



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS ECONÓMICO-ADMINISTRATIVAS

**“UTILIZACIÓN DE INSUMOS AGRÍCOLAS EN MAÍZ PARA MÁXIMA EFICIENCIA
FINANCIERA”**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

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

PRESENTA:

DIEGO FRANCISCO CRUZ LÓPEZ



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



Junio de 2016

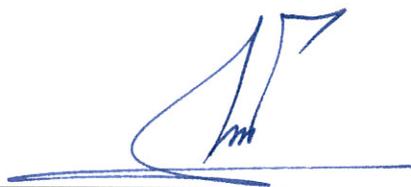
Chapingo, Texcoco, Edo. México

UTILIZACIÓN DE INSUMOS AGRÍCOLAS EN MAÍZ PARA MÁXIMA EFICIENCIA FINANCIERA

Tesis realizada por **Diego Francisco Cruz López**, bajo la dirección 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:



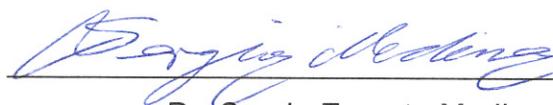
Dr. Marcos Portillo Vázquez.

ASESOR:



Dra. Alma Alicia Gómez Gómez.

ASESOR:



Dr. Sergio Ernesto Medina Cuellar

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, mi *Alma máter* y mi casa por casi una década, por abrirme sus puertas por tercera vez en mi vida, y permitirme la oportunidad de realizar los estudios de Maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por darme la oportunidad de cumplir esta meta y por su financiamiento otorgado para poder realizar mis estudios.

A la División de Ciencias Económico Administrativas, por todo lo que me ha brindado para mi formación académica, profesional y personal.

Al Dr. Marcos Portillo Vázquez por su apoyo incondicional y total durante mi estancia en Chapingo y en cualquier lugar, además de su excelente dirección del presente trabajo, su amistad y compañía en todo momento. Un agradecimiento y admiración perpetúa gran amigo.

A la Dra. Alma Alicia Gómez Gómez, por su colaboración para escribir el presente trabajo así como formar parte de mi formación académica y personal, por la sincera amistad que hemos cultivado, usted es una parte muy importante del presente trabajo.

Al Dr. Sergio Ernesto Medina Cuellar, por sus recomendaciones tan atinadas para la elaboración de la presente tesis, así como la gran afinidad existente entre nosotros, mí apreciable Sergio esto también es parte tuyo.

A todos los Profesores que han estado presentes en mi formación profesional, académica y personal.

DEDICATORIA

- A Dios, por haberme dado el grandioso regalo de la vida y poder permitirme llegar a la culminación de esta meta.

- A mis padres Francisco Cruz Pizarro y María Remedios López Reyes por su apoyo incondicional en todo momento para poder realizar cada uno de mis sueños, su apoyo en todo momento y por todo su amor y cariño, con inmensa gratitud y devoción.

- A mi hermano Adrián Cruz López, por su valioso apoyo demostrado, prometiéndote siempre tratar de ser el mejor ejemplo para ti.

- A Mirna Calderón Pineda por tu apoyo y compañía en cada instante. Estuviste conmigo en todo momento. Por tu amor, cariño y comprensión. Eres un hermoso regalo que la vida me ha dado.

- Al Dr. Marcos Portillo Vázquez por su sincera amistad y apoyo en todo lugar y momento. Un agradecimiento, respeto y lealtad perpetua.

- A mis familiares por su apoyo mostrado en cada momento, su comprensión y amistad. Muchas gracias.

UTILIZACIÓN DE INSUMOS AGRÍCOLAS EN MAÍZ PARA MÁXIMA EFICIENCIA FINANCIERA

USE OF AGRICULTURAL INPUTS IN CORN FOR MAXIMUM FINANCIAL EFFICIENCY

Diego Francisco Cruz López¹ y Dr. Marcos Portillo Vázquez²

RESUMEN

La agricultura se ve limitada por condiciones naturales y por la falta de recursos tecnológicos que son determinantes para su incremento y desarrollo. No obstante existen agricultores que tienen la capacidad económica para obtener y mantener sus producciones con base en la experiencia de prueba y error, la cual en la mayoría de los casos eleva los costos de producción sin lograr un aprovechamiento efectivo de los insumos o en su defecto sin obtener el óptimo económico de lo invertido en los cultivos. Elaborar una función de producción aplicada a la agricultura que permita un mayor conocimiento de la contribución que tienen los insumos de la producción, específicamente la dosis de fertilización empleada y como afecta esta la relación inversión-beneficio que se obtendrá en campo. En el presente estudio, se utiliza dicha metodología, de manera más concreta: la función de producción cúbica. Otra aplicación de esta función de producción está relacionada con la implantación de políticas de ajuste estructural en las formas tradicionales de fertilización que persigue en la mayoría de los casos el máximo rendimiento por hectárea, dejando de lado los altos costos en que se incurre y la contaminación que provoca al ambiente. Por su parte el maíz es un cultivo muy importante en México, una superficie sembrada para grano de 7.35 millones de ha, un rendimiento promedio de 3.32 ton/ha y un volumen de producción de 24.41 millones de toneladas.

Palabras clave: Producción, Insumos, Función de producción cúbica, Óptimo económico Rendimiento, Maíz.

ABSTRACT

Agriculture is constrained by natural conditions and a lack of technological resources that are crucial for its growth and development. However, there are farmers who have the economic ability to obtain and maintain their productions based on the experience of trial and error, which in most cases raises production costs without achieving effective use of inputs or, failing that, without obtaining the economic optimum resulting from the investment in the crops. Developing a production function applied to agriculture allows a better understanding of the contribution made by the production inputs, particularly the fertilizer dose used and how it affects the investment-benefit ratio obtained in the field. In the present study, this methodology is used, more specifically: cubic production function. Another application of this production function is related to the implementation of structural adjustment policies on traditional forms of fertilization that pursue in most cases the maximum yield per hectare, leaving aside the high costs incurred and the pollution it causes to the environment. For its part, corn is a very important crop in Mexico, with a sown area for grain of 7.35 million hectares, an average yield of 3.32 tons/ha and a production volume of 24.41 million tons.

Key words: Production, Inputs, Cubic production function, Economic optimum, Yield, Corn.

1. Autor

2. Director de tesis

ABREVIATURAS EMPLEADAS

PIB	Producto Interno Bruto
HN ³	Agua Amoniacal (Amoníaco)
Ha	Hectárea
PMg	Producto Marginal
Pme	Producto Medio
PT	Producto Total
N	Nitrógeno
Km	Kilómetro
Cm.	Centímetro
Ton	Tonelada
UREA	Fertilizante de fórmula CO (NH ₂) ₂
SIAP	Servicio de Información Estadística, Agroalimentaria y Pesquera
Inputs	Entradas o materias primas
Outputs	Salidas o productos terminados
k	Capital
w	Salario
L	Trabajo (insumo variable)
r	Tasa de interés o de uso del capital
CT	Costo Total
CF	Costo Fijo
CV	Costo Variable
CMe	Costo Medio
CFMe	Costo Fijo Medio
CVMe	Costo Variable Medio
CTMe	Costo Total Medio
CES	Elasticidad de Sustitución Constante

CONTENIDO

INDICE DE CUADROS.....	8
INDICE DE FIGURAS.....	9
I. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1 Planteamiento del problema.....	14
1.2 Justificación.....	15
1.3 Objetivos.....	16
1.4 Hipótesis.....	17
1.5 Materiales y métodos.....	17
II. ESTABLECIMIENTO DE UN DISEÑO EXPERIMENTAL PARA PRODUCCIÓN DE MÁXIMA EFICIENCIA FINANCIERA DE MAÍZ BLANCO DE RIEGO EN SINALOA.....	20
2.1 Análisis de la zona de estudio.....	20
2.2 Datos generales.....	21
2.3 Función de producción cúbica agrícola.....	23
2.4 Resultados buscados.....	24
2.5 La producción agrícola tecnificada.....	25
2.6 Preparación de terreno, siembra e insumos empleados para el cultivo de Maíz.....	26
2.7 Descripción de las Dosis de Agua Amoniacal.....	36
III. TEORÍAS SOBRE PRONÓSTICOS DE PRODUCCIÓN.....	48
3.1 Teoría de la Producción: Conceptos Básicos.....	48
3.1.1 La Función de Producción.....	48
3.1.2 Definición de Producción.....	49
3.1.3 Insumos en la función de Producción.....	51
3.1.4 Tecnología y Cambio Tecnológico.....	52
3.1.5 Definición de Eficiencia.....	54
3.1.5.1 Eficiencia en las diferentes áreas.....	55
3.1.5.2 Eficiencia Económica.....	56
3.1.6 Análisis de Corto Plazo del Producto Total Medio y Marginal.....	58
3.1.6.1 Las tres etapas de producción en el corto plazo.....	60
3.1.6.2 La ley de los rendimientos decrecientes.....	64
3.1.6.3 Costos a Corto Plazo.....	65
3.1.6.4 Relación entre la Productividad Marginal (PMg) y Costo Marginal (CMg).....	69
3.1.6.5 Relación entre la Productividad Media (PMe) y Costo Variable Medio (CVMe).....	69
3.1.7 La función de producción en el largo plazo.....	69
3.1.7.1 La producción en el largo plazo.....	72
3.1.7.2 Relación entre la RMST y el producto marginal de los factores....	74
3.1.7.3 Curvas de Costo Medio y Marginal a largo plazo.....	75
3.1.7.4 Economías y deseconomías de escala.....	76
3.2 Desarrollo teórico de algunas de las principales funciones de producción.....	76

3.2.1 Función de producción simple.....	76
3.2.2 Función de producción cúbica.....	76
3.2.2.1 La función Cúbica.....	77
a.- Orígenes.....	77
b.- Definición.....	78
c.- Propiedades.....	78
d.- Aplicaciones.....	78
3.2.3 Función de producción cuadrática.....	79
3.2.4 Función de producción potencia.....	80
3.2.5 Función de producción Cobb-Douglas.....	81
3.2.6 Otras funciones de Producción.....	84
a. Función de producción de Zellner.....	84
b. Función Generalizada de Hildebrand y Liu.....	84
c. Función de producción de Spillman.....	85
3.2.10 Efecto de Variables Estado en las funciones de Producción.....	85
3.3 La función de producción cubica aplicada en la Agricultura.....	86
3.3.1 La función de producción cúbica y sus propiedades.....	87
3.3.2 Proceso de optimización del uso de Nitrógeno por hectárea.....	90
3.3.3 Etapas de la función de producción cúbica.....	92
3.3.3.1 Máxima eficiencia en el insumo X.....	94
3.3.3.2 Máxima ganancia de la inversión en el insumo X (N/ha).....	96
3.3.4 Expresión algebraica de una función de producción cúbica.....	100
3.3.5 Utilidad práctica de la función de producción cúbica.....	106
3.3.6 Desventajas de otro tipo de función de producción.....	107
3.3.7 Ventajas de producir en el Máximo Producto Medio.....	109
3.3.8 Ventajas de producir en el punto de Máxima Ganancia.....	110
3.3.9 Ventajas de producir en el Máximo Rendimiento por Hectárea.....	110
3.4 Cultivo del Maíz.....	111
3.4.1 Origen e Historia.....	111
3.4.2 Descripción y Preparación del Terreno.....	112
3.4.3 Características fisiológicas.....	112
3.4.3.1 Híbridos o Variedades.....	113
3.4.3.2 Época, método y densidad de siembra.....	114
3.4.3.3 Fertilización.....	115
3.4.3.4 Riegos.....	117
3.4.3.5 Plagas y Enfermedades.....	118
3.4.3.6 Cosecha.....	119
3.4.3.7 Aplicaciones y usos.....	119
3.4.4 El Mercado Interno del Maíz en México.....	120
3.4.5 Importación de Maíz.....	122
3.4.6 Perspectivas del Mercado Mundial del Maíz.....	124
3.5 Investigaciones o trabajos previos o de otros autores.....	126
IV. RECOMENDACIONES PARA FUTURAS INVESTIGACIONES.....	128
V. CONCLUSIONES.....	129
VI. BIBLIOGRAFÍA.....	131

