

Los valores de probabilidad ($Pr>|t|$) de todas las variables son lo suficientemente pequeños como para afirmar que hay suficiente evidencia estadística de que las variables incluidas representan adiciones significativas al modelo.

En particular, es posible afirmar que en promedio cada peso gastado en semilla redonda en un aumento de la producción de maíz en un poco más de medio kilogramo (0.536 kg); el uso de abono orgánico aumenta el rendimiento en 771.78 kg de maíz en promedio. También se puede decir que un riego aumenta la producción por hectárea en 52.44 kg; un peso gastado en insecticidas incrementa el rendimiento en 0.234 kg de maíz por hectárea y que si las parcelas de cultivo sobrepasan las 3 ha de tierra agrícola, los rendimientos de maíz se incrementan en 730 kg por hectárea, lo cual es un indicio de la existencia economías de escala en la producción de maíz.

Además, resulta especialmente interesante considerar que inicialmente un kilogramo de potasio puro incrementa el rendimiento en 52.44 kg adición que disminuye rápidamente hasta que la aplicación de ese elemento alcanza los (52.441/.8862) kg de potasio (Nivel óptimo técnico {NOT}). Algo semejante indican los parámetros del nitrógeno que empieza agregando 29.7869 por

kilogramo, pero disminuye más lentamente que el potasio y cuyo NOT se ubica en $N^+ = (29.7869/0.111)$ kg/ha.

4.3. Óptimos económicos de la función de producción cuadrática

En cualquier problema económico de optimización se asume de antemano un comportamiento racional de los agentes económicos a la hora de la toma de decisiones, donde lo que se busca es la mejor asignación de recursos escasos, en ese sentido, las matemáticas confieren a la ciencia económica de una lógica deductiva formal acorde con la teoría de la elección racional (Meneu, Salamero y Ventura, 1999).

Para obtener los óptimos económicos primeramente se debe de satisfacer la condición de optimalidad donde se maximiza la utilidad neta máxima o ganancia. O lo que es lo mismo:

$$PMG_x \left(\frac{\partial Y}{\partial X} \right) = \frac{PX}{PY}$$

Los productos marginales (PMG_x) representan el producto adicional obtenido al aumentar en una unidad el uso de un insumo, manteniendo los demás insumos constantes (Gould y Lazear, 1994). Los óptimos económicos representan el máximo beneficio por cada peso erogado en cada bien o insumo *ceteris paribus*, ya que al utilizar derivadas parciales se supone que los demás factores productivos o insumos permanecen constantes, y sólo varía el de nuestro interés (Meneu, Salamero y Ventura, 1999).

Para nuestro modelo, las únicas dos variables optimizables son las cuadráticas; nitrógeno (N) y potasio (K). Esto se debe a que es imposible resolver la condición de optimalidad en variables lineales. Sin embargo, otro tipo de análisis es posible con ellas, por citar un ejemplo, un peso en semilla mejorada agrega al rendimiento 0.536 Kg de maíz que valorado a \$3.8 da un beneficio de \$2.04, lo cual resulta conveniente desde el punto de vista económico.

Para formular las relaciones de precios fue necesario primeramente obtener el precio del maíz (PY), para ello se tomó el precio a cosecha por kilogramo

promedio del año 2018 que fue de \$3.8. Después se procedió a calcular los precios unitarios promedio al 2018 por kilogramo de insumo N y K. Para el precio del nitrógeno (PX), se tomó como base fertilizante urea (23% N) y para el precio del potasio (PK), el cloruro de potasio (30% K), ya que éstos dos fertilizantes son los más comunes en el cultivo de maíz grano del sitio de estudio. El precio resultante del nitrógeno fue de \$16.1 y del potasio \$23.3.

Por lo tanto, las relaciones de precios resultaron las siguientes:

$$\frac{PN}{PY} = \frac{16.1}{3.8} = 4.2$$

$$\frac{PK}{PY} = \frac{23.3}{3.8} = 6.1$$

Los cálculos anteriores se detallan en el anexo 4.

Una vez obtenidas las relaciones de precios, se calcularon los productos marginales de N y K. Los resultados se muestran a continuación:

$$PMG_N = \frac{\partial Y}{\partial N} = 27.5745 - 0.1094 N$$

$$PMG_K = \frac{\partial Y}{\partial K} = 52.8 - 0.8936 K$$

Una vez hecho esto se procedió a satisfacer las condiciones de optimalidad y resolver las operaciones como se muestra enseguida:

- Para el nitrógeno

$$PMG_N = \frac{PN}{PY}$$

$$27.5745 - 0.1094 N = 4.2$$

$$N = \frac{23.3745}{0.1094}$$

$$N^* = 213.7$$

$$N^* \approx \mathbf{214}$$

- Para el potasio

$$PMG_K = \frac{PK}{PY}$$

$$52.8 - 0.8936 K = 6.1$$

$$K = \frac{46.7}{0.8936}$$

$$K^* = 52.3$$

$$K^* \approx 52$$

Recordemos que, a diferencia del óptimo técnico, donde se maximiza la producción, el óptimo económico se refiere al nivel de producción que maximiza la ganancia (ingreso-costos). La mayoría de las veces, el óptimo técnico se ubica por arriba del óptimo económico (Lanfranco y Helguera, 2006).

Las investigaciones en óptimos económicos de maíz son escasas, una de ellas es la presentada por Xochimil y Portillo (2018) quienes calcularon algunos óptimos económicos para maíz de temporal en el Estado de México, entre ellos el del fósforo, ubicado en 58.8 unidades, sin embargo, no calcularon los óptimos de nitrógeno y potasio. Por su parte, Roderilde (2008) calculó los óptimos económicos para maíz en Retalhuleu, Honduras y determinó que para obtener el máximo beneficio económico de debían de aplicar 23.2 kg de nitrógeno, 100 kg de fósforo y 100 kg de potasio.

En el presente trabajo también se probó la posible influencia del fósforo en el rendimiento de maíz, pero las pruebas estadísticas descartaron la existencia de alguna relación significativa en este insumo. Esto se explica por el rango de pH predominante de los suelos del municipio, que va de neutro a ligeramente alcalino, rango en el cual el fósforo se encuentra disponible para las plantas. Además, la tasa de extracción de fósforo del cultivo de maíz es más baja respecto a otros macronutrientes, como el nitrógeno y el potasio.

Otros factores que se probaron, pero que no arrojaron algún resultado estadísticamente significativo fueron los herbicidas, debido a que la relación entre volumen del producto y su eficacia muchas veces es inversa. Asimismo,

la influencia de las parcelas en labranza de conservación afectó la significancia de las variables maquinaria agrícola y jornales, dado que dicho sistema de manejo de maíz utiliza menos maquinaria y jornales respecto al manejo en labranza tradicional.

También se probaron algunas variables descriptivas del productor, como su edad y escolaridad, sin embargo, los resultados obtenidos no fueron positivos. De igual manera, se probaron interacciones entre variables con los mismos resultados.

Sustituyendo valores medios y los valores óptimos de nitrógeno y potasio en la función potenciada se pueden plantear los resultados productivos de los maiceros en varios escenarios comúnmente encontrados, lo anterior al combinar las variables dicotómicas (AO y SU) con el número de riegos. Los resultados de dichos escenarios se exhiben en el cuadro 3.

Cuadro 3. Rendimiento (kg/ha) de varios escenarios con la función cuadrática

Escenario	Con uso de abono orgánico y parcela grande	Sin uso de abono orgánico y parcela chica
2 Riegos	11,565	10063
0 riegos (temporal)	10,410	8908

Fuente: elaboración propia con datos de campo

En la elaboración de estos escenarios se excluyó la variable PXIN, debido a que sólo un productor no utiliza ningún tipo de insecticidas en su manejo. En el cuadro 3 se observa cómo el uso de abono orgánico, las superficies grandes y el número de riegos impactan en el rendimiento de maíz grano. En conjunto las tres variables seleccionadas pueden incrementar el rendimiento de maíz hasta en 2.6 toneladas por hectárea.

4.4. Función de producción logarítmica y potenciada

Esta función de producción fue la obtenida a partir de las transformaciones logarítmicas que se realizaron con los datos originales lineales. Su estimación

atiende a la idea de tener un punto de vista más integral de los óptimos económicos (NOE) y contar con un punto de apoyo para evaluar la eficiencia económica de los insumos significativos en la producción de maíz. Con la regresión presentada en el anexo 5 se construyó la siguiente función de producción logarítmica:

$$\text{Ln}Y = 6.37324 + 0.19153 \text{ Ln GS} + 0.07314 \text{ Ln RI} + 0.02586 \text{ Ln K} + 0.10117 \text{ Ln N} + 0.16604 \text{ Ln ED}$$

Donde el logaritmo natural de Y representa el rendimiento de maíz grano en kilogramos y las variables explicativas consideradas en la función de producción fueron:

GS = Logaritmo natural del gasto semilla (\$)

RI = Logaritmo natural del número riegos

K = Logaritmo natural del potasio (kg)

N = Logaritmo natural nitrógeno (kg)

ED = Logaritmo natural de la edad del productor en años

De igual manera las variables se seleccionaron en un inicio a prueba y error y después se utilizó el procedimiento stepwise a regresiones logarítmicas previamente construidas.

El anexo 5 nos muestra que el coeficiente de determinación R^2 del modelo es de 0.7152, lo que quiere decir que el logaritmo natural de las variables consideradas como independientes explican un 71.5% del rendimiento de maíz grano del municipio de Huandacareo, Michoacán, expresado este último en logaritmo natural también.

Los coeficientes de las variables logarítmicas tuvieron signos positivos, que eran los esperados. Además, el término independiente del modelo fue de 6.37324, lo que significa que la producción de maíz grano no atribuible a las variables explicativas del modelo es el antilogaritmo de dicho número, es decir, 586 (kg).

La prueba de F indica que las variables explicativas incluidas explican el rendimiento de maíz con una confiabilidad del 95%. Los valores de probabilidad ($Pr>|t|$) de todas las variables son lo suficientemente pequeños como para afirmar que hay suficiente evidencia estadística de que las variables incluidas representan adiciones significativas al modelo. Asimismo, los valores de t-value de las variables son lo suficientemente altos como para declarar que existen relaciones con la variable dependiente (Y), ya que todos los valores de t-value son mayores de |2|.