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Cultivo del Maíz en México.....	20
Cuadro 2. Cambios de corto plazo en la producción (productividad de factores).....	62
Cuadro 3. Funciones de Producción de corto plazo, Q, P _{Me} , P _P	63
Cuadro 4. Rendimientos a escala.....	70
Cuadro 5. Clases de híbridos de Maíz.....	114
Cuadro 6. Principales plagas de Maíz en México.....	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva de la Función Cúbica.....	18
Figura 2. Vista satelital de la ubicación geográfica de Tamazula, Guasave, Sinaloa.....	22
Figura 3. Vista terrestre de la ubicación geográfica de Tamazula, Guasave, Sinaloa.....	22
Figura 4. Entrada al poblado de Tamazula, Guasave, Sinaloa.....	23
Figura 5. Puntos de las 3 etapas de Producción.....	23
Figura 6. Mazorca del Maíz Clave: DK-2038®.....	27
Figura 7. Depósito de la cosechadora llenado con Semilla Dekalb 2038.....	27
Figura 8. Semilla Dekalb 2038.....	28
Figura 9. Características Agronómicas semilla DK-2038®.....	29
Figura 10. Características del método de siembra (vista frontal).....	30
Figura 11. Características del método de siembra (vista lateral).....	30
Figura 12. Aspecto de un cultivo y fertilización en siembras a 60 cm en tresbolillo.....	31
Figura 13. Aspecto de un cultivo y fertilización en siembra a 60 cm en tresbolillo.....	31
Figura 14. Cosechadora con cabezal maicero para surcos estrechos a 60 cm.....	33
Figura 15. Depósito de la cosechadora llenado con Semilla Dekalb 2038.....	33
Figura 16. Semilla Dekalb 2038 depositada en el área de estudio.....	34
Figura 17. Tractor sembrando el Maíz.....	34

Figura 18. Tractor sembrando el Maíz (vista de costado) con supervisión de personal de la Universidad Autónoma Chapingo.....	35
Figura 19. Tractor sembrando el Maíz (vista 2) con supervisión de personal de la Universidad Autónoma Chapingo.....	35
Figura 20. Realizando la toma de medidas con cinta métrica de la hectárea con supervisión de personal de la Universidad Autónoma Chapingo.....	37
Figura 21. Continuando con la toma de medidas con cinta métrica de la hectárea con supervisión de personal de la Universidad Autónoma Chapingo.....	37
Figura 22. Realizando la toma de medidas con cinta métrica de campo de la hectárea para el experimento (vista frontal) con supervisión de personal de la Universidad Autónoma Chapingo.....	38
Figura 23. Toma de medidas con cinta métrica de campo de la hectárea para el experimento (vista frontal) con supervisión de personal de la Universidad Autónoma Chapingo.....	38
Figura 24. Distribución de las dosis de agua amoniacal.....	39
Figura 25. Área de estudio rodeada de parcelas.....	39
Figura 26. Tractor aplicando el agua Amoniacal (NH ₃) con dosis 0 con supervisión de personal de la Universidad Autónoma Chapingo.....	40
Figura 27. Tractor aplicando el agua Amoniacal (NH ₃) con dosis 0 en el tratamiento testigo.....	41
Figura 28. Modificando a la siguiente dosis de agua Amoniacal (NH ₃).....	41
Figura 29. Indicando al tractorista las dosis de agua Amoniacal (NH ₃) para cada vuelta con supervisión de personal de la Universidad Autónoma	

Chapingo.....	42
Figura 30. Modificando las dosis de agua Amoniacal (NH ₃) de acuerdo a lo establecido en el diseño experimental.....	42
Figura 31. Aplicando las dosis de agua Amoniacal (NH ₃).....	43
Figura 32. Continuando con la aplicación de las respectivas dosis de agua Amoniacal (NH ₃).....	43
Figura 33. Continuando con la aplicación de las respectivas dosis de agua Amoniacal (NH ₃).....	44
Figura 34. Letrero de agua Amoniacal (NH ₃) y UREA para venta.....	44
Figura 35. Planta de distribución y venta de agua Amoniacal (NH ₃) para los agricultores en el Municipio de Guasave, Sinaloa.....	45
Figura 36. Tanque salchicha de agua Amoniacal (NH ₃) en la planta de venta.....	45
Figura 37. Tanque salchicha de agua Amoniacal (NH ₃) para toma de fuerza de tractor.....	46
Figura 38. Dr. Marcos Portillo Vázquez y Lic. Diego Francisco Cruz López en un campo de maíz durante el diseño experimental.....	47
Figura 39. Curvas de Producto Total (PT), Producto Marginal (PMgL) y Producto Medio (PMeL).....	59
Figura 40. Relación entre Producto Total, Medio y Marginal.....	60
Figura 41. Las tres etapas de la producción.....	61
Figura 42. Producción de corto plazo con $Y=2$	63
Figura 43. Ley de los Rendimientos Marginales Decrecientes.....	64
Figura 44. Ley de los Rendimientos Marginales Decrecientes (2)	75

Figura 45. Función de producción cúbica.....	77
Figura 46. Función de producción cuadrática.....	80
Figura 47. Función de producción en Maíz.....	89
Figura 48. Función de producción en Maíz (optimización).....	91
Figura 49. Etapas de la producción.....	92
Figura 50. Etapa II (Racional) de la producción.....	93
Figura 51. Análisis de la etapa II (Racional) de la producción.....	96
Figura 52. Grafica de los datos de campo en Maíz.....	105
Figura 53. Representación de la Función Cobb-Douglas.....	108
Figura 54. Producción y Consumo de Maíz Blanco y Amarillo.....	122
Figura 55. Cosechadora de Maíz Amarillo.....	124
Figura 56. Salida del modelo de regresión lineal cúbica.....	127

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como propósito fundamental elaborar una función de producción para la agricultura que permita mayor conocimiento de la contribución que tienen los insumos de la producción, específicamente la dosis de fertilización empleada y como afecta la relación inversión-beneficio que se obtendrá en campo.

Dentro de los objetivos específicos se busca elaborar un diseño experimental para determinar la máxima eficiencia financiera, que se traduce en la mayor producción a obtener por peso invertido. Otra aplicación de esta función de producción está relacionada con la implantación de políticas de ajuste estructural en las formas tradicionales de fertilización que persigue en la mayoría de los casos el máximo rendimiento por hectárea, dejando de lado los altos costos en que se incurre y la contaminación que provoca al ambiente. En la presente investigación se demostrará que se obtienen mejores resultados de las inversiones realizadas en insumos agrícolas encontrando el óptimo económico, que los obtenidos con las dosis y cantidades que normalmente se realizan en la producción de granos, comúnmente llamado óptimo técnico.

Es importante destacar que la agricultura es un sector que genera cerca del 3.5% del PIB (Banco Mundial, 2014) y está más integrada con el resto de la economía, al comprar más insumos intermedios, por lo tanto tiene eslabonamientos más fuertes.

El maíz es un cultivo muy importante en México, 7.35 millones de ha de maíz para grano es la superficie sembrada, un rendimiento medio de 3.32 ton/ha y un volumen de producción de 24.41 millones de toneladas (SIAP, 2014), todo esto reflejado en el valor de la producción y la ocupación que provee al 20% de la población económicamente activa.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La agricultura se ve limitada por condiciones naturales y por la falta de recursos tecnológicos que son determinantes para su incremento y desarrollo. No obstante existen agricultores que tienen la capacidad económica para obtener y mantener sus producciones con base en la experiencia de prueba y error la cual en la mayoría de los casos eleva los costos de producción sin lograr aprovechamiento efectivo de los insumos o en su defecto sin obtener el óptimo económico de lo invertido en los cultivos. El maíz es el cultivo agrícola más importante de México, tanto desde el enfoque alimentario como en industrial, sin embargo en la mayoría de las explotaciones sus costos son elevados y se traducen en poca competitividad en el mercado.

Los insumos agrícolas son materiales de uso con la finalidad de obtener mejores resultados en la cosecha, como fertilizantes, abonos, semillas, material de propagación vegetal, agentes y productos para el control de plagas. Es posible elevar la productividad pero de forma sustentable, ya que es muy común llevar al límite el nivel de producción, dejando de lado el aspecto sostenible.

Una gran cantidad de los productores desconoce las cantidades de insumos variables que generan el máximo producto medio al cual se le conoce como nivel de máxima eficiencia del recurso, y que además delimita la etapa I de la producción que está dada por las cantidades menores de uso de Nitrógeno, que da la máxima rentabilidad financiera, por tanto el menor costo unitario del producto y contribuye a una producción sustentable. Ante tal escenario, existe la necesidad de realizar un estudio que provea información para determinar una función de producción en el cultivo de maíz en la Región del Noroeste, específicamente en el Estado de Sinaloa,

con la implementación de un diseño experimental cuyo objetivo es el de encontrar la dosis de nitrógeno y el distanciamiento entre siembra que refleje el punto óptimo económico.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Este trabajo propone elevar la eficiencia con los insumos requeridos para el maíz, con lo que se obtiene una producción eficiente y sustentable con el ambiente, esto refuerza la suma importancia de buscar la cantidad de nitrógeno que genera la máxima eficiencia. Otros puntos que justifican, respaldan y dan sustento al presente trabajo se describen a continuación:

*Para satisfacer el aumento en la demanda del maíz, así como la tendencia en la producción agrícola tiene que aumentar, aun mas, se espera que esa producción cada vez mayor, se logre en cada vez menor superficie sembrada para fines de rescatar áreas verdes para mejorar el ambiente y a la vez, conseguir que los costos de producción unitaria tengan tendencia a la baja para fines de competitividad de los precios del producto en el mercado.

*El desconocimiento por parte de la gran mayoría de los agricultores, origina que los recursos que se destinan sean sub-aprovechados en la actividad agrícola

*Utilización de insumos variables en su nivel de máximo rendimiento financiero de las inversiones sobre el recurso tierra (no de máximo rendimiento por hectárea).

*Eliminación de labores no rentables como puede ser el barbecho anual, segunda labor etc. Por ejemplo: Eliminar la labor barbecho si el costo de esta labor, no se paga con la producción que genera.

*Identificación de paquete tecnológico recomendable producto de aplicación de diseños experimentales adecuados.

*Por la importancia alimentaria y representativa que genera este cultivo.

1.3 OBJETIVOS

General

- Definir y conocer los criterios para elaborar un plan de fertilización en maíz considerando la dosis de Nitrógeno (Agua Amoniacal) que es principal y esencial nutriente para generar el máximo producto medio al cual se le conoce como nivel de máxima eficiencia del recurso.

Específicos

- Establecer y montar un diseño experimental en el cultivo de maíz en la región de Sinaloa, bajo criterios de diferentes dosis de fertilización con Agua Amoniacal (NH₃), para obtener la cantidad de Nitrógeno optimo-económica.
- Elaborar y aplicar el diseño experimental en coordinación con los productores de la región de estudio para definir los criterios de fertilización
- Cuantificar la importancia de los insumos agrícolas en la producción de alimentos, para saber cómo influyen en la misma.
- Diseñar un mecanismo para disminuir la superficie sembrada de maíz para tener recuperación del medio ambiente.
- Obtener un mayor volumen de producto generado para obtener un incremento en los alimentos producidos.
- Contribuir a la obtención del menor precio relativo de venta del producto para elevar la competitividad de los productores de maíz en el mercado
- Generar mayor valor de la producción agrícola en maíz, para otorgar una creciente aportación al PIB de México de dicho sector.

1.4 HIPÓTESIS

El uso e intensidad en que se utilizan actualmente los insumos agrícolas no son los más recomendables desde el punto de vista de la Economía Agrícola. Es posible obtener mejores resultados a través de experimentos en campo con participación activa de productores y obtener resultados aceptables por los agricultores. Es posible obtener la máxima eficiencia financiera en la producción de maíz, consiguiendo el máximo producto medio, o lo que es lo mismo, la máxima conversión por peso invertido en grano.

El diseño experimental se puede aplicar a otras regiones del país donde pueden adaptarse y adoptarse procedimientos agrícolas seguidos en Sinaloa.

1.5 MATERIALES Y MÉTODOS

Existen diferentes tipos de investigación, en este trabajo se empleó un tipo exploratorio-descriptivo y el método experimental, los estudios exploratorios tienen por objeto ayudar a que el investigador se familiarice con la situación problema, identifique las variables más importantes, reconozca otros cursos de acción y obtener ideas y conocimientos de una situación, mientras que los estudios descriptivos como su nombre lo dice describen situaciones, eventos y hechos. Mientras que el Método Experimental consiste en reproducir los fenómenos naturales de manera artificial, cuantificando y midiendo algunas variables respecto a las condiciones naturales para mejorar los procesos en beneficio del hombre. Este método parte de establecer el objeto o fenómeno que se va a estudiar, se define un testigo y se van modificando las condiciones. Se aseguran los materiales necesarios y se estructuran los pasos a seguir, por eso la presente tesis, se planteó y estableció un diseño experimental en la

Región de Guasave, Sinaloa bajo diferentes dosis de fertilización de Nitrógeno, en esta primera fase, el objetivo primordial es montar dicho diseño experimental, el cual se cumplió de manera satisfactoria.

Se aplicó la Función de Producción Cúbica como instrumento de análisis, debido a los siguientes factores:

-Muestra los Incrementos en producción ante cambios unitarios del recurso variable (PMg creciente, PMg decreciente, PMg=0 máxima producción por hectárea y Pmg negativos)

-Permite determinar un nivel de uso del nitrógeno (N) que representa el máximo producto promedio que puede alcanzar el N aplicado al cultivo = el nivel de empleo del N donde se obtiene la máxima conversión de N en producto o grano.

Esto se puede ver de manera gráfica en la siguiente figura:

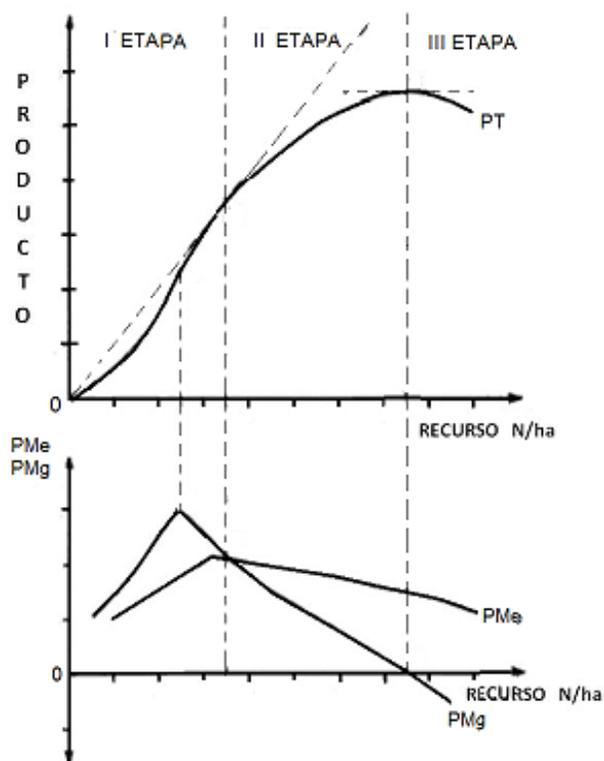


Figura 1. Curva de la Función Cúbica

Fuente: Hall R. Varian, 1999.

En el aspecto económico se utilizaron viáticos, lo cual consistió en gastos de transporte, alojamiento y alimentación, para realizar la visita a la zona de establecimiento y recorridos necesarios.

En el aspecto material, para la revisión bibliográfica se utilizó un equipo de cómputo, material bibliográfico, una cámara fotográfica profesional.

CAPÍTULO II. ESTABLECIMIENTO DE UN DISEÑO EXPERIMENTAL PARA PRODUCCIÓN DE MÁXIMA EFICIENCIA FINANCIERA DE MAÍZ BLANCO DE RIEGO EN SINALOA.

2.1 Análisis de la zona de estudio

Cuando se toca el tema de alta producción de maíz siempre va ligado a Sinaloa, debido a que es el estado donde se obtiene el mayor promedio de rendimiento por hectárea y es donde se ha trabajado más durante los últimos 10 años en mejorar la tecnología de manejo. La superficie estatal destinada al cultivo de maíz en el ciclo agrícola otoño-invierno 2007-2008 fue de 484,817 hectáreas, con una producción de 5.1 millones de toneladas. El maíz, es por excelencia el cereal que más produce Sinaloa y el estado es el principal productor de maíz en grano, tal como se señala en el siguiente cuadro:

Cuadro 1. Cultivo del Maíz en México

AÑO AGRÍCOLA	SUPERFICIE COSECHADA (ha)	PRODUCCIÓN (t)	VALOR (miles de pesos)
2001-2002	405,707	3,112,588	3,631,201
2002-2003	364,430	2,711,802	4,008,098
2003-2004	503,059	4,009,138	6,169,889
2004-2005	479,654	4,192,844	5,457,377
2005-2006	492,686	4,398,420	6,369,438
2006-2007	585,670	5,132,809	12,020,620
2007-2008	575,087	5,179,156	14,012,948
2008-2009	557,305	5,326,302	14,417,840

Fuente: SIACON, 2011.

Con este panorama, los productores no tienen todos sus problemas resueltos, pues cada vez es más necesario realizar eficientemente el manejo de los factores que inciden en la rentabilidad de la actividad agrícola, más aún si consideramos la

apertura comercial con Estados Unidos y Canadá, exenta de aranceles en el cultivo de maíz, por lo cual es imperante buscar el aumento en la competitividad, es decir, producir más al menor costo.

2.2 Datos generales

Lugar: El lugar exacto donde se montó el experimento se llama “Predio de la Mole”, en la Localidad de Tamazula, municipio de Guasave, Sinaloa, México.

Fecha: Del 3 al 6 de diciembre del 2015

Ubicación, accesibilidad y comunicaciones: El estado de Sinaloa abarca una superficie de 58,328 km² ubicados en el noroeste de México, colindando al norte con Sonora y Chihuahua; al sur con Nayarit y el océano Pacífico; al este con Chihuahua, Durango y Nayarit, y al oeste con el Golfo de California.

Sinaloa tiene acceso por aire, tierra o mar, y salida hacia el océano, la Península de Baja California, a la Sierra Tarahumara o al desierto. Cuenta con 1,195 km de vías férreas, cuatro aeropuertos, tres de ellos internacionales, y dos puertos importantes (Mazatlán y Topolobampo) con potencial para manejar cargas pesadas a Estados Unidos y Asia.

Descripción y ubicación de la localidad o área de trabajo: La localidad de Tamazula está situada en el Municipio de Guasave, en el Estado de Sinaloa. Tiene 3126 habitantes. Tamazula está a 10 metros de altitud (10 msnm).

En la localidad hay 1541 hombres y 1585 mujeres. La relación mujeres/hombres es de 1.029. El ratio de fecundidad de la población femenina es de 2.79 hijos por mujer. El porcentaje de analfabetismo entre los adultos es del 4.25% (3.7% en los hombres y 4.79% en las mujeres) y el grado de escolaridad es de 8.18 (8.43 en hombres y

7.94 en mujeres). En Tamazula el 0.45% de los adultos habla alguna lengua indígena. En la localidad se encuentran 782 viviendas.



Figura 2. Vista satelital de la ubicación geográfica de Tamazula, Guasave, Sinaloa
Fuente: Tageo.com

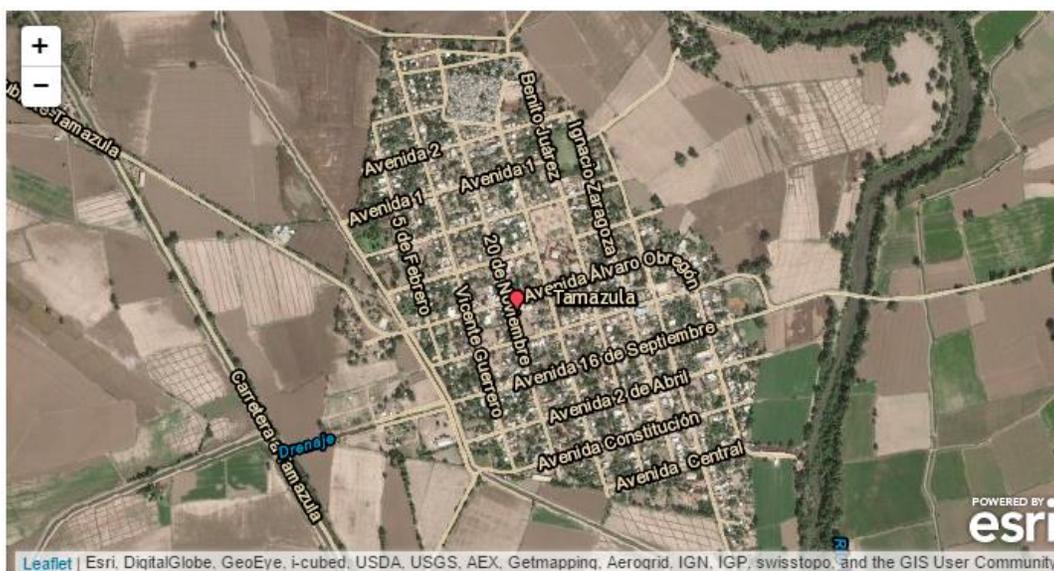


Figura 3. Vista terrestre de la ubicación geográfica de Tamazula, Guasave, Sinaloa
Fuente: Esri/mapas



Figura 4. Entrada al poblado de Tamazula, Guasave, Sinaloa

Fuente: Portal del Gobierno del Estado de Sinaloa

2.3 Función de producción cúbica agrícola

Se empleó esta función para el diseño experimental, por las razones que más adelante se mencionan.

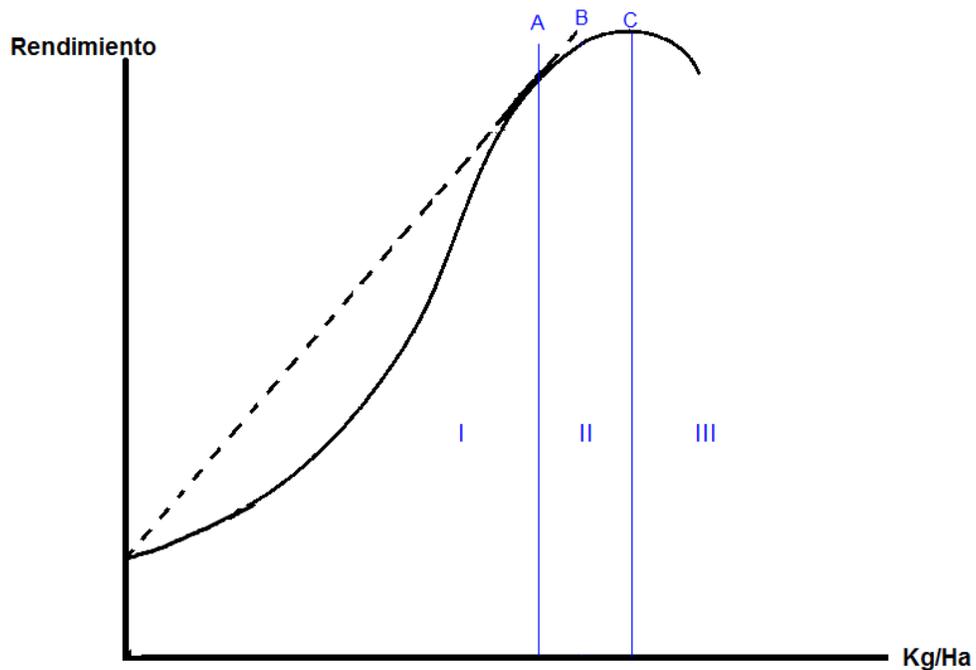


Figura 5. Puntos de las 3 etapas de Producción

Fuente: Hall R. Varian, 1999.

Explicación del gráfico:

Punto A:

Es más barato el grano por concepto de costo del insumo variable.

Mayor cantidad de grano por unidad de insumo

Máxima Eficiencia de la Inversión hecha en el insumo del que se trate

Máxima conversión de nitrógeno en grano

Punto B:

Es el punto de la máxima ganancia total como diferencia de la relación Ingreso menos Costo

Punto C:

Es el máximo ingreso total, lo que significa la máxima producción por hectárea que se puede obtener.

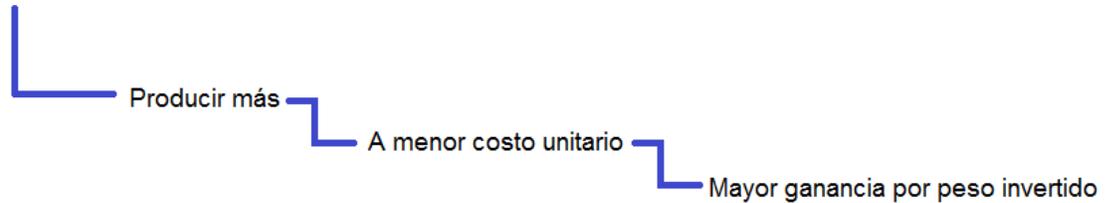
Los datos de establecimiento de este diseño experimental son:

2.4 Resultados buscados

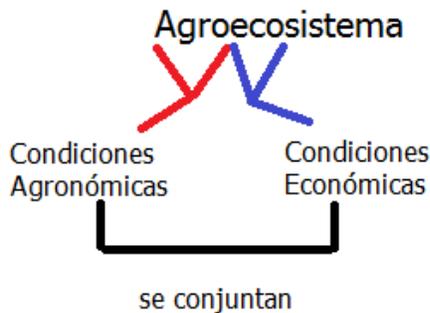
Obtener la máxima eficiencia financiera por peso invertido, o en otras palabras obtener la máxima conversión en grano por kilo de Agua Amoniacal (nitrógeno aplicado) y que el productor esté de acuerdo y se dé cuenta de lo que invierte y lo que obtiene. Este diseño experimental favorece la disminución de fertilizante, por lo tanto disminuye los contaminantes y se obtiene eficiencia.