Para transformar el modelo logarítmico a un modelo potenciado tenemos que ayudarnos de los antilogaritmos, esto para tener todas las bondades de una función de producción tipo Cobb-Douglas.

A continuación, se muestran las operaciones de transformación.

$$\begin{aligned} \ln Y = & 6.37324 + 0.19153 \ln GS + 0.07314 \ln RI + 0.02586 \ln K \\ & + 0.10117 \ln N + 0.16604 \ln ED \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{AntiLn } Y = & \text{AntiLn } 6.37324 + \text{AntiLn}(0.19153 \ln GS) \\ & + \text{AntiLn}(0.07314 \ln RI) + \text{AntiLn}(0.02586 \ln K) \\ & + \text{AntiLn}(0.10117 \ln N) + \text{AntiLn}(0.16604 \ln Ed) \end{aligned}$$

$$Y = e^{6.37324} GS^{0.19153} RI^{0.07314} K^{0.02586} N^{0.10117} ED^{0.16604}$$

$$Y = 586 GS^{0.19153} RI^{0.07314} K^{0.02586} N^{0.10117} ED^{0.16604}$$

Donde el rendimiento de maíz grano es explicado por el gasto en semilla, el número de riegos, los kilogramos de nitrógeno y potasio y la edad promedio del productor en años.

4.5. Óptimos económicos de la función de producción tipo Cobb-Douglas

De acuerdo con Varian (2010) la teoría del consumidor supone que los consumidores eligen la mejor cesta de bienes a su alcance. La cesta de consumo del individuo (X_1, X_2) nos indica la cantidad que decide consumir el individuo del bien 1, X_1 , y del 2, X_2 . Si suponemos que observamos el precio

de los dos bienes (P_1 , P_2), y la cantidad de dinero que el consumidor tiene para gastar, m . En ese caso, su restricción presupuestaria será:

$$P_1X_1 + P_2X_2 \leq m$$

La recta presupuestaria es el conjunto de cestas que cuestan exactamente m (figura 8). La restricción presupuestaria también puede expresarse de la siguiente manera:

$$X_2 = \frac{m}{P_2} - \frac{P_1}{P_2}X_1$$

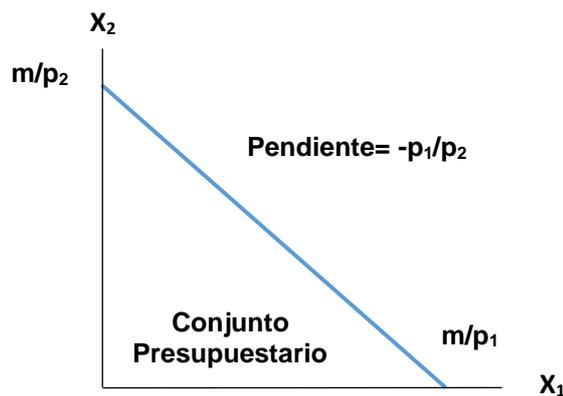


Figura 8. El conjunto presupuestario.
Consultado en Varian (2010)

La relación marginal de sustitución (RMS) o tasa marginal de sustitución se refiere a la relación del consumidor en sustituir un bien por otro (figura 9). Si ΔX_1 es muy pequeño hablamos entonces de una variación marginal. Entonces, el cociente $\Delta X_1/\Delta X_2$ cuantifica la RMS del bien 2 por el bien 1 y describe la pendiente de la curva de indiferencia o isocuanta.

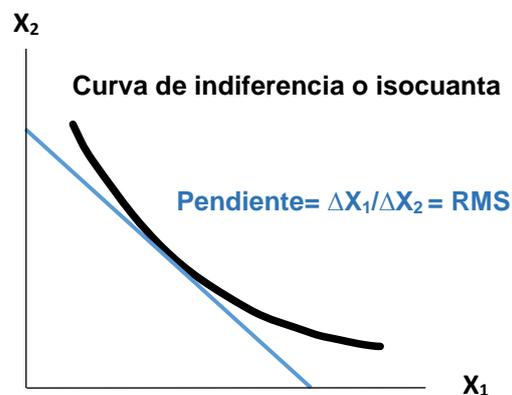


Figura 9. La relación marginal de sustitución.
Consultado en Maddala y Miller (1995)

De acuerdo con Koutsoyiannis (1985) la relación marginal de sustitución se define como:

$$RMS_{x_2, x_1} = -\frac{\Delta X_1}{\Delta X_2} = \frac{PMgX_2}{PMgX_1}$$

La teoría económica nos dice que el productor elegirá la cesta de insumos [consumo] que maximice su producción sujeta a su restricción presupuestaria. Gráficamente la elección óptima ocurre en el punto de tangencia, donde la pendiente de la curva de indiferencia o isocuanta más alejada del origen es igual a la línea del presupuesto (figura 10).

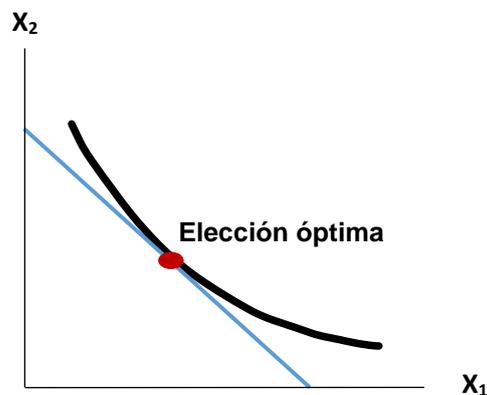


Figura 10. La elección óptima. Consultado en Varian (2010)

Antes de comenzar con la optimización y el cálculo de la restricción presupuestaria, se decidió simplificar la función de producción potenciada, dado que es innecesario optimizar variables como la edad del productor. Para simplificar la variable antes mencionada se sustituyó su media aritmética en la función de producción potenciada original.

$$Y = 586 GS^{0.19153} RI^{0.07314} K^{0.02586} N^{0.10117} ED^{0.16604}$$

$$Y = 586 GS^{0.19153} RI^{0.07314} K^{0.02586} N^{0.10117} (47.5)^{0.16604}$$

$$Y = 586 GS^{0.19153} RI^{0.07314} K^{0.02586} N^{0.10117} (1.89)$$

$$Y = 1107 GS^{0.19153} RI^{0.07314} K^{0.02586} N^{0.10117}$$

Una vez simplificada la función de producción potenciada, se procedió a generar la restricción presupuestaria y calcular el presupuesto del productor en semilla, riegos, potasio y nitrógeno. Para ello se utilizaron los valores

medios de las variables (Q) y los precios promedios (P) para las variables riegos, potasio y nitrógeno. Para el gasto en semilla, al ser una variable monetaria, se decidió utilizar el gasto en semilla promedio de los productores que obtuvieron un rendimiento superior a las 10 t/ha de maíz.

El presupuesto se calculó de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 m &= GS + P_{RI}Q_{RI} + P_KQ_K + P_NQ_N \\
 m &= 5463 + (1046)(1.24) + (23.3)(14.6) + (16.1)(206.4) \\
 m &= 5463 + 1297 + 340 + 3323 \\
 m &= 10423
 \end{aligned}$$

Por lo tanto, la restricción presupuestaria quedó configurada como se muestra a continuación:

$$10423 = GS + 1046RI + 23.3K + 16.1N$$

Para optimizar esta función de producción fue necesario utilizar el método de los multiplicadores de Lagrange. Método que sirve para maximizar o minimizar funciones multivariadas con restricciones (Meneu, Salamero y Ventura, 1999). Para iniciar este método es necesario definir una función conocida como lagrangiano (Varian, 2010).

$$L = u(X_1, X_2) - \lambda(P_1X_1 + P_2X_2 - m)$$

El símbolo λ (lambda) es conocido como el multiplicador de Lagrange, ya que multiplica a la restricción presupuestaria igualada a cero. El método de Lagrange nos dice que la elección óptima para dos variables (X_1^*, X_2^*) debe satisfacer las siguientes condiciones de primer orden (Varian, 2010).

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial L}{\partial X_1} &= \frac{\partial u(X_1, X_2)}{\partial X_1} - \lambda P_1 = 0 \\
 \frac{\partial L}{\partial X_2} &= \frac{\partial u(X_1, X_2)}{\partial X_2} - \lambda P_2 = 0 \\
 \frac{\partial L}{\partial \lambda} &= P_1X_1 + P_2X_2 - m = 0
 \end{aligned}$$

Estas condiciones son las derivadas parciales de cada variable igualada a cero. La última derivada parcial respecto a lambda es la restricción presupuestaria. Para nuestro caso, con la función de producción para la parcela de productor de edad promedio y la restricción presupuestaria se construyó el lagrangiano de maximización económica.

$$MaxY = 1107 GS^{0.19153} RI^{0.07314} K^{0.02586} N^{0.10117} - \lambda(GS + 1046RI + 23.3K + 16.1N - 10423)$$

$$MaxY = 1107 GS^{0.19153} RI^{0.07314} K^{0.02586} N^{0.10117} - GS\lambda - 1046RI\lambda - 23.3K\lambda - 16.1N\lambda + 10423\lambda)$$

Después se obtuvieron las derivadas parciales.

$$\frac{\partial Y}{\partial GS} = \frac{212RI^{0.07314} K^{0.02586} N^{0.10117}}{GS^{0.81}} - \lambda = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial RI} = \frac{81 GS^{0.19153} K^{0.02586} N^{0.10117}}{RI^{0.92686}} - 1046\lambda = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial K} = \frac{28 GS^{0.19153} RI^{0.07314} N^{0.10117}}{K^{0.97414}} - 23.3\lambda = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial N} = \frac{112 GS^{0.19153} RI^{0.07314} K^{0.02586}}{N^{0.89883}} - 16.1\lambda = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial \lambda} = -GS - 1046RI - 23.3K - 16.1N + 10423 = 0 \quad (5)$$

Al dividir las ecuaciones encontramos las tasas de sustitución técnica (TST) entre algunos pares de insumos.

- TST gasto en semilla y número de riegos

$$TST_{(GS,RI)} = \left(\frac{\frac{212RI^{0.07314}K^{0.02586}N^{0.10117}}{GS^{0.81}}}{\frac{81GS^{0.19153}K^{0.02586}N^{0.10117}}{RI^{0.92686}}} = \frac{\lambda}{1046\lambda} \right) \quad (6)$$

$$\frac{212RI}{81GS} = \frac{1}{1046}$$

$$221752RI = 81GS$$

∴

$$RI = 0.00037GS$$

$$GS = 2738RI$$

- TST número de riegos y potasio

$$TST_{(RI,K)} = \left(\frac{\frac{81GS^{0.19153}K^{0.02586}N^{0.10117}}{RI^{0.92686}}}{\frac{28GS^{0.19153}RI^{0.07314}N^{0.10117}}{K^{0.97414}}} = \frac{1046\lambda}{23.3\lambda} \right) \quad (7)$$

$$\frac{81K}{28RI} = \frac{1046}{23.3}$$

$$1887K = 29288RI$$

∴

$$K = 15.5RI$$

$$RI = 0.06443K$$

- TST potasio y nitrógeno

$$TST_{(K,N)} = \left(\frac{\frac{28GS^{0.19153}RI^{0.07314}N^{0.10117}}{K^{0.97414}}}{\frac{112GS^{0.19153}RI^{0.07314}K^{0.02586}}{N^{0.89883}}} = \frac{23.3\lambda}{16.1\lambda} \right) \quad (8)$$

$$\frac{28N}{112K} = \frac{23.3}{16.1}$$

$$451N = 2610K$$

∴

$$K = 0.1728N$$

$$N = 5.79K$$

Ahora, para encontrar los óptimos económicos de N y K se sustituyeron las equivalencias anteriores correspondientes en la derivada parcial respecto a lambda (restricción presupuestaria).

$$10423 = GS + 1046RI + 23.3K + 16.1N$$

- Sustituyendo el gasto en semilla

$$10423 = 2738RI + 1046RI + 23.3K + 16.1N$$

$$10423 = 3784RI + 23.3K + 16.1N \quad (9)$$

- Sustituyendo el número de riegos

$$10423 = 3784(0.06443K) + 23.3K + 16.1N$$

$$10423 = 267.1K + 16.1N \quad (10)$$

- Sustituyendo el potasio

$$10423 = 267.1K + 16.1N$$

$$10423 = 267.1(0.1728N) + 16.1N$$

$$10423 = 62.25N$$

$$N^* = \frac{10423}{62.25}$$

$$N^* = 167.43$$

$$N^* \approx \mathbf{167}$$

El óptimo económico del nitrógeno se sustituyó en la ecuación 10 para encontrar K*.

$$10423 = 267.1K + 16.1(167)$$

$$10423 = 267.1K + 2689$$

$$10423 - 2689 = 267.1K$$

$$7734 = 267.1K$$

$$K^* = \frac{7734}{267.1}$$

$$K^* = 28.9$$

$$K^* \approx \mathbf{29}$$

Ahora los óptimos económicos del nitrógeno y potasio se sustituyeron en la ecuación 9 para encontrar RI^* .

$$\begin{aligned}
 10423 &= 3784RI + 23.3K + 16.1N \\
 10423 &= 3784RI + 23.3(29) + 16.1(167) \\
 10423 &= 3784RI + 676 + 2689 \\
 10423 - 3365 &= 3784RI \\
 7058 &= 3784RI \\
 RI^* &= \frac{7058}{3784} \\
 RI^* &= 1.86 \\
 \mathbf{RI^*} &\approx \mathbf{2}
 \end{aligned}$$

Por último, los óptimos económicos del nitrógeno, potasio y gasto en semilla se sustituyeron en la restricción presupuestaria para encontrar GS^* .

$$\begin{aligned}
 10423 &= GS + 1046RI + 23.3K + 16.1N \\
 10423 &= GS + 1046(2) + 23.3(29) + 16.1(167) \\
 10423 &= GS + 2092 + 676 + 2689 \\
 10423 - 5461 &= GS^* \\
 \mathbf{GS^*} &= \mathbf{4962}
 \end{aligned}$$

Como se observa, los valores óptimos de nitrógeno y potasio resultaron menores a los encontrados en la función cuadrática, aunque de alguna se podría afirmar que no son radicalmente opuestos.

El óptimo económico de la variable riegos son 2, sin embargo, no hay que perder de vista que el número de riegos dependerá en última instancia del temporal de lluvias. Para los productores maiceros en condiciones de temporal este dato pasara desapercibido.

El nivel óptimo del gasto en semilla es superior al promedio (\$3548) pero ligeramente inferior al gasto en semilla promedio de aquellos productores con un rendimiento superior a 10 t/ha (\$5463). Cabe señalar que esta variable se

verá influenciada por las promociones y ofertas que presenten las casas maiceras en cada ciclo agrícola.

4.6. Minimización del costo al producir 16 toneladas de maíz grano

De acuerdo con Varian (2010), si se tienen dos factores de la producción (X_1^*, X_2^*), con sus respectivos precios (P_1^*, P_2^*) y se pretende encontrar la forma más económica de producir una cantidad (Y), entonces podemos expresar el problema anterior de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Min } C &= P_1 X_1 + P_2 X_2 \\ \text{Sujeta a } f &(X_1 + X_2) \end{aligned}$$

La función de costo $c(P_1, P_2, Y)$ cuantifica el costo mínimo necesario para producir un nivel de Y cuando los precios de los insumos son P_1 y P_2 . Gráficamente, la elección óptima ocurre cuando la pendiente de la isocuanta es igual a la recta isocosto (figura 11). La recta isocosto se deriva de la función de costo:

$$X_2 = \frac{C}{P_2} - \frac{P_1}{P_2} X_1$$

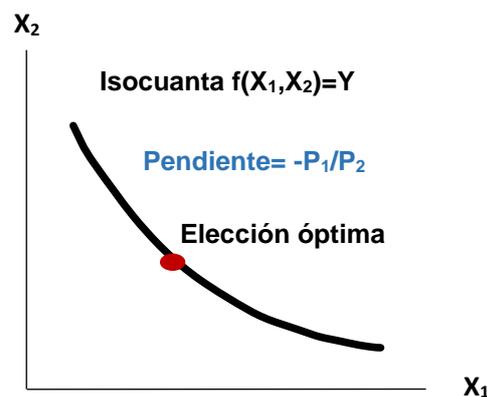


Figura 11. La minimización del costo.
Consultado en Varian (2010)

Matemáticamente, el punto óptimo se encuentra cuando la RMS es igual a la relación de precios.

$$RMS_{x_2, x_1} = - \frac{P_1}{P_2}$$

Para minimizar la función de costo se utilizaron de nueva cuenta los multiplicadores de Lagrange, utilizando la función de producción simplificada igualada a la producción deseada, en este caso, 16 toneladas de maíz grano por hectárea.

$$\begin{aligned} \text{Min}C &= GS + 1046RI + 23.3K + 16.1N - \lambda(16000 \\ &\quad - 1107 GS^{0.19153} RI^{0.07314} K^{0.02586} N^{0.10117}) \\ \text{Min}C &= GS + 1046RI + 23.3K + 16.1N - 16000\lambda \\ &\quad - 1107 GS^{0.19153} RI^{0.07314} K^{0.02586} N^{0.10117}\lambda \end{aligned}$$

A continuación, se obtuvieron las derivadas parciales de cada variable y se igualaron a cero.

$$\frac{\partial C}{\partial GS} = 1 - \frac{212RI^{0.07314} K^{0.02586} N^{0.10117} \lambda}{GS^{0.81}} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial C}{\partial RI} = 1046 - \frac{81 GS^{0.19153} K^{0.02586} N^{0.10117} \lambda}{RI^{0.92686}} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial C}{\partial K} = 23.3 - \frac{28 GS^{0.19153} RI^{0.07314} N^{0.10117} \lambda}{K^{0.97414}} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial C}{\partial N} = 16.1 - \frac{112 GS^{0.19153} RI^{0.07314} K^{0.02586}}{N^{0.89883}} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial C}{\partial \lambda} = 16000 - 1107 GS^{0.19153} RI^{0.07314} K^{0.02586} N^{0.10117} = 0 \quad (5)$$

Después, se calcularon las TST entre algunos pares de insumos.

- TST gasto en semilla y número de riegos

$$TST_{(GS,RI)} = \left(\frac{1}{1046} = \frac{\frac{212RI^{0.07314}K^{0.02586}N^{0.10117}\lambda}{GS^{0.81}}}{\frac{81GS^{0.19153}K^{0.02586}N^{0.10117}\lambda}{RI^{0.92686}}} \right) \quad (6)$$

$$\frac{1}{1046} = \frac{212RI\lambda}{81GS\lambda}$$

$$\frac{1}{1046} = \frac{212RI}{81GS}$$

$$221752RI = 81GS$$

∴

$$RI = 0.00037GS$$

$$GS = 2738RI$$

- TST número de riegos y potasio

$$TST_{(RI,K)} = \left(\frac{1046}{23.3} = \frac{\frac{81GS^{0.19153}K^{0.02586}N^{0.10117}\lambda}{RI^{0.92686}}}{\frac{28GS^{0.19153}RI^{0.07314}N^{0.10117}\lambda}{K^{0.97414}}} \right) \quad (7)$$

$$\frac{1046}{23.3} = \frac{81K\lambda}{28RI\lambda}$$

$$\frac{1046}{23.3} = \frac{81K}{28RI}$$

$$1887K = 29288RI$$

∴

$$K = 15.5RI$$

$$RI = 0.06443K$$

- TST potasio y nitrógeno

$$TST_{(K,N)} = \left(\frac{23.3}{16.1} = \frac{\frac{28 GS^{0.19153} RI^{0.07314} N^{0.10117} \lambda}{K^{0.97414}}}{\frac{112 GS^{0.19153} RI^{0.07314} K^{0.02586} \lambda}{N^{0.89883}}} \right) \quad (8)$$

$$\frac{23.3}{16.1} = \frac{28N\lambda}{112K\lambda}$$

$$\frac{23.3}{16.1} = \frac{28N}{112K}$$

$$451N = 2610K$$

∴

$$K = 0.1728N$$

$$N = 5.79K$$

Las igualdades anteriores se sustituyeron en la derivada parcial del costo respecto a lambda, para obtener los valores de GS, RI, N y K que minimizan el costo de producir 16 toneladas de maíz grano por hectárea.