En otras palabras se busca lo siguiente:

Objetivo: Obtener la Máxima Eficiencia Financiera



Los resultados serán válidos para un Agroecosistema, el cual se compone de 2 enfoques:



De aquí viene el nombre, se toman en cuenta factores Agronómicos, como las condiciones meteorológicas, clima, precipitación, temperatura, método de siembra, tipo de semilla, estos son muy importantes para tomar en consideración el daño que se causa al ambiente y minimizarlo; y factores económicos, como el precio de la semilla, el precio del fertilizante, valor de la producción, rendimientos.

2.5 La producción agrícola tecnificada

Las zonas agrícolas constituyen el 33.63% de la superficie estatal, 1, 180,591 ha cultivadas en 2012 de las cuales 41% cuenta con infraestructura de riego y el 59% restante es agricultura de temporal.

La agricultura de riego se localiza principalmente del centro al norte del Estado en los municipios de Ahome, El Fuerte, Guasave, Angostura, Navolato, Culiacán y Elota;

mientras que la agricultura de temporal se localiza principalmente en la franja comprendida entre Sierra Madre y la costa, en la región centro-norte en los municipios de Culiacán, Elota, Mocorito y Sinaloa.

En Sinaloa se practica la agricultura más tecnificada del país, lo que le permite lograr una gran productividad. Entre los principales productos agrícolas destacan maíz, pepino, tomate, calabaza, berenjena, chile, legumbres, mango, melón, sandía, frijol, soya, cártamo, arroz, trigo, papa y sorgo.

2.6 Preparación de terreno, siembra e insumos empleados para el cultivo de maíz

La preparación del terreno se refiere a cualquier manipulación mecánica del suelo que altere su estructura, con el objetivo de proporcionar y mantener las condiciones óptimas para la germinación y desarrollo de las plantas, esto se logra al remover y mullir el suelo para reducir la compactación y para enterrar o mezclar vegetales y fertilizantes en la capa arable.

La preparación del terreno se realiza antes de efectuar la siembra de algún cultivo, con implementos como el arado, rastra, niveladora y cultivadoras o *rotatilers*.

Descripción de Semilla: La semilla que se utilizó es **Maíz Blanco Dekalb 2038**. Esta semilla se lleva utilizando en la región entre 3 y 4 años.





Figura 6. Mazorca del Maíz Clave: DK-2038®

Fuente: Monsanto.com



Figura 7. Depósito de la cosechadora llenado con Semilla Dekalb 2038

Fuente: Datos de campo



Figura 8. Semilla Dekalb 2038

Fuente: Datos de campo

Característica y beneficio: DK-2038® es el híbrido de DEKALB® que ofrece la mejor respuesta al manejo de altas densidades, sobretodo en el sistema de surcos reducidos, lo que se traducirá en mayores toneladas y mejores ingresos.

-Características adicionales:

-Excelente permanencia en verde, lo que ayuda a que la planta llegue sana hasta la cosecha.

-Ideal para el manejo intensivo del productor exigente de Sinaloa.

-Excelente calidad de raíces y tallos.

-Mazorca de buen tamaño y uniforme dentro de toda la parcela.

-Grano sano y muy blanco.

-Gran tolerancia a Roya.

CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS:

 Ciclo vegetativo:	Intermedio
 Poder de germinación:	Excelente
 Vigor de emergencia:	Excelente
 Días de floración:	90-95
 Días a cosecha:	185-195
 Altura de planta (centímetros):	245-275
 Altura de mazorca (centímetros):	135-145
 Cobertura de mazorca:	Buena
 Tipo de grano:	Dentado
 Hileras por mazorca:	16-18
 Tolerancia al Acame:	Tolerante
 Tolerancia a pudrición de tallo:	Muy Tolerante
 Fusarium:	Muy Tolerante
 Densidad de siembra (semillas/metro):	6.5 - A Surco Angosto
 Densidad de siembra (semillas/hectárea):	(1)
 Densidad de siembra (semillas/hectárea):	(2)

(1) 120, 000- 125,000 - A Surco Convencional
(2) 125,000 – 130,000 - A Surco Angosto

Figura 9. Características Agronómicas semilla DK-2038®

Fuente: Monsanto.com

Precio de la Semilla: El precio de la semilla es de \$ 2,900 la tonelada y por hectárea se emplean 2 toneladas. Por lo tanto el costo total de la semilla es de \$ 5,800 por hectárea. Cada bulto contiene 60,000 semillas, pero como se utilizaron 2 bultos, se tienen en total 120,000 semillas.

Fecha de siembra: El maíz se puede sembrar durante septiembre, octubre, noviembre y diciembre. En este caso se realizó el día 5 de Diciembre del 2015.

Características del método de siembra: Las características de siembra son las siguientes:

- Se sembró en tresbolillo
- A doble hilera por surco
- 1 semilla por planta
- 10 cm entre planta y planta en 1 solo surco

-20 cm entre hileras de un mismo surco

-60 cm entre surcos

Tal como se muestra en el siguiente dibujo

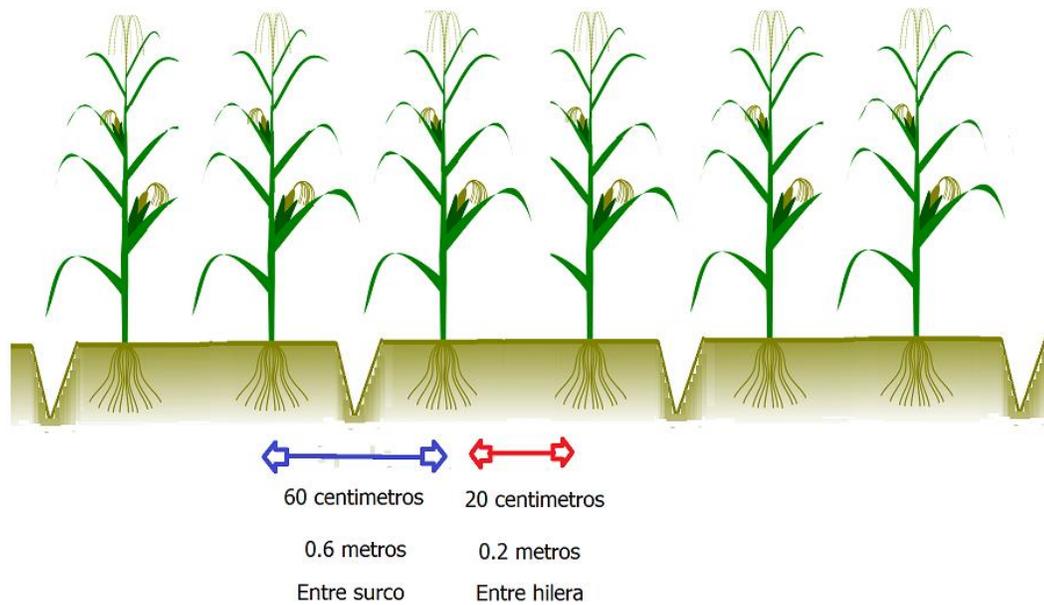


Figura 10. Características del método de siembra (vista frontal)

Fuente: Elaboración propia con datos de campo

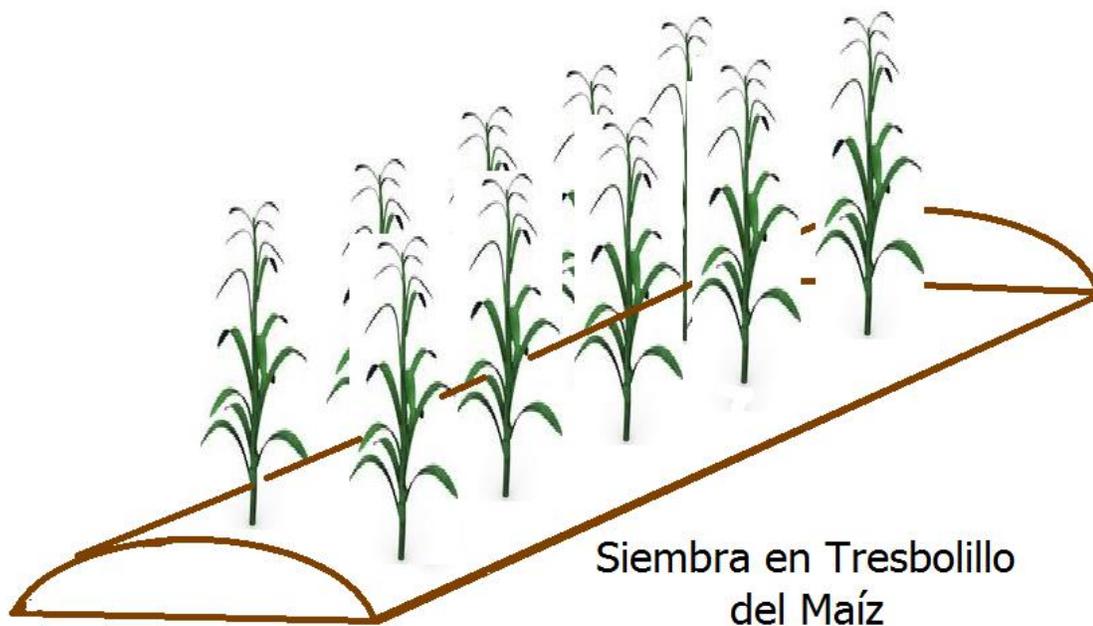


Figura 11. Características del método de siembra (vista lateral)

Fuente: Elaboración propia con datos de campo



Figura 12. Aspecto de un cultivo y fertilización en siembras a 60 cm en tresbolillo

Fuente: Datos de campo



Figura 13. Aspecto de un cultivo y fertilización en siembra a 60 cm en tresbolillo

Fuente: Datos de campo

Mediante el manejo de siembras en surcos de 60 cm; de doble hilera, se presenta un cierre anticipado del cultivo, pues al modificarse la distribución espacial de las plantas se reduce el sombreado mutuo entre las hojas durante su etapa de expansión, lo que logra una cobertura del suelo más rápida.

Esta cobertura más temprana permite lograr mayor eficiencia en la intercepción de la luz, del suelo y nutrientes en el cultivo, respecto de la eficiencia lograda con las siembras en surcos convencionales de hilera sencilla, con separación a 75 y 80 cm.

El método permite incrementar la densidad de plantas por hectárea, al manejar poblaciones que van desde 100,000 hasta 125,000 plantas, para brindarles una mejor distribución en el terreno.

La siembra se realiza con una sembradora de doble hilera o, bien, con una sembradora convencional de siembra en hilera sencilla para surcos a 60 cm.

Esta tecnología permite, además, obtener una disminución de los problemas de acame (caída de plantas) y plantas improductivas, que se traduce en mayores rendimientos por hectárea.

Cabe resaltar que la respuesta productiva de cada híbrido es variable en función de la estructura y de la fisiología de la planta, por lo que los niveles de incremento en rendimiento son directamente proporcionales al grado de adaptación de cada material.



Figura 14. Cosechadora con cabezal maicero para surcos estrechos a 60 cm.