$$1107 GS^{0.19153} RI^{0.07314} K^{0.02586} N^{0.10117} = 16000$$

- Sustituyendo el gasto en semilla

$$1107 (2738RI)^{0.19153} RI^{0.07314} K^{0.02586} N^{0.10117} = 16000$$

$$1107 (4.5)RI^{0.19153} RI^{0.07314} K^{0.02586} N^{0.10117} = 16000$$

$$4982RI^{0.26467} K^{0.02586} N^{0.10117} = 16000 \quad (9)$$

- Sustituyendo el número de riegos

$$4982(0.06443K)^{0.26467} K^{0.02586} N^{0.10117} = 16000$$

$$4982(0.48)K^{0.26467} K^{0.02586} N^{0.10117} = 16000$$

$$2391K^{0.29053} N^{0.10117} = 16000 \quad (10)$$

- Sustituyendo el potasio

$$2391(0.1728N)^{0.29053} N^{0.10117} = 16000$$

$$2391(0.6)N^{0.29053} N^{0.10117} = 16000$$

$$1435N^{0.3917} = 16000$$

$$N^{0.3917} = \frac{16000}{2391}$$

$$N^{0.3917} = 6.69$$

$$N^* = (6.69)^{\frac{10000}{3917}}$$

$$N^* = \mathbf{128}$$

El óptimo económico del nitrógeno se sustituyó en la ecuación 10 para encontrar K^* .

$$2391K^{0.29053}(128)^{0.10117} = 16000$$

$$2391K^{0.29053}(1.63) = 16000$$

$$3906K^{0.29053} = 16000$$

$$K^{0.29053} = \frac{16000}{3906}$$

$$K^{0.29053} = 4.1$$

$$K^* = (4.09)^{\frac{100000}{29053}}$$

$$K^* = \mathbf{127}$$

Enseguida los óptimos económicos del nitrógeno y potasio se sustituyeron en la ecuación 9 para encontrar RI^* .

$$4982RI^{0.26467}K^{0.02586}N^{0.10117} = 16000$$

$$4982RI^{0.26467}(127)^{0.02586}(128)^{0.10117} = 16000$$

$$4982RI^{0.26467}(1.13)(1.63) = 16000$$

$$9176RI^{0.26467} = 16000$$

$$RI^{0.26467} = \frac{16000}{9176}$$

$$RI^{0.26467} = 1.74$$

$$RI^* = (1.74)^{\frac{100000}{26467}}$$

$$RI^* = \mathbf{8.1}$$

$$RI^* \approx 8$$

Ahora los óptimos económicos del nitrógeno, potasio y número de riegos se sustituyeron en la ecuación 5 para encontrar RI^* .

$$16000 = 1107 GS^{0.19153} RI^{0.07314} K^{0.02586} N^{0.10117}$$

$$16000 = 1107 GS^{0.19153} (8.1)^{0.07314} (127)^{0.02586} (128)^{0.10117}$$

$$16000 = 1107 GS^{0.19153} (1.16)(1.13)(1.63)$$

$$16000 = 2365 GS^{0.19153}$$

$$GS^{0.19153} = \frac{16000}{2365}$$

$$GS^{0.19153} = 6.77$$

$$GS^* = (6.77)^{\frac{100000}{19153}}$$

$$GS^* = 21706$$

Como se puede observar, los óptimos de GS^* y RI^* encontrados para la minimización del costo necesario para producir 16 t/ha de maíz grano son un tanto extravagantes, y no nos ayudan a visualizar una interpretación clara de los valores obtenidos. Sin embargo, a la hora de sustituir estos datos en la función de producción obtenemos el rendimiento esperado, lo que nos demuestra que los óptimos, aunque son atípicos, son correctos y congruentes con los resultados del modelo cuadrático que revelaron una relación beneficio/costo del gasto en semilla mayor a 2.0.

Los valores de N^* y K^* se encuentran en niveles aceptables.

$$1107 GS^{0.19153} RI^{0.07314} K^{0.02586} N^{0.10117} = 16000$$

$$1107 (21706)^{0.19153} (8.1)^{0.07314} (127)^{0.02586} (128)^{0.10117} = 16000$$

$$1107(6.77)(1.16)(1.13)(1.63) = 16000$$

$$16012 \approx 16000$$

4.7. Eficiencia económica

Como se mencionó en el capítulo 2, existen dos tipos de eficiencia: la eficiencia técnica, que consiste en maximizar la producción con la menor cantidad de insumos posibles, y la eficiencia económica, que intenta encontrar aquella asignación de recursos o insumos que mantenga la producción al

menor costo (Cachanosky, 2012). En el presente trabajo, más allá de cuestiones complejas de optimalidad, se decidió utilizar como indicador para medir la eficiencia económica el costo por tonelada de maíz grano de cada productor, como se muestra en la figura 12.

Esto es debido a que, haciendo referencia a la figura 5, las diferencias entre las combinaciones de insumos P y Q para producir una unidad de producto son esencialmente diferencias de costos. Es decir, el productor que produce una unidad de producto con la combinación P gasta más que el productor que utiliza la combinación Q para producir una misma cantidad de producto (una unidad) y por lo tanto P será ineficiente mientras no logre encontrar la manera de ubicarse en Q y el grado de ineficiencia de P será $\{(Q/P)*100\}$.

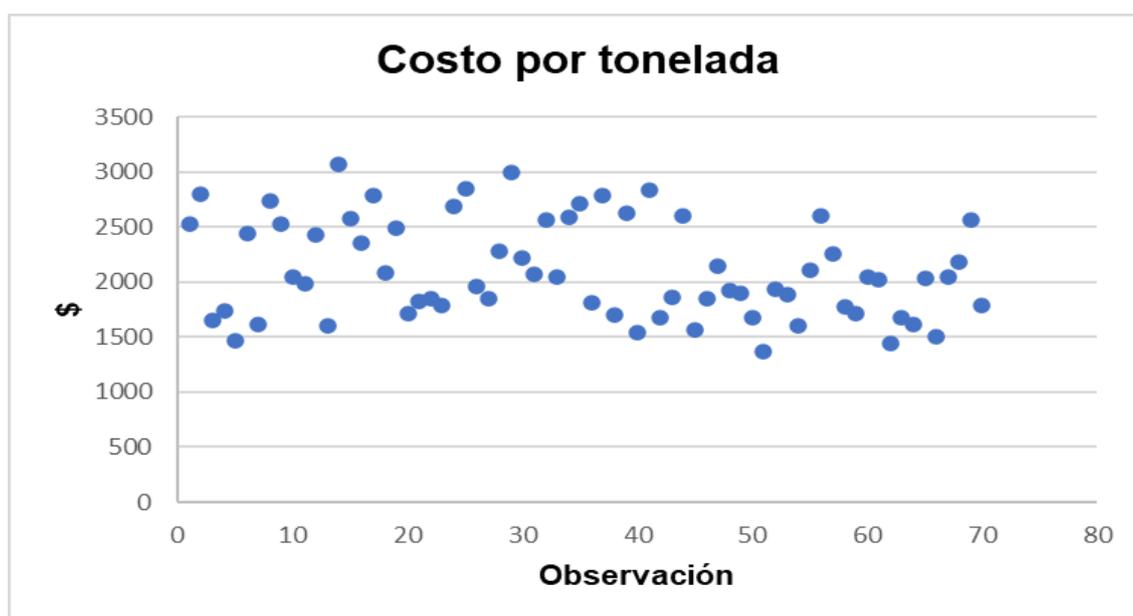


Figura 12. Costo de producir 1 t de maíz grano por productor.
Fuente: elaboración propia con datos de campo.

En la figura 12 se observa que sólo 3 productores tienen un costo por tonelada inferior a los \$1500. Podríamos decir entonces, que esos 3 productores son los más eficientes económicamente ya que presentan el costo por tonelada más bajo.

En contraparte, sólo un productor tiene un costo por tonelada superior a los \$3000, lo que nos lleva a suponer que dicho productor es el más ineficiente

económicamente hablando. El resto de productores tienen un costo por tonelada que ronda entre los \$3000 y \$1500, siendo la media \$2110.

En el cuadro 4 se muestran los costos de producción promedio de los productores entrevistados en la presente investigación. El costo de producción promedio fue de \$17650, donde los conceptos de semilla, fertilizante y maquinaria agrícola representan el 76.6% del costo total.

Cuadro 4. Costos de producción promedio

Concepto	Costos promedio (\$)
Abono orgánico	501
Semilla	3548
Fertilizante	4818
Maquinaria	5164
Jornales	974
Herbicidas	993
Insecticidas	773
Riegos	876
Costo total	17650
Costo por tonelada	2110

Fuente: elaboración propia con datos de campo

A continuación, se buscaron variables que explicaran cambios en la eficiencia económica de los productores. Se encontró que tanto la superficie como la posesión de la tierra (propia o rentada/prestada) influyen ligeramente en el costo medio por tonelada. Las gráficas anteriores se muestran en el anexo 6.

La primera variable que se analizó fue la superficie (cuadro 5). El total de observaciones (productores entrevistados) se dividió en aquellos productores que tienen su explotación en superficies pequeñas (<3ha) y grandes (≥3 ha). Lo anterior tomando como referencia las dimensiones estándares de las parcelas locales. Los resultados nos muestran que el costo por tonelada es más bajo (\$1907) cuando el maíz grano se produce en superficies grandes, que cuando se produce en superficies pequeñas (\$2196). Lo anterior debido a que es más fácil aprovechar las economías de escala para reducir costos cuando el productor cuenta con una mayor superficie.

Cuadro 5. Costos de producción de medianos y pequeños productores

Concepto	Costos promedio pequeños productores (superficie<3ha)	Costos promedio medianos productores (superficie≥3ha)
Abono orgánico	518	417
Semilla	3160	4108
Fertilizante	4511	5080
Maquinaria	5154	4720
Jornales	986	859
Herbicidas	931	1046
Insecticidas	686	901
Riegos	797	977
Costo total	16742	18108
Costo por tonelada	2196	1907

Fuente: elaboración propia con datos de campo

Para la otra variable, posesión de la tierra, de igual manera el total de observaciones se dividió en aquellos productores que son dueños de los terrenos agrícolas donde producen maíz grano y en aquellos que tienen su producción en terrenos rentados o prestados.

Los resultados nos muestran que los productores dueños de sus terrenos agrícolas tienen un costo por tonelada mayor (\$2177) respecto a aquellos que no lo son (\$2029), como se muestra en el cuadro 6.

Cuadro 6. Costos de producción con tenencia de la tierra

Concepto	Costos promedio productores dueños de los terrenos agrícolas	Costos promedio productores no dueños de los terrenos agrícolas
Abono orgánico	466	542
Semilla	3484	3623
Fertilizante	4798	4843
Maquinaria	4956	5412
Jornales	1114	808
Herbicidas	872	1137
Insecticidas	743	808
Riegos	961	775
Costo total	17396	17951
Costo por tonelada	2177	2029

Fuente: elaboración propia con datos de campo

Esto se podría explicar a que los productores que son propietarios de sus terrenos agrícolas tienen una mayor disposición a gastar en prácticas que son beneficiosas para el suelo en el largo plazo, como nivelaciones laser y uso de abonos orgánicos.

Otras variables como el riego, la propiedad de la maquinaria agrícola y la escolaridad no mostraron diferencias significativas en el costo por tonelada de cada productor.

En el cuadro 7 se muestran el número de productores por nivel de eficiencia económica. Para construirlos primero se calculó la ineficiencia en cada nivel utilizando la fórmula $\{(Q/P)*100\}$, donde Q es el nivel de eficiencia máxima, es decir, el costo de tonelada de maíz más bajo, y P corresponde al límite inferior del nivel (costo de tonelada más elevado del mismo).

Cuadro 7. Número de productores por nivel de eficiencia económica

Costo de producción	Número de productores	Porcentaje	Eficiencia económica
\$1371 - \$1500	3	4.4%	100% - 91.5%
\$1501 - \$2000	30	44.1%	91.4% - 68.6%
\$2001 - \$2500	17	25%	68.5% - 54.8%
\$2501 - \$3074	18	26.5%	54.7% - 44.6%

Fuente: elaboración propia con datos de campo

El cuadro 7 refleja la complejidad de la producción maicera. Sólo el 4.4% de los productores son económicamente eficientes, ya que su costo por tonelada de grano producida es inferior a los \$1500. El grueso de los productores maiceros (69.1%) son medianamente eficientes en lo económico, mientras que el restante 26.5% en definitiva son económicamente ineficientes, ya que tienen costos por tonelada muy elevados.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La presente investigación permitió vislumbrar el nivel de eficiencia con el que se utilizan los insumos típicos en una producción maicera mexicana. En el sitio de estudio, con base en los resultados de la función de producción potenciada las variables gasto en semilla, número de riegos, potasio, nitrógeno y edad del productor son las que mejor explican el rendimiento de maíz grano. Como lo indica el objetivo del presente trabajo, cada variable o insumo representativo se analizó individualmente para escudriñar a fondo la eficiencia o ineficiencia de su uso en la producción maicera local.

El primer insumo analizado fue el nitrógeno. El óptimo económico calculado de este mineral fue $N^*=167$ unidades (363 kg de urea). Del total de 68 productores encontramos que sólo el 42.6% utilizó una cantidad de nitrógeno igual o superior a la recomendada. Por ende, el restante 57.3% de productores usó una cantidad inferior al óptimo de este mineral. Cabe señalar que sólo 2 observaciones resultaron drásticamente bajas en nitrógeno y rendimiento, las demás fluctuaron alrededor de la cifra señalada como óptima, lo que de alguna manera nos deja entrever que este insumo es el que más cercano se encuentra a un uso eficiente.

Para incrementar la eficiencia económica del maíz por la vía del nitrógeno sería necesario reducir el costo de este fertilizante, lo cual se podría lograr con una organización económica campesina consolidada que gestione una compra colectiva y de esta manera se aprovechen las economías de escala.

La situación con el potasio es muy diferente, ya que sobre este mineral hay mucha desinformación. Es difícil encontrar un productor que conozca las tasas de extracción de potasio por tonelada de grano producido del cultivo de maíz y el estado de este mineral en su suelo. Lo anterior se refleja en el poco uso de este mineral en la producción maicera del sitio de estudio. Por citar un ejemplo, sólo 13 de los 68 productores entrevistados utilizaron una cantidad igual o superior al óptimo económico $K^*=29$ (96.7 kg de cloruro de potasio). El principal factor que explica la baja demanda de este fertilizante es su alto

precio, ya que tanto el cloruro como el nitrato de potasio tuvieron en 2018 un precio aproximado de \$7000 por tonelada. En la práctica, esto se traduce en que los productores prefieran la fertilización nitrogenada sobre la potásica.

Para incrementar la eficiencia económica del maíz por la vía del potasio sería necesario difundir entre los productores los beneficios de la fertilización potásica, para elevar el uso de este mineral y lograr una fertilización más completa que logre incrementar el rendimiento en el corto plazo.

El gasto en semilla por los productores es una variable que está influida por varios factores, entre los principales tenemos a los subsidios municipales en germoplasma de baja calidad y las ofertas o promociones de empresas semilleras en el mercado. En ese sentido, las nuevas empresas de semilla en su inicio tienen estrategias comerciales muy agresivas para hacerse con una participación del mercado, cuando esto sucede muchos productores ajustan su presupuesto de semilla al alza o a la baja en función de la atractividad de cada promoción.

Para incrementar la eficiencia económica del maíz por la vía de la semilla se antoja complicado, ya que los gustos y preferencias de los productores por las marcas de semilla son muy variadas. Lograr un consenso es algo que sin duda requerirá de tiempo.

Por su parte el número de riegos es una variable que depende del temporal de lluvias y del grado de retención de humedad de cada tipo de suelo. Cabe recordar que el municipio de Huandacareo se encuentra en la Riviera del lago de Cuitzeo, por lo que muchos de sus terrenos presentan un alto grado de humedad residual en el subsuelo. El hecho de que el óptimo de riegos sea una fracción ($RI^*=1.8$) pudiese significar que en el municipio se necesitan de riegos más ligeros.

Para incrementar la eficiencia del riego por gravedad sería necesario mejorar la red hidráulica; desde bombas, canales y tuberías, hasta las condiciones físicas del suelo (mullido de tierra correcto, nivelaciones, etc.). Lo anterior

reduciría las horas de bombeo de agua por riego y, por lo tanto, el costo del riego, lo que a su vez incrementaría eficiencia económica del maíz.

De igual manera, una buena organización para gestionar la irrigación de los terrenos agrícolas del municipio es necesaria para evitar el desabasto de agua para riego en temporadas de alta demanda, ya que la capacidad de riego simultáneo en los ejidos del municipio es limitada, debido a que las fuentes de agua son escasas. Un riego fuera de tiempo puede significar para un productor reducciones considerables en su rendimiento de grano. Actualmente, en el municipio de estudio, cada ejido cuenta con una organización semiformal de productores para organizar y programar los riegos.

La edad del productor fue otra variable que resultó significativa en el modelo potenciado. La edad de los productores va desde los 22 hasta los 74 años, lo que resulta en un rango muy amplio de 52 años. La edad promedio del productor fue de 48 años. Esta variable fue un tanto difícil de interpretar, ya que no se buscó calcular un óptimo de edad, sino más bien crear diversos escenarios. Por ejemplo, si promediamos el rendimiento de los productores jóvenes (<48 años) versus los productores adultos (≥ 48 años) el resultado es muy similar: 9 t/ha. Se podría pensar que los productores mayores son más renuentes al cambio tecnológico y que eso pudiese afectar negativamente su rendimiento agrícola, pero dicha tesis no fue demostrada por los resultados obtenidos.

En la función cuadrática, aparte de las 4 variables anteriores el modelo que mejor ajustó contempla 3 variables más; abono orgánico, superficie y gasto en insecticidas. El modelo nos muestra que el uso de abono orgánico y la producción en superficies grandes (>3 ha) influyen positivamente en el rendimiento de maíz grano, ya que al ser variables dicotómicas presentan signo positivo. Estas variables dicotómicas sirvieron además para formular escenarios de análisis más probables para no reducir el examen de los factores productivos solamente a los promedios.

Por su parte, el gasto en insecticidas también explica este rendimiento, ya que se entiende de manera general, que a mayor gasto de insecticida mejor control de plagas, lo que deriva en menor estrés para el cultivo de maíz y, por ende, un mayor rendimiento de grano.

5.2. Recomendaciones

Para acercarse a la eficiencia económica reduciendo el costo por tonelada será necesario que los productores maiceros del municipio de Huandacareo, Michoacán, estén asociados en una figura económica, que les permita gestionar una compra en conjunto de algunos agroinsumos con el objetivo de reducir sus costos al aprovechar las economías de escala. Asimismo, con la organización campesina se podría incrementar la eficiencia de los riegos, lo que reduciría el costo de esta práctica.

Los óptimos económicos son derivados de un ejercicio matemático y pueden ser tomados como referencia en sistemas de manejo de maíz similares. Es importante señalar que no se deben tomar como una especie de receta que deba ser tomada a rajatabla. La dosis óptima de nitrógeno, potasio y demás variables será única para cada sistema de manejo, ya que esta dependerá de diversos factores, tales como tipo de suelo, propiedades físicas y químicas del suelo, historial de la parcela, rendimiento esperado, etcétera.