Fuente: Datos de campo



Figura 15. Depósito de la cosechadora llenado con Semilla Dekalb 2038

Fuente: Datos de campo



Figura 16. Semilla Dekalb 2038 depositada en el área de estudio

Fuente: Datos de campo



Figura 17. Tractor sembrando el Maíz

Fuente: Datos de campo



Figura 18. Tractor sembrando el Maíz (vista de costado) con supervisión de personal de la Universidad Autónoma Chapingo

Fuente: Datos de campo



Figura 19. Tractor sembrando el Maíz (vista 2) con supervisión de personal de la Universidad Autónoma Chapingo

Fuente: Datos de campo

Personas involucradas en el experimento: Las personas que participaron para montar el presente Diseño Experimental fueron:

-Dr. Marcos Portillo Vázquez (Director de Tesis)

-Lic. Diego Francisco Cruz López (Tesisista)

-Sr. Teodoro Ponce (Dueño de la Parcela para fijar el experimento)

-Sr. Efraín “Payo” (Tractorista)

-Sr. Leonardo (El Campero que se encarga de los riegos y otras labores)

2.7 Descripción de las Dosis de Agua Amoniacal

Fertilización: La fertilización, en cuanto a sus dosis, fuentes y épocas de aplicación, se tiene que definir en dos aspectos clave: primero, la fertilidad natural, mediante un análisis de suelo, y, segundo, la meta de producción. Pero, de manera general, en la región se efectúan 2 aplicaciones: Una en pre-siembra (24 horas antes de la siembra), y la otra al inicio de la floración. Este método proporciona una nutrición más balanceada al cultivo y favorece su rendimiento. De manera convencional se usan 400 kilos de agua Amoniacal por hectárea, por lo tanto 200 Kg/ha por aplicación. Esto se puede apreciar en las imágenes que a continuación se muestran, donde se observa la toma de medidas para montar el presente diseño experimental:



Figura 20. Realizando la toma de medidas con cinta métrica de la hectárea con supervisión de personal de la Universidad Autónoma Chapingo

Fuente: Datos de campo



Figura 21. Continuando con la toma de medidas con cinta métrica de la hectárea con supervisión de personal de la Universidad Autónoma Chapingo

Fuente: Datos de campo



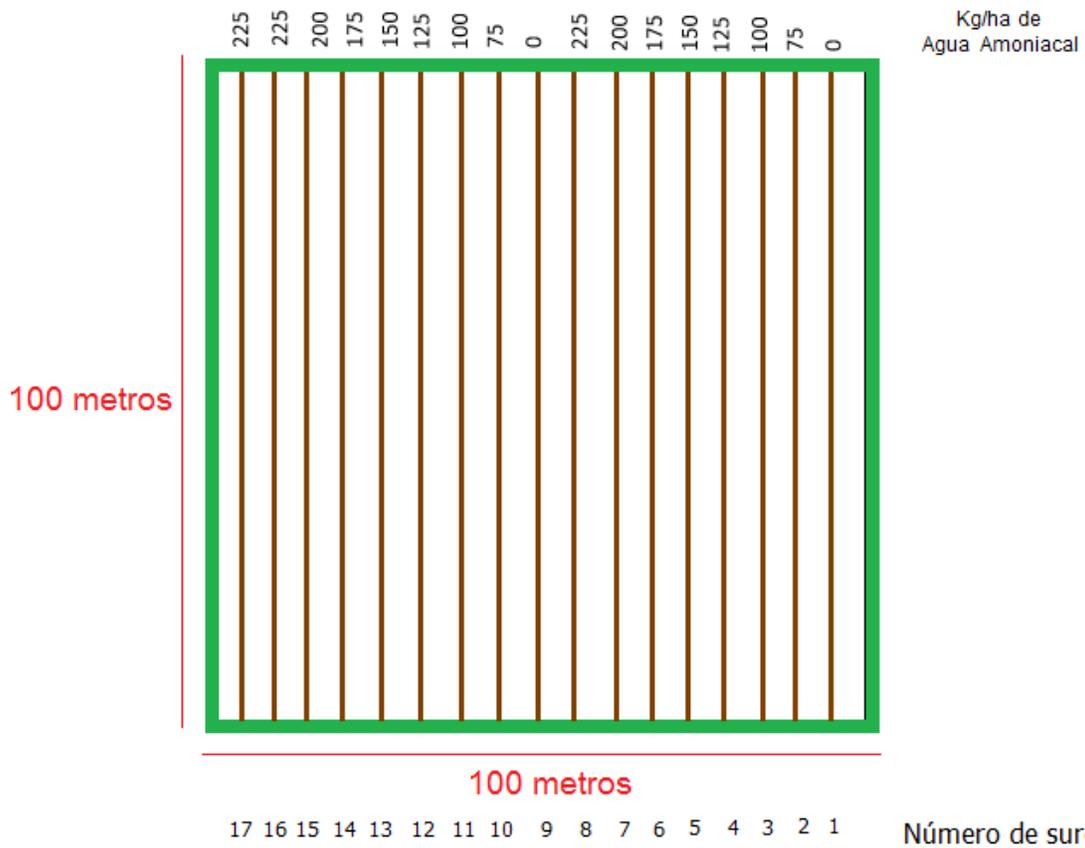
Figura 22. Realizando la toma de medidas con cinta métrica de campo de la hectárea para el experimento (vista frontal) con supervisión de personal de la Universidad Autónoma Chapingo

Fuente: Datos de campo



Figura 23. Toma de medidas con cinta métrica de campo de la hectárea para el experimento (vista frontal) con supervisión de personal de la Universidad Autónoma Chapingo

Fuente: Datos de campo



**Se repitió la dosis 225 por cuestiones de ajuste.*

Figura 24. Distribución de las dosis de agua amoniacal

Fuente: Elaboración propia con datos de campo

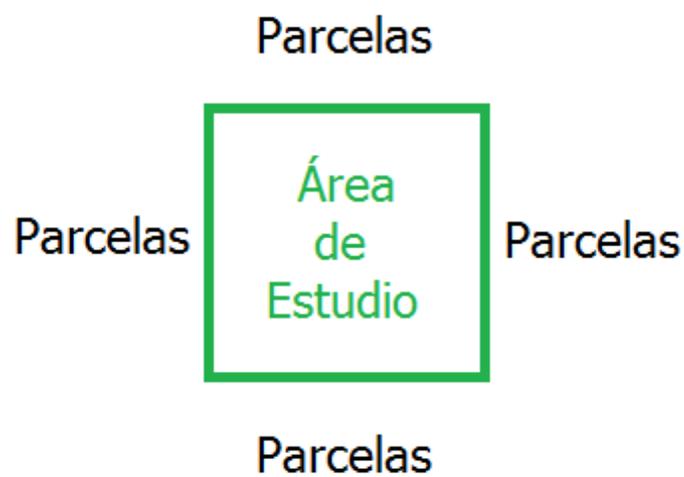


Figura 25. Área de estudio rodeada de parcelas.

Fuente: Elaboración propia con datos de campo

El paso del Tractor fue el siguiente:

-4 hileras dobles, es decir 8 hileras por cada vuelta del tractor.

-1 dosis diferente en cada vuelta

-2 por tratamiento (son 2 repeticiones)

Por lo tanto el factor de expansión para obtener el equivalente a producción por hectárea es:



Figura 26. Tractor aplicando el agua Amoniacal (NH_3) con dosis 0 con supervisión de personal de la Universidad Autónoma Chapingo

Fuente: Datos de campo



Figura 27. Tractor aplicando el agua Amoniactal (NH_3) con dosis 0 en el tratamiento testigo

Fuente: Datos de campo



Figura 28. Modificando a la siguiente dosis de agua Amoniactal (NH_3)

Fuente: Datos de campo



Figura 29. Indicando al tractorista las dosis de agua Amoniaca (NH_3) para cada vuelta con supervisión de personal de la Universidad Autónoma Chapingo

Fuente: Datos de campo



Figura 30. Modificando las dosis de agua Amoniaca (NH_3) de acuerdo a lo establecido en el diseño experimental

Fuente: Datos de campo



Figura 31. Aplicando las dosis de agua Amoniactal (NH3)

Fuente: Datos de campo



Figura 32. Continuando con la aplicación de las respectivas dosis de agua Amoniactal (NH3)

Fuente: Datos de campo



Figura 33. Continuando con la aplicación de las respectivas dosis de agua

Amoniacal (NH₃)

Fuente: Datos de campo

Precio del Fertilizante: Se utilizó Amoniacó Anhidro (NH₃), cuyo nombre comercial es “Agua Amoniacal” en gas, el precio es de \$ 11,000 la Tonelada de Gas de Agua Amoniacal, por lo tanto el precio del kilo es de \$ 11 pesos.

La cantidad de Agua Amoniacal que se aplica regularmente en la Región mencionada es de 2 aplicaciones de 200 Kg. por hectárea.



Figura 34. Letrero de agua Amoniacal (NH₃) y UREA para venta

Fuente: Datos de campo



Figura 35. Planta de distribución y venta de agua Amoniacal (NH_3) para los agricultores en el Municipio de Guasave, Sinaloa

Fuente: Datos de campo



Figura 36. Tanque salchicha de agua Amoniacal (NH_3) en la planta de venta

Fuente: Datos de campo



Figura 37. Tanque salchicha de agua Amoniactal (NH_3) para toma de fuerza de tractor

Fuente: Datos de campo

Algunas Observaciones:

Es necesario considerar lo siguiente en términos numéricos:

$$= \frac{11 \text{ Kilos de Agua Amoniactal}}{2.9} = 3.79 \approx 4$$

Interpretación: Es decir se necesitan 4 kilos de Semilla para pagar 1 Kg. de Agua Amoniactal

$$= \frac{6 \text{ semillas por bulto}}{2.9} = 2.06 \approx 2$$

Interpretación: Es decir se necesitan 2 kg. de grano que debe de dar cada Kg. de semilla

Además de que se necesita un promedio de 3 años para hacer recomendaciones (y el promedio se evalúa).



Figura 38. Dr. Marcos Portillo Vázquez y Lic. Diego Francisco Cruz López en un campo de maíz durante el diseño experimental

Fuente: Datos de campo

CAPÍTULO III. TEORÍAS SOBRE PRONÓSTICOS DE PRODUCCIÓN

3.1 Teoría de la Producción: Conceptos Básicos

3.1.1 La Función de Producción

En Economía, el análisis de los costos empieza con el estudio de la función de producción. La función de producción es una expresión de la relación entre los recursos escasos de una empresa (los insumos) y la producción que resulta del uso de esos recursos. El análisis del costo económico puede entonces ser visto como la aplicación de una unidad monetaria para medir el valor de uso de este insumo en el proceso de producción. En Microeconomía, la función de producción se define como relación existente entre los factores utilizados en un proceso productivo (inputs), y el producto obtenido (outputs), dado una cierta tecnología (Fernández y Tugores, 1997). La función de producción asocia a cada conjunto de insumos (servicios de los factores por período) el máximo nivel de producción por período alcanzable de acuerdo a las posibilidades técnicas. En términos matemáticos, la función de producción se expresa como:

$$Q = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$$

Donde:

- Q es producción
- $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ son los insumos utilizados en el proceso de producción

Resulta importante distinguir entre factores fijos y factores variables.

-Factores variables: Aquellos cuya cantidad puede alterarse en un período corto (ejemplo: factor trabajo)

-Factores fijos: Aquellos que no pueden alterarse en un período corto (ejemplo: factor capital físico, superficie sembrada)

Esta relación establece la máxima cantidad de producto que puede obtenerse con cada combinación posible de insumos, dada una tecnología o técnicas de producción.

Dicho de otra manera, la función de producción se define como la envolvente del conjunto posible de combinaciones de insumos técnicamente eficientes. Si se agrupan los insumos en capital y trabajo, la función de producción se describe por la ecuación:

$$Q = f(K, L, T)$$

Donde:

- Q es la cantidad de producción
- K es el flujo de servicios del stock capital
- L es el flujo de servicios de los trabajadores
- T es tierra o superficie laborada

3.1.2 Definición de Producción

El objetivo principal de una empresa es la maximización de beneficios, que es la diferencia entre los ingresos derivados de las ventas y el costo total de los factores productivos. La producción es un proceso por el cual se transforman los factores productivos (trabajo, capital, materias primas) en productos. Se define como cualquier empleo de recursos que permita transformar uno o más bienes en otro(s) diferente(s). Los bienes pueden ser diferentes en términos de ciertas características físicas de los mismos, de su ubicación geográfica o de su ubicación temporal. Por

ejemplo, es producción transformar maíz en tortillas (distintas características físicas), pero también lo es transportar maíz desde Sinaloa hasta el Distrito Federal (distinta ubicación geográfica), y en mantener ese maíz desde el mes de enero hasta el mes de marzo (distinta ubicación temporal).

La producción incluye tanto a bienes como servicios, el término "bien" se refiere a ambos. Es una variable *flujo*, que está medida en relación a un tiempo determinado. Así, se debe referir a la producción haciendo referencia a una medida del periodo; por ejemplo, la producción de toneladas de maíz por año. Al analizar la función de producción del lado de los insumos, se habla en términos de flujo. Por ejemplo si al referirse al trabajo, se hace referencia a cierta cantidad de horas de trabajo (no a la cantidad de hombres), el capital se puede medir en horas de servicio de la maquinaria (no en cantidad de máquinas) y la tierra se mide en cantidad de hectáreas. (Fernández y Tugores, 1997.)

Existen tres conceptos importantes asociados a la producción:

1) Eficiencia Técnica: Un proceso productivo será técnicamente eficiente cuando no existe ningún otro proceso productivo por el que se puede obtener la misma cantidad de producto, empleando menos de alguno de los insumos.

2) Eficiencia Económica: Un proceso productivo será económicamente eficiente cuando no existe otro proceso productivo más barato dados los precios de los factores.

3) Restricción Tecnológica.

3.1) Corto Plazo: El corto plazo será un periodo en el que al menos un factor productivo es fijo para la empresa.