El análisis económico del maíz expuesto en la presente investigación se debería considerar como un análisis parcial del sistema de economía familiar de los productores maiceros. Un análisis completo que permita entender a fondo la toma de decisiones de los productores maiceros del municipio deberá contemplar, además de lo referente a la producción del maíz, las otras actividades económicas de cada productor que se analice.

LITERATURA CITADA

Astier, M., Pérez Agis, E., Ortiz, T. y Mota, F. 2017. Sustentabilidad de sistemas campesinos de maíz después de cinco años: el segundo ciclo de evaluación MESMIS. Revista LEISA de Agroecología. 19: 47-53.

Ayala, G. A. V., Sangerman, J. D. M., Schwentesius, R. R., Almaguer, V. G. y Jojalpa, B. L. 2010. Determinación de la competitividad del sector agropecuario en México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 2(4): 501-514.

Blas, C. J. 2012. Análisis de la función de producción de maíz en el Estado de México. Tesis de maestría. División de Ciencias Económico-Administrativas. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 64 p.

Cachanosky, I. 2012. Eficiencia técnica, eficiencia económica y eficiencia dinámica. Procesos de mercado: Revista Europea de Economía política. 9(2): 51-80.

Carro, P.R. y González, G.D. 2012. Productividad y Competitividad. Administración de las operaciones I. Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Económicas y Sociales. Mar del Plata, Argentina. 18 p.

Cochran, W. G. 1984. Técnicas de muestreo. Editorial Continental. México, D.F. 513 p.

Ferguson, C. E. y Gould, J. P. 1984. Teoría microeconómica. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 551 p.

Galindo, G. G. 1996. Las innovaciones agrícolas en el desarrollo de México. Revista Problemas del Desarrollo. 27(105): 69-81.

García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. México.

González, A. V. 1995. El maíz y su conservación. Ed. Trillas. 11-37 pp.

González, L. M. 2017. Sistemas de manejo, productividad y rentabilidad del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en Huandacareo, Michoacán, ciclo primavera-verano 2016. Tesis profesional. Departamento de Agroecología. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 123 p.

Gould, J. P. y Lazear, E. P. 1994. Teoría microeconómica. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 870 p.

Hernández, L. E. 1992. Productividad y eficiencia en la industria mexicana del azúcar (un ensayo metodológico). Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa. División de Ciencias Sociales y Humanidades. México, D.F. 205 p.

Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA). 2015. Una productividad competitiva, incluyente y sustentable: oportunidad para el continente americano. Documento técnico No. 370. Decimoctava Reunión Ordinaria de la Junta Interamericana de Agricultura (JIA). Cancún, México.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1999. Tabulados básicos ejidales por municipio. PROCEDE. 1992-1999. Aguascalientes, Aguascalientes. México.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2005. Censo de Población y Vivienda de Michoacán. Aguascalientes, Aguascalientes. México.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2007. Censo Agrícola, Ganadero y Forestal. Aguascalientes, Aguascalientes. México.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Huandacareo, Michoacán. En línea: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/16/16036.pdf>

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2010. Censo de Población y Vivienda de Michoacán. Aguascalientes, Aguascalientes. México.

Koutsoyiannis, A. 1985. Microeconomía moderna. Amorrortu editores. Buenos Aires, Argentina. 659 p.

Lanfranco, C. B. y Helguera, P. L. 2006. Óptimo técnico y económico, diversificación, costos ocultos y los estímulos para mejorar los procesos en la ganadería regional. Revista INIA Uruguay. Vol. 8, septiembre 2006. 1-5 pp.

Lesur, L. 2005. Manual del cultivo de maíz: una guía paso a paso. Ed. Trillas. México D.F. 80 p.

Luna, M. B. M., Hinojosa, R. M. A., Ayala, G. O. J., Castillo, G. F. y Mejía, C. J. A. 2012. Perspectivas de desarrollo de la industria semillera de maíz de México. Revista Fitotecnia Mexicana 35(1):1-7.

Maddala, G.S. y Miller, E. 1995. Microeconomía. McGraw-Hill Interamericana de México. México, D.F. 649 p.

Mendoza, J. P. 2014. Puruándiro, líder en producción de maíz en Michoacán. Cambio de Michoacán, México, 16 de enero 2014. 5 p.

Meneu, G., Salamero González, J. M. P. y Ventura, M. M. 1999. Fundamentos de optimización matemática en economía. Programación no lineal. Repro-Exprés editor. Universidad de Valencia. 532 p.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2012. El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo. El crecimiento económico es necesario, pero no suficiente para acelerar la reducción del hambre y la malnutrición. Roma, FAO. 64 p.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO): AQUASTAT, 2016.
(http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/MEX)

Orozco, Q. R., Odenthal, J. y Astier, M. 2017. Diversidad de maíces en Pátzcuaro, Michoacán, México, y su relación con factores ambientales y sociales. Revista Agrociencia. 51(8): 867-884.

Oshaug, A. y Haddad, L. 2002. Nutrición y Agricultura. En Nutrición: La Base para el Desarrollo, Ginebra: SCN. 2002.

Otzen, T. y Manterola, C. 2017. Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. Revista International Journal of Morphology. 35(1): 227-232.

Parkin, M. 2006. Microeconomía. Pearson Educación. México. 600 p.

Pindyck, P.S. y Rubinfeld, D.L. 1998. Microeconomía. Editorial Limusa. Grupo Noriega Editores. México, D.F. 821 p.

Plan de desarrollo municipal 2015-2018. Huandacareo, Michoacán. En: Periódico oficial del gobierno constitucional del Estado de Michoacán de Ocampo. Tomo CLXIV, No. 63. Morelia, Michoacán. 9 de mayo de 2016. En línea:
<http://transparencia.congresomich.gob.mx/media/documentos/periodicos/cua6316.pdf>

Quesada, B. V., Nájera, R. M. B., Novelo, E. R. y González, E. C. E. 2017. Ortópteros (Caelifera) y sus hongos entomopatógenos en agroecosistemas de maíz en Erongarícuaro, Michoacán. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 8(6): 1357-1370.

Roderilde, R. O. J. 2008. Determinación de una función de producción en maíz (*Zea mays* L.) a partir de nitrógeno, fósforo y potasio. Tesis profesional. Facultad de agronegocios. Universidad Zamorano. Honduras. 39 p.

Sánchez, B. J. y Guevara, F. F. 2013. Plantas arvenses asociadas a cultivos de maíz de temporal en suelos salinos de la ribera del lago de Cuitzeo, Michoacán, México. Revista Acta Botánica Mexicana. 105: 107-129.

Sarandón, S. J. y Flores, C. C. 2014. La Agroecología: el enfoque necesario para una agricultura sustentable. En: Sarandón, S. J. y Flores, C. C. Eds. Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas. 2014. 1a ed. Universidad Nacional de La Plata. Buenos Aires, Argentina. 466 p.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). 2019. Reporte del mercado de maíz. Agosto 2019. Centro de Información de Mercados Agroalimentarios.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). 2020. Reporte del mercado de maíz. Enero 2020. Centro de Información de Mercados Agroalimentarios.

Varian, H. R. 2010. Microeconomía intermedia. Un enfoque actual. Octava edición. Antoni Bosch editor. Barcelona, España. 818 p.

Xochimil, H. G. V. y Portillo, V. M. 2018. Determinación del óptimo técnico y económico en maíz (*Zea mays* L.) modalidad temporal del Estado de México. Revista Agroproductividad. 11(1): 15-21.

Yotopoulos, P.A. y Nugent, J.B. 1981. Investigaciones sobre el desarrollo económico. Fondo de Cultura Económica. Ciudad de México, México. 742 p.

Zepeda, L. 2001. Agricultural investment, production capacity and productivity. En: FAO. Agricultural investment and productivity in developing countries. FAO Economic and Social Development Paper 148.

ANEXO 1. Entrevista semiestructurada

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

MCEAyRN

Guion de entrevista para maíz ciclo P-V 2018 Entrevista No. _____

I. DATOS DEL AGRICULTOR

1.1. Nombre _____

1.2. Localidad _____

1.3. ¿Pertenece a alguna asociación de productores? Sí _____ No _____

- En caso de respuesta afirmativa:

1.3.1. ¿Cómo se llama la asociación?

1.3.2. ¿Qué beneficios obtiene por pertenecer a la asociación? _____

- En caso de respuesta negativa:

1.3.3. ¿Por qué cree usted que la gente no se organiza?

1.4. ¿El año pasado recibió asesorías o alguna capacitación sobre maíz?

Sí _____ No _____

- En caso de respuesta afirmativa:

1.4.1. ¿De quién?

II. DATOS DEL TERRENO AGRÍCOLA

2.1. ¿Cuánto terreno siembra de maíz? _____ ha

2.2. Tipo de tenencia de la tierra:

Privada _____ ha

Ejidal _____ ha

2.3. El terreno es:

De su propiedad _____

Rentado _____ Costo de la renta/ha _____

Prestado _____

Siembra "a medias" _____

SISTEMA DE MANEJO DEL CULTIVO

III. COSTOS DE PRODUCCIÓN

3.1. PREPARACIÓN DEL TERRENO Y ABONADO

3.1.1. ¿Usted siembra en cero labranza o en labranza normal?

- En caso de que utilice cero labranza:

3.1.2. Herbicidas aplicados **previo** a la siembra (preemergentes)

Nombre del herbicida/buffer	Cantidad/ha	Costo/ha

3.1.3. ¿Cuántos años lleva utilizando este herbicida?

3.1.4. Método de aplicación del herbicida preemergente

Manual		Mecanizado	
No. jornales/ha	Costo del jornal	Horas tractor/ha	Costo por hora

3.1.5. Preparación del terreno

Labor mecanizada	Horas tractor/ha	Costo por hora
Desvare		
Surcado de melgas		

3.1.5.1. Otras labores:

Continuar en el apartado siembra

- En caso de que utilice labranza normal (convencional):

3.1.6. Abonado orgánico

3.1.6.1. ¿Usted utiliza abono orgánico en su terreno? Sí ____ No ____

- En caso de respuesta positiva:

3.1.6.2. ¿Lo usa todos los años? _____

3.1.6.3. ¿Desde cuándo usa abono orgánico regularmente?