3.2) Largo Plazo: El largo plazo será un periodo lo suficientemente largo para que la empresa pueda alterar todos sus factores de producción.

3.1.3 Insumos en la función de Producción

Usualmente se agrupa a los insumos en capital y trabajo. Estos son sólo categorías creadas para simplificar el análisis, pueden agrupar a un gran número de insumos con características diferentes, por ejemplo, el trabajo puede agrupar a mano de obra calificada junto con mano de obra no calificada. Sin embargo, para ciertos análisis puede ser conveniente disgregar entre otras categorías de insumos: el trabajo se puede dividir en mano de obra calificada, no calificada, personal contable, personal administrativo, etc.; y el capital se puede dividir en distinto tipo de maquinaria, construcciones, mobiliario, capital humano, activos intangibles, etc..

Adicionalmente, se pueden utilizar otros criterios para agrupar los insumos de producción; por ejemplo se pueden dividir entre insumos fijos e insumos variables: los insumos fijos no pueden ser modificados en el corto plazo, los variables sí. ¿Qué es el corto y el largo plazo? En el largo plazo todos los insumos de la función de producción son variables, mientras que en el corto plazo hay insumos que no se pueden modificar, por ejemplo, una fábrica de autopartes no puede cambiar su maquinaria entre un mes y otro, o una petrolera no puede instalar un nuevo pozo sino luego de un cierto período de tiempo. (Fernández et al, 1997.)

Los matemáticos definen una “función” como la regla para asignar a cada valor de un grupo de variables “X” (el dominio de la función) un valor único de otro grupo de variables “Y” (el rango de la función) (Arias, 2008).

La cantidad de un bien que se produce en un proceso productivo determinado, depende de la cantidad y de la forma en que se combinan los insumos. La relación que describe la forma en que el producto depende de los insumos es lo que se llama Función de Producción (Blanco, 1974).

Los tipos de insumos son: "insumo variable" éste es el insumo que el productor puede controlar es decir que puede alterar su nivel, é "insumo fijo" aquel insumo que por alguna razón el productor no tiene control sobre la cantidad disponible.

Es así como para cada nivel de insumo utilizado, la función asigna un nivel único de producción no obstante cuando el nivel de insumo es cero, la producción podría ser cero, aunque existen algunos casos en los que existiría una producción positiva a un nivel de cero insumos como el fertilizante químico (Miller y Meiners, 1990)

3.1.4 Tecnología y Cambio Tecnológico

Es importante mencionar lo que se entiende por tecnología y cambio tecnológico.

Naranjo (1971), expresa que la "tecnología es el conjunto de conocimientos utilizados por las empresas productoras. Consiste en el conocimiento y la aplicación de los principios que rigen a los fenómenos físicos y sociales, al proceso productivo y a las operaciones diarias relacionadas con la producción". Además, afirma que "una función de producción representa, para un nivel dado de tecnología, el producto máximo que puede ser obtenido utilizando cierta cantidad de insumos.

El cambio tecnológico se define como un elemento central en el crecimiento económico, tal que existe la capacidad de obtener más producto sin cambiar las cantidades de trabajo y capital en el proceso de producción. Los modelos más simples de crecimiento económico asumen que el progreso tecnológico es "como

caído del cielo". Sin embargo, en los modelos más sofisticados se asume que el cambio tecnológico viene incluido en el nuevo acervo de capital.

Por ejemplo, (Naranjo, 2005) caracteriza al cambio tecnológico como el avance en la tecnología utilizada para producir, el cual se presenta en forma de mejoras a uno o más insumos utilizados en el proceso productivo o en las mejoras en el método de producción.

Generalmente, el cambio tecnológico se clasifica como cambio técnico ahorrador de trabajo, de capital y cambio técnico neutral. El primero se define como el "cambio en la función de producción de manera que el mismo nivel de producción puede obtenerse usando menos capital y trabajo; pero la reducción de porcentaje de capital es, sin embargo, menor". El segundo se define igual excepto que la reducción del porcentaje de trabajo es menor.

Por su parte, el cambio técnico neutral es el cambio en función de producción de manera que la misma cantidad de producción puede ser obtenida con reducciones iguales tanto en el insumo de capital como en el de trabajo; la proporción de los productos físicos marginales permanece igual".

Usualmente, al estimar una función de producción con datos de corte transversal se supone que la tecnología es dada; sin embargo, al estimarla a partir de datos de distintos períodos productivos, el cambio tecnológico toma importancia. En la práctica, resulta difícil encontrar medidas directas que capturen el cambio de la tecnología a lo largo del tiempo. Algunas veces ésta se incorpora a la función de producción como una variable de tiempo, sin embargo, no es la medida más adecuada.

Se define tecnología como el conjunto ordenado de instrumentos, conocimientos, procedimientos y métodos aplicados en las distintas ramas industriales. Visto de otra forma es una actividad socialmente organizada, planificada que persigue objetivos conscientemente elegidos y de características esencialmente prácticas. La importancia de la tecnología radica en que logra obtener mejor producción, en algunos casos puede abaratar los costos, pero también trae como consecuencias: contaminación, despido masivos de obreros, costos social alto. Para conocer el tipo de tecnología a utilizar se debe conocer bien el tipo de producto que se va a obtener, el proceso, los insumos.

La tecnología de producción indica el máximo nivel de producción que puede obtener una empresa con cada combinación específica de factores aplicados al estado de una tecnología dada. La tecnología de producción muestra lo que es técnicamente viable cuando la empresa produce eficientemente.

Así mismo reconoce los procesos productivos, brinda conocimientos prácticos aplicados al concepto de productividad, apropia principios, herramientas y estrategias para organizar eficientemente sistemas productivos, apropia la gestión de calidad como base fundamental en el logro de eficiencia y eficacia en empresas de producción de bienes o que brindan servicios a otros sectores.

3.1.5 Definición de Eficiencia

En términos generales, la palabra eficiencia hace referencia a los recursos empleados y los resultados obtenidos. Por ello, es una capacidad o cualidad muy apreciada por empresas u organizaciones debido a que en la práctica todo lo que éstas hacen tiene como propósito alcanzar metas u objetivos, con recursos

(humanos, financieros, tecnológicos, físicos, de conocimientos, etc.) limitados y (en muchos casos) en situaciones complejas y muy competitivas.

3.1.5.1 Eficiencia en las diferentes áreas

Para tener un panorama amplio acerca del significado de la palabra eficiencia, es necesario conocer las diversas definiciones (aplicadas a la administración, economía y mercadotecnia) que han sido propuestas por diferentes autores:

- Aplicada a la Administración:

*Según Idalberto Chiavenato, eficiencia "significa utilización correcta de los recursos (medios de producción) disponibles. Puede definirse mediante la ecuación $E=P/R$, donde P son los productos resultantes y R los recursos utilizados".

*Para Koontz y Weihrich, la eficiencia es "el logro de las metas con la menor cantidad de recursos".

*Según Robbins y Coulter, la eficiencia consiste en "obtener los mayores resultados con la mínima inversión".

*Para Reinaldo O. Da Silva, la eficiencia significa "operar de modo que los recursos sean utilizados de forma más adecuada".

- Aplicada a la Economía:

*Según Samuelson y Nordhaus, eficiencia "significa utilización de los recursos de la sociedad de la manera más eficaz posible para satisfacer las necesidades y los deseos de los individuos".

*Para Gregory Mankiw, la eficiencia es la "propiedad según la cual la sociedad aprovecha de la mejor manera posible sus recursos escasos".

*Simón Andrade, define la eficiencia de la siguiente manera: "expresión que se emplea para medir la capacidad o cualidad de actuación de un sistema o sujeto económico, para lograr el cumplimiento de objetivos determinados, minimizando el empleo de recursos".

- Aplicada a la Mercadotecnia:

*Según el Diccionario de Marketing, de Cultural S.A., la eficiencia es el "nivel de logro en la realización de objetivos por parte de un organismo con el menor coste de recursos financieros, humanos y tiempo, o con máxima consecución de los objetivos para un nivel dado de recursos (financieros, humanos, etc.)".

-Según el Diccionario de la Real Academia Española:

Eficiencia (Del lat. *efficientia*) es la capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado.

Visto lo anterior, se plantea la siguiente definición general de eficiencia, que retoma de las definiciones previas:

"Eficiencia es la óptima utilización de los recursos disponibles para la obtención de resultados deseados"

Por tanto, se puede decir que una empresa, organización, producto o persona es "eficiente" cuando es capaz de obtener resultados deseados mediante la óptima utilización de los recursos disponibles.

3.1.5.2 Eficiencia Económica

La eficiencia económica consiste básicamente en producir la mayor cantidad al menor costo, o lograr los resultados esperados usando la menor cantidad posible de

recursos. Este concepto para muchas empresas es primordial, tanto así que llega a determinar el tipo de sistema que se emplea. La eficiencia económica queda al descubierto cuando una empresa determinada se plantea un objetivo específico, y dependiendo de la eficiencia en sus procesos, podrá o no lograrlo - una organización ineficiente puede llegar a no ser rentable.

Por estos motivos, es posible hablar de diversos tipos de eficiencia económica. Por ejemplo se hace referencia a una eficiencia por costos, eficiencia de ingresos o eficiencia en beneficios.

La eficiencia por costos dice la relación de un objetivo consistente en conseguir el menor precio o costo para la mayor cantidad de producción posible. Para que se reduzcan los costos en la fabricación de un producto en una empresa determinada, esta última debe cumplir con las siguientes condiciones; ocupar al mayor rendimiento de los factores y de esta manera se utiliza la menor cantidad posible, es decir, cumplir con una eficiencia técnica. Por último y en segundo lugar, los factores productivos deben trabajar en proporción a lo que dictan los precios, en otras palabras de hacer una selección muy detallada del proceso productivo más indicado, lo que significa lograr una eficiencia asignativa. Si la empresa es capaz de combinar ambas eficiencias, la técnica por una lado y la asignativa por el otro, es capaz de ser eficaz en lo que se refiere a los costos de producción

La eficiencia por ingresos consiste en obtener el máximo ingreso considerando el costo de los factores y el precio total del producto para ser posteriormente vendido. Para obtener una máxima en los ingresos es necesario que la producción del bien se cumpla con eficiencia técnica (factores obtengan la mayor producción alcanzable), pero también se debe tener en cuenta que el precio que se le adjudicará al producto

final debe tener una relación con los del resto de los productos ofrecidos en el mercado, de tal manera que los ingresos alcanzados sean significativos, a esto se le llama eficiencia asignativa en las producciones. Con ambas eficiencias anteriormente mencionadas la empresa es capaz de lograr una eficiencia en los ingresos.

En lo que se refiere a la eficiencia en beneficios se intenta alcanzar la máxima en los beneficios, lo que implica el máximo de ingreso al mínimo costo. Para esto se requiere la existencia de una eficiencia en ingresos y eficiencia en costos. En otras palabras es necesaria una eficiencia técnica, factores adecuados según sus precios y combinar adecuadamente los productos en función de los precios.

3.1.6 Análisis de Corto Plazo del Producto Total, Medio y Marginal

En el corto plazo, la única manera de aumentar el nivel de producción es aumentando los factores de producción variables (por ejemplo el trabajo). En el análisis de corto plazo de la función de producción, tres términos diferentes además de la cantidad de la producción son mediciones importantes del resultado, los cuales son el producto total, producto marginal y producto medio

- Producto total: La curva de producto total muestra la relación entre la cantidad de factor variable y la cantidad de producto
- Producto marginal (*PMg*): Se define como el incremento en el producto total derivado de añadir una unidad adicional de factor de producción Se trata del producto marginal (*PMg*) y el Producto Medio (*PMe*). Si X es el insumo variable, entonces

$$PMg X = \frac{\Delta Q}{\Delta X} \text{ al mantenerse } Y \text{ constante}$$

- Producto Medio (*PMe*): Se define como el nivel de producción por unidad de factor de producción (en este caso factor trabajo).

$$PMe\ X = \frac{Q}{X} \text{ al mantenerse } Y \text{ constante}$$

En otras palabras, el Producto Marginal se define como el cambio en la producción o producción total resultante del cambio unitario en un insumo variable. Mientras que el producto Medio es el Producto Total (*PT*) por unidad de insumo utilizada.