3.1.6.4. ¿Qué abono orgánico utiliza?

Estiércol _____

Composta _____

Lombricomposta _____

3.1.6.5. Si utiliza estiércol, de cuál estiércol utiliza:

Bovino _____

Equino _____

Porcino _____

Ovino _____

Caprino _____

Avícola _____

3.1.6.6. ¿Cuánto abono orgánico utiliza por hectárea?

3.1.6.7. ¿A cómo le dan el bulto o la tonelada? _____

3.1.6.8. ¿Cómo aplica el abono orgánico en el terreno?

- En caso de respuesta negativa:

3.1.6.9. ¿Por qué no utiliza abono orgánico?

3.1.7. Preparación del terreno:

Labor mecanizada	Horas tractor/ha	Costo por hora
Desvare		
Arado		
Rastreo		
Nivelado		
Surcado		

3.2. SIEMBRA

3.2.1. Semilla

Nombre de la semilla	Cantidad/ha	Costo/ha	Años de usarla

3.2.1.1. Tratamiento de semilla

3.2.1.2. ¿Usted trató la semilla con algún producto? Sí ____ No ____

- En caso de respuesta positiva:

Nombre del producto	Cantidad/ha	Costo/ha	Años de usar el producto

3.2.2. Método de siembra

Animal		Mecanizado	
Horas animal/ha	Costo/ha	Horas tractor/ha	Costo por hora

3.2.3. Fertilizantes aplicados en siembra

Nombre del fertilizante	Cantidad/ha	Costo/ha

3.2.3.1. ¿Cuántos años lleva utilizando fertilizante? _____

3.2.4. Insecticidas aplicados en siembra

Nombre del insecticida	Cantidad/ha	Costo/ha

3.2.4.1. ¿Cuántos años lleva utilizando insecticida? _____

3.3. MANEJO DE ARVENCES/MALEZAS

3.3.1. Herbicidas aplicados después de la siembra (postemergencia)

Nombre del herbicida/buffer/adherente	Cantidad/ha	Costo/ha

3.3.1. ¿Cuántos años lleva utilizando herbicida? _____

3.3.2. Método de aplicación del herbicida

Manual		Mecanizado	
No. jornales/ha	Costo/ha	Horas tractor/ha	Costo por hora

3.3.4. ¿Usted realiza escardas? Sí ____ No ____

- En caso de respuesta positiva

3.3.4.1. Método de escarda

Animal		Mecanizado	
Horas animal/ha	Costo/ha	Horas tractor/ha	Costo por hora

3.3.5. ¿Fertiliza cuando realiza el deshierbe mecanizado? Sí ____ No ____

- En caso de respuesta positiva

3.3.5.1. Fertilizantes granulados aplicados durante el deshierbe (escarda) mecanizado

Nombre del fertilizante	Cantidad/ha	Costo/ha

3.4. RIEGOS

3.4.1. Riego presiembra (para siembra en húmedo)

Costo del riego	Costo del regador

3.4.2. Riegos de auxilio

3.4.2.1. No. de riegos de auxilio _____

3.4.2.2. Costo por riego

Costo del riego	Costo del regador

3.5. CONTROL DE PLAGAS Y FERTILIZACIÓN FOLIAR

3.5.1. Control de plagas

3.5.1.1. Control químico

Plaga 1

Nombre de la plaga	Nombre del insecticida/buffer/adherente/fertilizante foliar	Cantidad/ha	Costo/ha

Plaga 2

Nombre de la plaga	Nombre del insecticida/buffer/adherente/fertilizante foliar	Cantidad/ha	Costo/ha

Plaga 3

Nombre de la plaga	Nombre del insecticida/buffer/adherente/fertilizante foliar	Cantidad/ha	Costo/ha

3.6. FERTILIZACIÓN GRANULADA (SEGUNDA Y TERCERA FERTILIZACIÓN)

Si el productor realiza una escarda con fertilización saltar a tercera fertilización

3.6.1. Segunda fertilización

3.6.1.1. Fertilizantes granulados aplicados al cultivo del maíz

Nombre del fertilizante	Cantidad/ha	Costo/ha

3.6.1.2. Método de aplicación del fertilizante granulado

Manual		Mecanizado	
No. jornales/ha	Costo/ha	Horas tractor/ha	Costo/ha

3.6.2. Tercera fertilización

3.6.2.1. Fertilizantes granulados aplicados al cultivo del maíz

Nombre del fertilizante	Cantidad/ha	Costo/ha

3.6.2.2. Método de aplicación del fertilizante granulado

Manual		Mecanizado	
No. jornales/ha	Costo/ha	Horas tractor/ha	Costo/ha

3.7. COSTOS DE COSECHA

3.7.1. Propósito del cultivo de maíz

Grano _____

Forraje _____

3.7.2. Método de cosecha

Manual _____

Tractor (ensilado) _____

Trilladora (grano) _____

3.7.2. Costo de cosecha del maíz

Manual		Mecanizado		
		Ensilado		Trilladora
No. jornales/ha	Costo/ha	Horas tractor/ha	Costo/ha	Costo trilladora/ha

3.7.3. Costo de transporte del producto al sitio de venta o almacenamiento por hectárea

Costo por fletes (ensilado)/ha	Costo fletes camión de volteo/ha
\$	\$

3.8.5. Costo de pesajes del producto _____

IV. INGRESOS

4.2. Maíz para grano

4.2.1. Rendimiento de grano

Rendimiento de grano (t/ha)	Precio de mercado por tonelada

4.2.2. Subproductos obtenidos

Rendimiento de pacas de rastrojo/ha	Ganancia unitaria (precio por paca – costo por paca)

4.3. Maíz para forraje (ensilado)

4.3.1. Rendimiento de ensilado en verde

Rendimiento de ensilado en verde (t/ha)	Precio por tonelada

ANEXO 2. Procedimiento de medias (Proc Means)

- **Medias generales**

Procedimiento MEANS

Variable	No. obs	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
AO	70	625.0000000	1119.87	0	5000.00
SE	70	29.2185714	5.8305118	20.0000000	60.0000000
N	70	206.4185714	73.7707461	0	374.5000000
P	70	53.7335714	49.6694951	0	189.0000000
K	70	14.6214286	27.3949159	0	120.0000000
MA	70	7.9357143	2.1588568	4.0000000	12.5000000
JO	70	4.6857143	1.9966846	2.0000000	11.0000000
HE	70	2.4207143	1.3404113	1.0000000	7.0000000
IN	70	1.8542857	1.1400401	0	5.0000000
RI	70	1.2428571	1.0826124	0	4.0000000
ED	70	47.5571429	12.9834183	22.0000000	74.0000000
ES	70	9.3571429	3.9746870	2.0000000	18.0000000
SU	70	4.0435714	6.1762338	1.0000000	45.0000000
PT	70	0.5428571	0.5017567	0	1.0000000
TP	70	0.3857143	0.4902782	0	1.0000000
Y	70	8609.28	2548.94	4000.00	16000.00

- **Medias en riego**

Procedimiento MEANS

Variable	No. obs	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
AO	48	757.2916667	1250.40	0	5000.00
SE	48	29.2875000	6.3977597	20.0000000	60.0000000
N	48	217.8500000	78.4121978	0	374.5000000
P	48	62.5177083	52.8901526	0	189.0000000
K	48	15.6354167	25.9848032	0	92.0000000
MA	48	7.8645833	2.2620589	4.0000000	12.5000000
JO	48	5.2500000	2.0158943	3.0000000	11.0000000
HE	48	2.5322917	1.4396546	1.0000000	7.0000000
IN	48	1.9135417	1.1643526	0	5.0000000
RI	48	1.8125000	0.8162251	1.0000000	4.0000000
ED	48	46.8125000	13.1208073	22.0000000	74.0000000
ES	48	9.9375000	4.0180775	2.0000000	16.0000000
SU	48	4.2708333	6.8325709	1.0000000	45.0000000
PT	48	0.6041667	0.4942040	0	1.0000000
TP	48	0.3125000	0.4684174	0	1.0000000
Y	48	9681.25	2486.65	4500.00	16000.00

- **Medias en temporal**

Procedimiento MEANS

Variable	No. obs	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
AO	22	336.3636364	702.9160043	0	3000.00
SE	22	29.0681818	4.4782423	20.0000000	40.0000000
N	22	181.4772727	56.3028540	102.0000000	289.0000000
P	22	34.5681818	35.8343728	0	92.0000000
K	22	12.4090909	30.7767059	0	120.0000000
MA	22	8.0909091	1.9556777	4.0000000	12.5000000
JO	22	3.4545455	1.2993505	2.0000000	6.0000000
HE	22	2.1772727	1.0836147	1.0000000	4.1000000
IN	22	1.7250000	1.1002976	0.1000000	4.4500000
RI	22	0	0	0	0
ED	22	49.1818182	12.8271897	23.0000000	73.0000000
ES	22	8.0909091	3.6502980	2.0000000	18.0000000
SU	22	3.5477273	4.5252066	1.0000000	20.0000000
PT	22	0.4090909	0.5032363	0	1.0000000
TP	22	0.6875000	0.5096472	0	1.0000000
Y	22	6815.91	1473.69	4000.00	10000.00

ANEXO 3. Regresión cuadrática

Procedimiento REG
 Modelo: MODEL1
 Variable dependiente: Y

Analysis of Variance

Fuente	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Valor	Pr
Modelo	9	326810147	36312239	18.63	<.0001
Error	59	114992896	1949032		
Total corregido	68	441803043			

Root MSE	1396.07741	R-cuadrado	0.7397
Media dependiente	8676.08696	Adj R-Sq	0.7000
Coeff Var	16.09110		

Parámetros estimados

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	Valor t	Pr > t
Término i	1	1253.03191	1105.67147	1.13	0.2617
GS	1	0.53680	0.12860	4.17	<.0001
A0	1	771.78661	354.66661	2.18	0.0336
RI	1	577.80472	195.50083	2.96	0.0045
K	1	52.44101	19.81438	2.65	0.0104
K2	1	-0.45309	0.22020	-2.06	0.0441
N	1	29.78685	10.46638	2.85	0.0061
N2	1	-0.05546	0.02531	-2.19	0.0324
PXIN	1	0.23399	0.11761	1.99	0.0513
SU	1	730.09589	429.36093	1.70	0.0943