Gráficamente es visto de la siguiente manera:

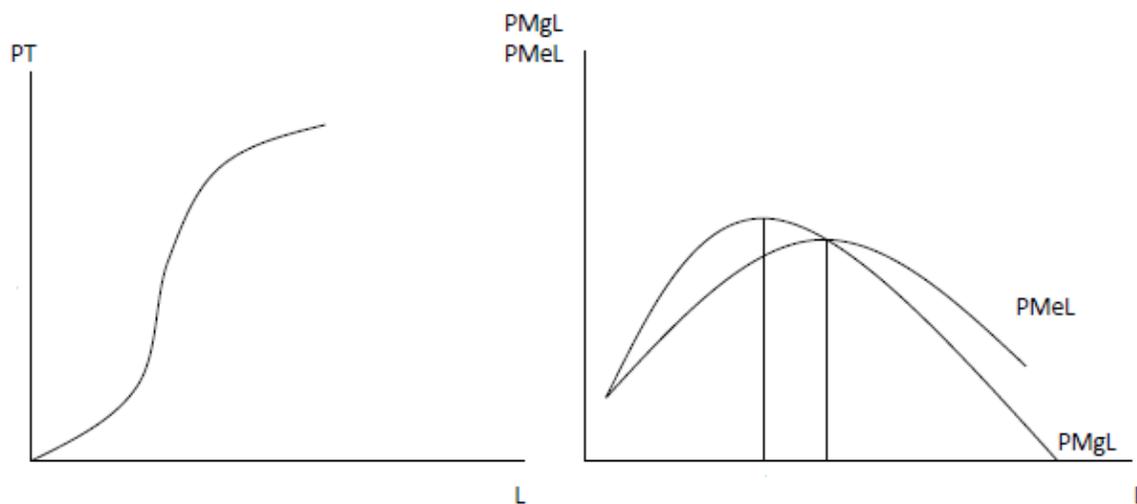


Figura 39. Curvas de Producto Total (*PT*), Producto Marginal (*PMgL*) y Producto Medio (*PMeL*)

Fuente: Nicholson W. (2004)

Por lo que:

$PMgL > PMeL \rightarrow$ La curva de *PMeL* es creciente

$PMgL < PMeL \rightarrow$ La curva de *PMeL* es decreciente

$PMgL = PMeL \rightarrow$ La curva de *PMeL* alcanza el máximo.

$PMgL = 0 \rightarrow$ La curva de *PT* alcanza el máximo

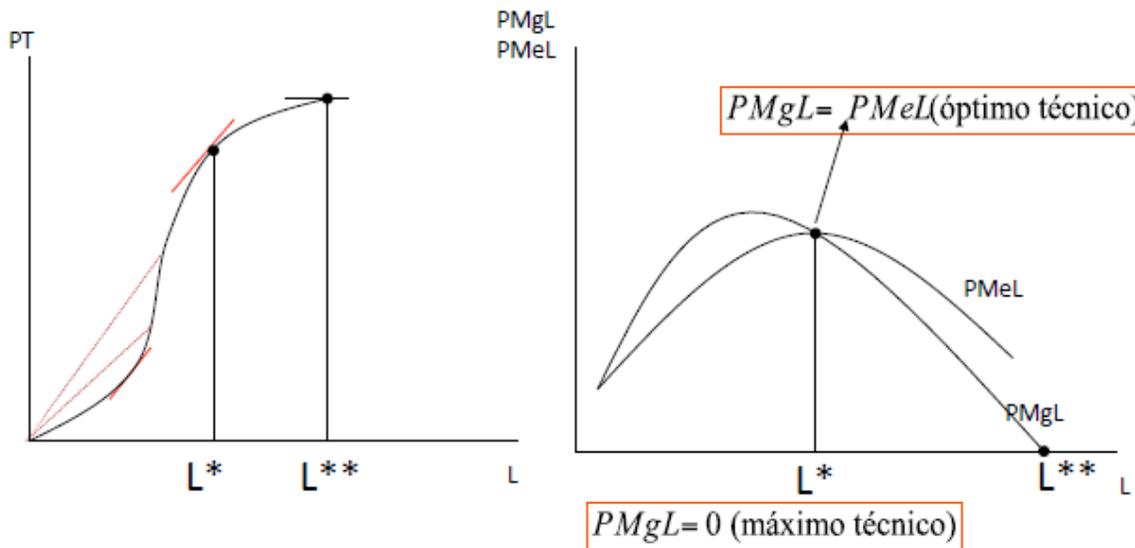


Figura 40. Relación entre Producto Total, Medio y Marginal

Fuente: Nicholson W. (2004)

$PMeL=Q/L$ Pendiente del radio vector trazado desde el origen hasta cada punto de la curva de PT.

$PMgL=\Delta Q/\Delta L$ Tangente a la curva de PT en cada punto

3.1.6.1 Las tres etapas de producción en el corto plazo

La función de producción de corto plazo se divide en 3 distintas etapas de producción. Como lo indica la siguiente figura, la etapa I va de 0 a 4 unidades del insumo variable X (es decir, al punto en el que el producto medio alcanza su máximo). La etapa II comienza a partir de este punto y continúa hasta 7 unidades del insumo X (punto en el que el producto total se maximiza). La etapa III continúa a partir de este punto. De acuerdo con la teoría económica, en el corto plazo, las empresas "racionales" solo deben estar operando en la etapa II. Es claro por qué la

etapa III es "irracional", la empresa estaría utilizando más de su insumo variable para obtener menos producción.

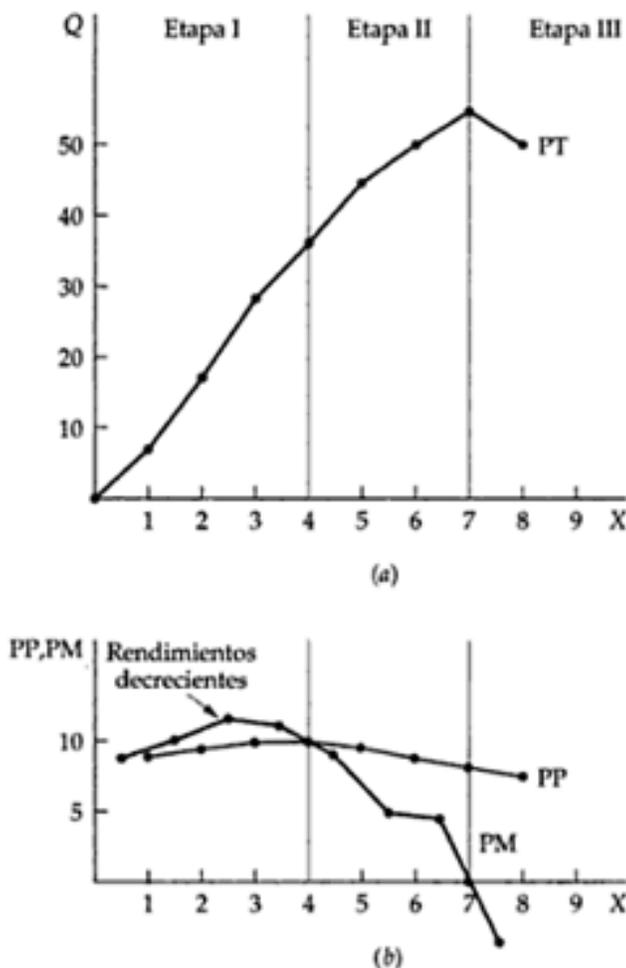


Figura 41. Las tres etapas de la producción

Fuente: Nicholson W. (2004)

En la siguiente tabla se muestra de manera hipotética una función de producción a corto plazo. Aquí se observa que pasa con la producción cuando se añaden montos crecientes del insumo X a la cantidad fija del insumo Y ($Y=2$).

Cuadro 2. Cambios de corto plazo en la producción (productividad de factores)

Unidades de Y empleadas	Cantidad de Producción (Q)							
	8	37	60	83	96	107	117	127
7	42	64	78	90	101	110	119	120
6	37	52	64	73	82	90	97	104
5	31	47	58	67	75	82	89	95
4	24	39	52	60	67	73	79	85
3	17	29	41	52	58	64	69	73
2	8	18	29	39	47	52	56	52
1	4	8	14	20	27	24	21	17
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Unidades de X empleadas							

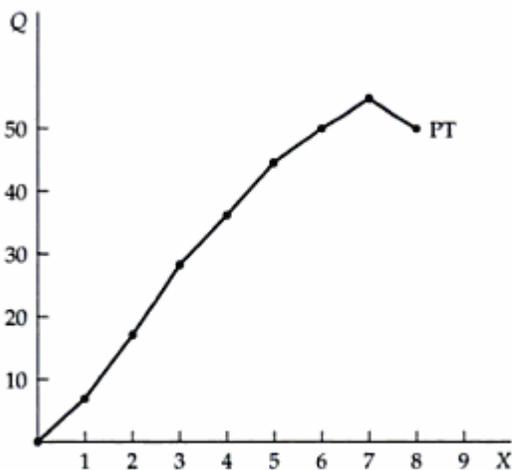
Fuente: Nicholson W. (2004)

La tabla que se encuentra enseguida reconsidera esta información al enfocarse en el impacto en Producto Total (PT), Producto Marginal (PMg) y Producto Medio (PMe) resultante de incrementos en X, mientras que Y permanece constante en 2 unidades. Dicho impacto se ilustra también en las gráficas de la figura 1. Dichas tablas y figuras indican que el producto total es 8 cuando se emplea una unidad de X aumenta a un máximo de 56 cuando se utilizan 7 unidades de X y disminuye a 52 unidades cuando se añade la unidad 8 de X. También se aprecia que en la tabla 3 que el PMg. empieza en 8 unidades, se incrementa a un máximo de 11, y cae a un valor final de -4. El PMe. También comienza en 8 unidades de X se combinan con la cantidad fija de Y. El patrón de estos cambios se ilustran en la Figura 1a. El producto total en la figura 1b. Se observa que cuando Q, la cantidad del producto total, alcanza su máximo, Producto Marginal= 0. Se ve también que inicialmente (conforme se añaden más unidades de X al proceso de producción). PMg es mayor que PMe., y después se vuelve menor que PMe. Además PMg=PMe en el punto más alto de PMe. Debido a que se trata de cambios unitarios crecientes en el insumo.

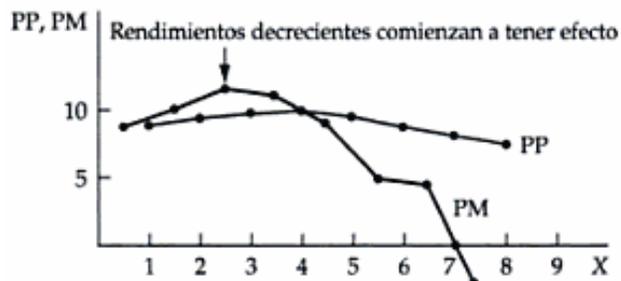
Cuadro 3. Funciones de Producción de corto plazo, Q, P_{Me}, P_P

INSUMO VARIABLE (X)	PRODUCTO TOTAL (Q o PT)	PRODUCTO MARGINAL (PM)	PRODUCTO PROMEDIO (AP)
0	0		
1	8	8	8
2	18	10	9
3	29	11	9.67
4	39	10	9.75
5	47	8	9.4
6	52	5	8.67
7	56	4	8
8	52	-4	6.5

Fuente: Nicholson W. (2004)



(a) Producto total



(b) Productos promedio y marginal

Figura 42. Producción de corto plazo con $Y=2$

Fuente: Parkin M. (1995)

3.1.6.2 La ley de los rendimientos decrecientes

La clave para entender el patrón de cambio en Q, PMe y PMg es el fenómeno conocido como ley de rendimientos decrecientes. Esta ley afirma:

“Al combinarse más unidades adicionales de un insumo variable con un insumo fijo, en algún punto la producción adicional (producto marginal) comienza a disminuir.”

Debido a que en la teoría económica se supone que cada trabajador es igualmente productivo, esto debe significar que el efecto del trabajo en equipo y la especialización permiten a los trabajadores adicionales contribuir más que los que se agregaron previamente al proceso de producción; éste es un fenómeno al que se le refiere como “rendimientos crecientes”. Pero al ser añadidos más trabajadores, existen cada vez menos y menos oportunidades para los rendimientos crecientes a través de la especialización y el trabajo en equipo y, en algún punto, los trabajadores adicionales dan por resultado rendimientos decrecientes. Eventualmente, pueden existir muchos trabajadores en relación con la capacidad fija, lo cual pudiera comenzar a interferir con las actividades de los demás trabajadores. En este caso, los trabajadores adicionales dan lugar a rendimientos marginales negativos, con lo que ocasiona que el producto total disminuya.