ANEXO 4. Cálculo del precio unitario de los insumos nitrógeno y potasio

- Para el nitrógeno

Para calcular el precio del nitrógeno (P), se tomó como base el fertilizante urea, el cual tuvo un precio promedio por tonelada de \$7400 durante el año de levantamiento de los datos, es decir, el precio de un bulto de 50 kg fue de \$370. La urea presenta la formulación 46-00-00, lo que significa que en cada 100 kg de urea existen 46 kg de nitrógeno, entonces, siguiendo esa proporción se calculó lo siguiente:

$$50 \text{ kg de urea} = 23 \text{ kg de N}$$

$$50 \text{ kg de urea} = \$370$$

∴

$$\text{kg de N} = \$370/23$$

$$\text{kg de N} = \$16.08$$

$$\text{kg de N} \approx \$16.1$$

- Para el potasio

Para calcular el precio del potasio (PK), se tomó como base el fertilizante cloruro de potasio, el cual tuvo un precio promedio por tonelada de \$7000 durante el año de levantamiento de los datos, es decir, el precio de un bulto de 50 kg fue de \$350. La urea presenta la formulación 00-00-30, lo que significa que en cada 100 kg de urea existen 30 kg de potasio, entonces, siguiendo esa proporción se calculó lo siguiente:

$$50 \text{ kg de cloruro de potasio} = 15 \text{ kg de K}$$

$$50 \text{ kg de cloruro de potasio} = \$350$$

∴

$$\text{kg de K} = \$350/15$$

$$\text{kg de K} = \$23.33$$

$$\text{kg de NK} \approx \$23.3$$

ANEXO 5. Regresión logarítmica

Procedimiento REG
 Modelo: MODEL1
 Variable dependiente: LNY

Analysis of Variance

	Fuente	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Valor	Pr
> F						
<.0001	Modelo	5	4.05229	0.81046	31.64	
	Error	63	1.61386	0.02562		
	Total corregido	68	5.66615			

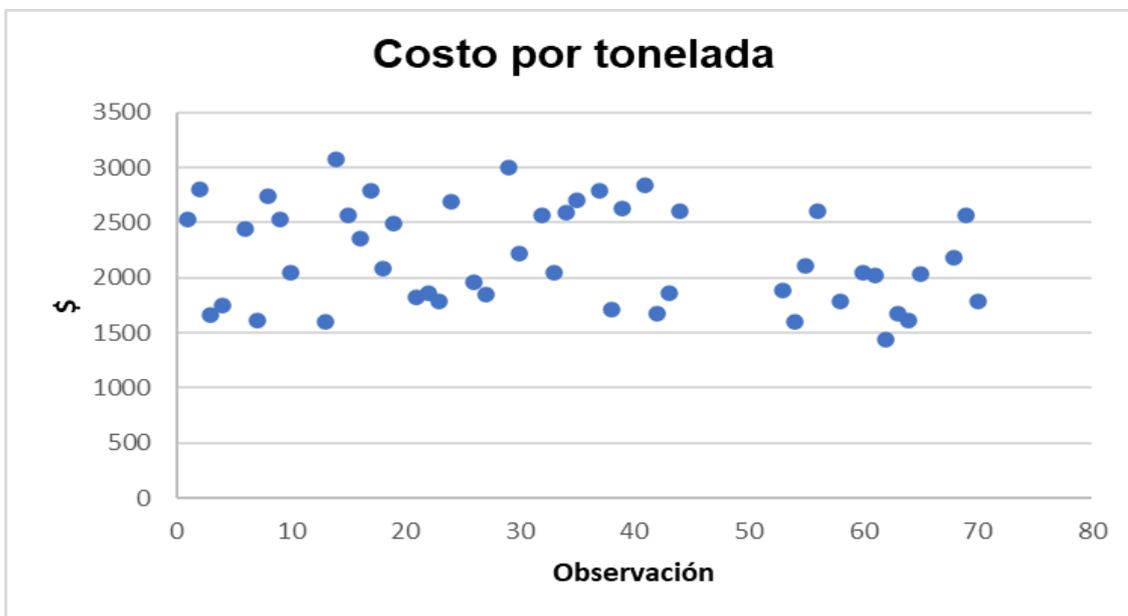
Root MSE	0.16005	R-cuadrado	0.7152
Media dependiente	9.02734	Adj R-Sq	0.6926
Coeff Var	1.77297		

Parámetros estimados

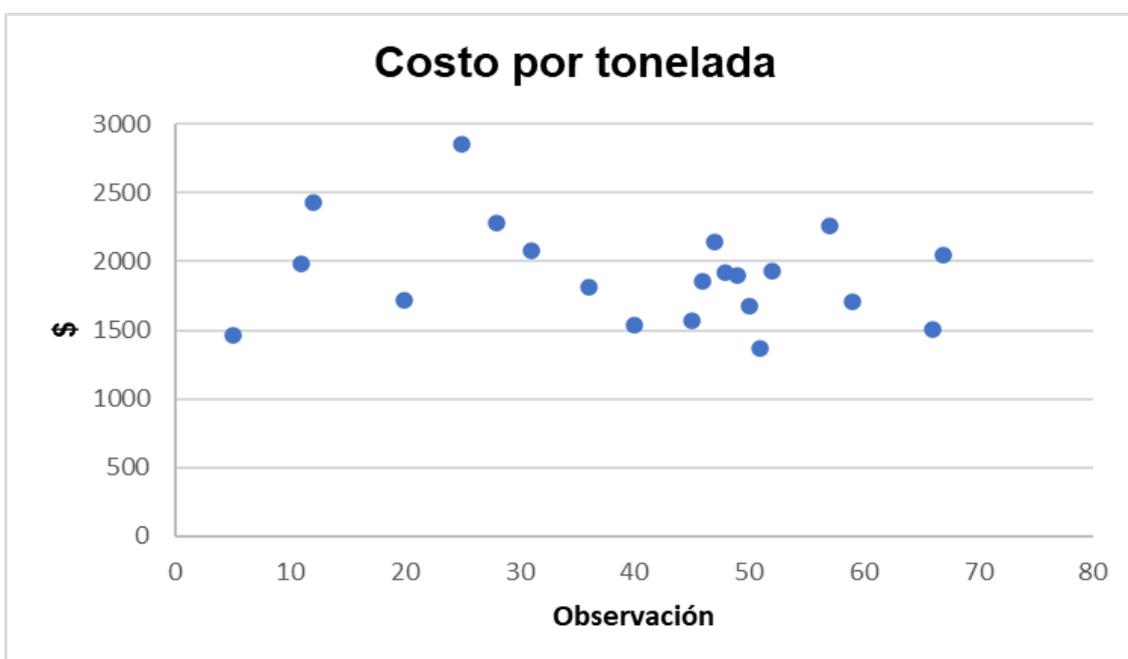
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	Valor t	Pr > t
Término i	1	6.37324	0.40669	15.67	<.0001
LNGS	1	0.19153	0.03906	4.90	<.0001
LNRI	1	0.07314	0.01665	4.39	<.0001
LNK	1	0.02586	0.00724	3.57	0.0007
LNN	1	0.10117	0.02031	4.98	<.0001
LNED	1	0.16604	0.06900	2.41	0.0191

ANEXO 6. Cambios en la eficiencia económica por superficie y posesión de la tierra

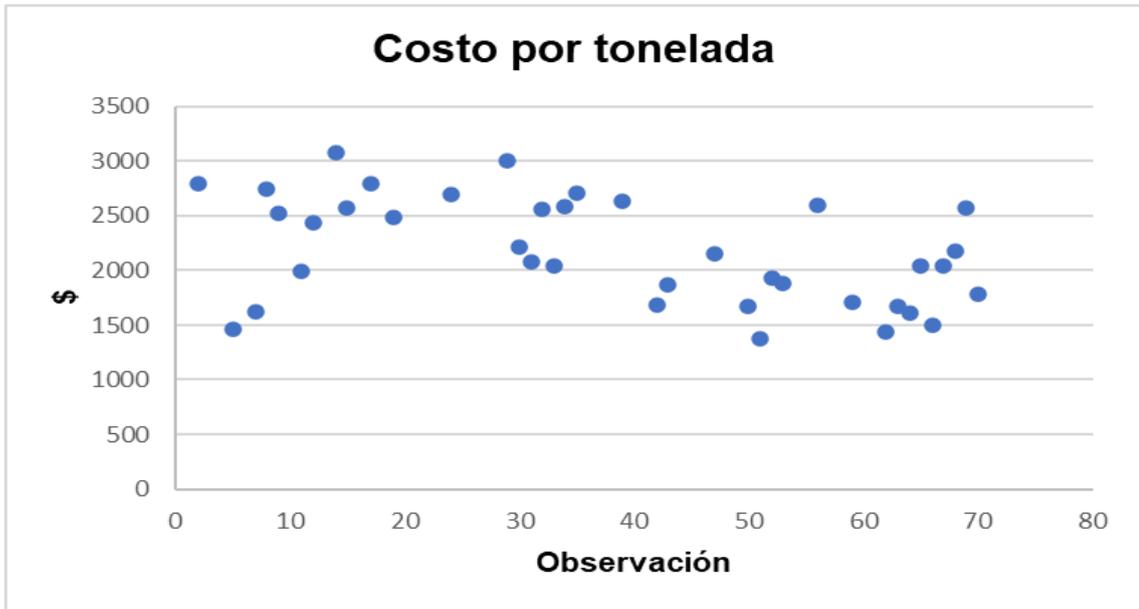
- Superficie pequeña (<3ha): costo medio por tonelada \$2196



- Superficie grande (≥ 3 ha): costo medio por tonelada \$1907



- Terreno propio: costo medio por tonelada \$2177



- Terreno prestado/rentado: costo medio por tonelada \$2029