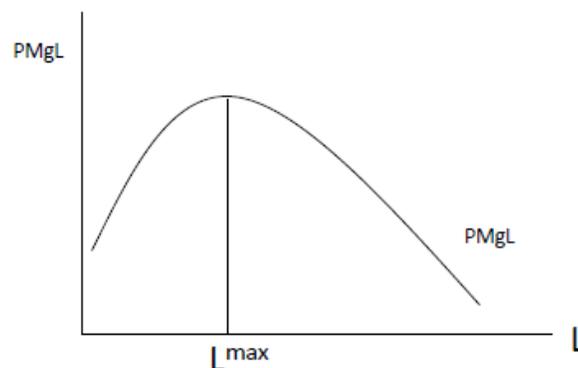


Figura 43. Ley de los Rendimientos Marginales Decrecientes

Fuente: Parkin M. (1995)

Cabe aclarar que:

Si $L < L^{max}$ entonces $\uparrow L \rightarrow \uparrow PMgL$

Si $L > L^{max}$ entonces $\uparrow L \rightarrow \downarrow PMgL$

De esta figura se explica lo siguiente:

- A medida que van añadiéndose cantidades adicionales iguales de un factor, acaba alcanzándose un punto en el que los incrementos de la producción son cada vez menores, es decir, PMg disminuye.
- Cuando la cantidad de trabajo es pequeña, el $PMgL$ aumenta al añadir unidades adicionales de trabajo.
- Pero a partir de un determinado nivel de trabajo, el $PMgL$ disminuye a medida que se añaden unidades adicionales de factor trabajo.

3.1.6.3 Costos a Corto Plazo

Un productor necesita conocer la relación entre la cantidad de producto que puede producir y el costo que le cuesta producirlo (costo en el que incurre).

El costo total a corto plazo de producir las distintas cantidades de producto es el costo de todos los factores de producción utilizados. A corto plazo, los costos (familia de costos) pueden ser:

- Costos Fijos: No varían con la producción y se asocian al factor fijo (K)
- Costos Variables: Varían con la producción y se asocian al factor variable (L)

Los costos totales a corto plazo son la suma de los fijos y los variables.

$$CT = CF + CV = rK + wL$$

- Costo Marginal (CMg): Costo adicional en el que se incurre al añadir una unidad adicional de producción, que es idéntico a decir un aumento en el CT derivado de producir una unidad más. Gráficamente será la pendiente del radio vector trazado desde el origen a cada punto de la curva de CT.

$$CMg = dCT / dQ$$

- Costos Medios: Costo por unidad de producción

– Costo Fijo Medio

$$CFMe = CF / Q$$

– Costo Variable Medio

$$CVMe = CV / Q$$

– Costo Total Medio

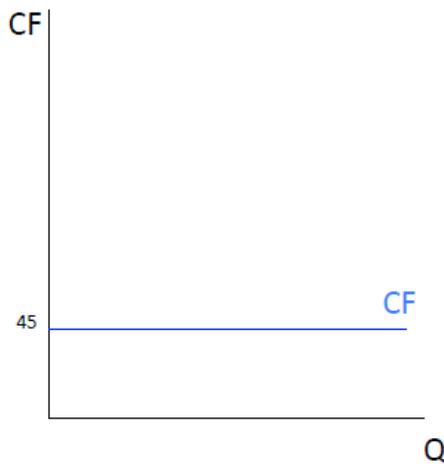
$$CTMe = CT / Q = CFMe + CVMe$$

A continuación un ejemplo de esto:

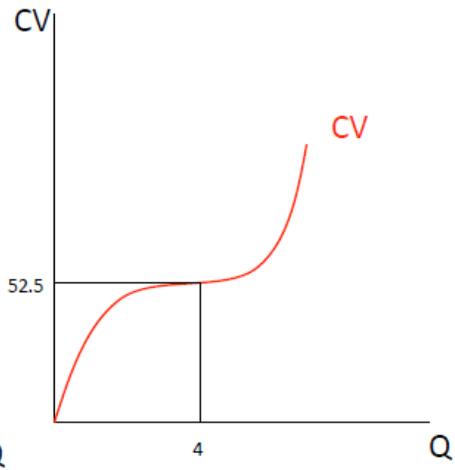
Ejemplo 2: Se muestra una tabla que incluye los costos en que incurre un productor de maíz por producto total de tonelada producida. (Caso práctico).

PT (Q)	L	CF	CV	CT	CMg	CFMe	CVMe	CTMe
0	0,0	45	0,0	45				
1	1,8	45	22,5	67,5	22,5	45	22,5	67,5
2	2,8	45	35	80	12,5	22,5	17,5	40
3	3,6	45	45	90	10	15	15	30
4	4,2	45	52,5	97,5	7,5	11,2	13,1	24,3
5	5,0	45	62,5	107,5	10	9	12,5	21,5
6	6,2	45	77,5	122,5	15	7,5	12,9	20,4
7	7,5	45	93,7	138,7	16,2	6,4	13,3	19,8
8	9,2	45	115	160	21,2	5,6	14,3	20
9	11,5	45	143,7	188,7	28,7	5	15,9	20,9
10	14,2	45	177,5	222,5	33,7	4,5	17,7	22,2

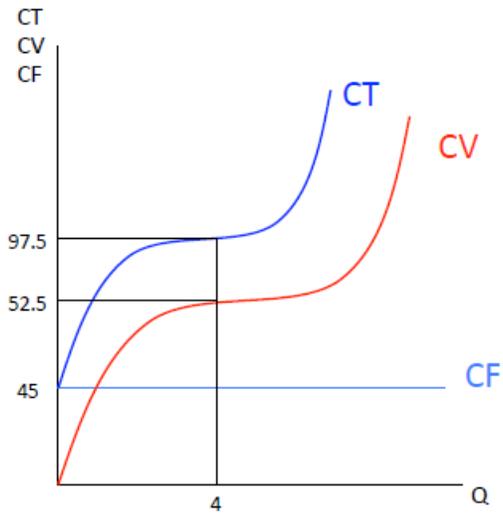
Costos Fijos



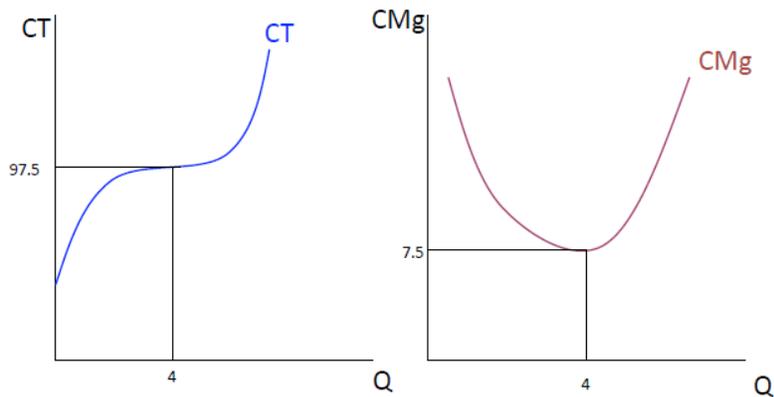
Costos Variables



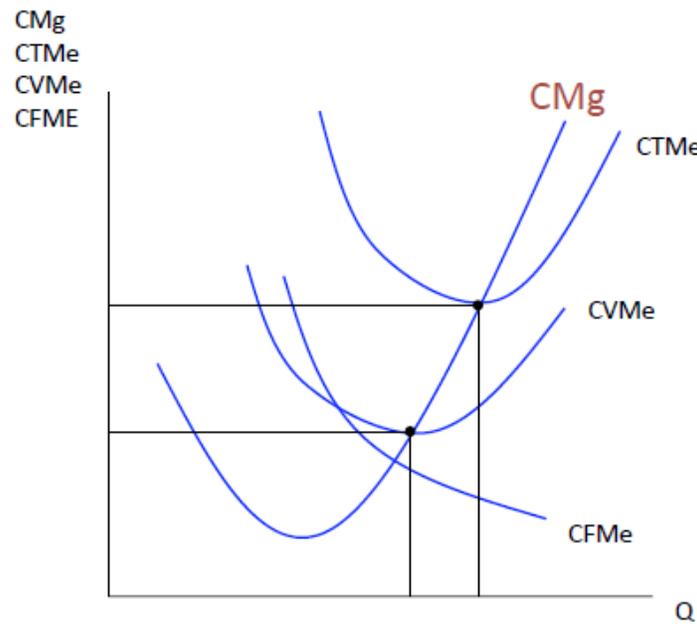
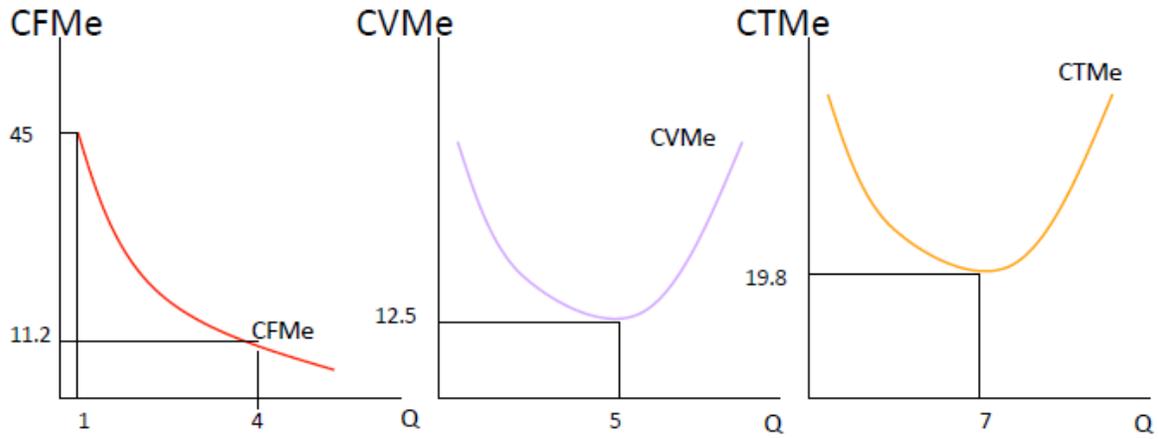
Costos Totales, Costos Variables y Costos Fijos



Costo total y Costo Marginal



Familia de Costos



El Costo Variable Medio (*CVMe*) presenta dos situaciones:

Cuando *CVMe* decreciente $\rightarrow CVMe > CMg$

Cuando *CVMe* creciente $\rightarrow CVMe < CMg$

El Costo Total Medio (*CTMe*), al igual que el anterior presenta dos situaciones:

Cuando *CTMe* decreciente $\rightarrow CTMe > CMg$

Cuando *CTMe* creciente $\rightarrow CTMe < CMg$

3.1.6.4 Relación entre la Productividad Marginal (PMg) y Costo Marginal (CMg).

Cuanto más alta es la productividad marginal del trabajo, más bajo será el costo marginal de producir.

-Cuando la ↓PMg cae el ↑CMg aumenta. (Relación inversa)

-Cuando la ↑PMg sube el ↓CMg baja. (Relación inversa)

El valor mínimo del CMg corresponde con el valor máximo de la PMg:

$$CMgL = \Delta CV / \Delta Q = \Delta (wL) / \Delta Q = w / PmgL$$

3.1.6.5 Relación entre la Productividad Media (PMe) y Costo Variable Medio (CVMe).

Cuanto mayor es la productividad media, menor es el costo variable medio

*Cuando la ↓PMe cae el ↑CVMe aumenta. (Relación inversa)

*Cuando la ↑PMe sube el ↓CVMe baja. (Relación inversa)

El valor mínimo del CVMe corresponde con el valor máximo de la PMe:

$$CVMe = CV / Q = (wL) / Q = w / PmgL$$

3.1.7 La función de producción en el largo plazo

En el largo plazo, una empresa tiene tiempo suficiente para cambiar la cantidad de todos sus insumos. Por lo tanto, no existe en realidad ninguna diferencia entre insumos fijos y variables. El incremento resultante en la producción conforme se incrementan los dos insumos se denomina rendimientos a escala. La escala determina el tamaño de la empresa medido por su nivel de producción. Los rendimientos a escala son una propiedad técnica de la función de producción que se utiliza para analizar la relación entre escala y eficiencia, y dicen qué ocurre con la

producción cuando se incrementan todos los factores productivos exactamente en la misma proporción. Si se analiza la siguiente tabla, se ve que si la empresa utiliza una unidad de X y una unidad de Y, generará 4 unidades de producción. Si duplica sus insumos (2 unidades de X y 2 unidades de Y), generará 18 unidades de producción. Por lo tanto, el doble de insumos ha originado un incremento en la producción de más de cuatro veces. Si se avanza más, se nota que una duplicación adicional de insumos (4 unidades de X y 4 unidades de Y) origina un incremento mayor que el triple en la producción, de 18 a 60. Lo que en realidad se observa en esta tabla son rendimientos crecientes a escala.

Cuadro 4. Rendimientos a escala

Unidades de Y empleadas	Cantidad de Producción (Q)							
	8	37	60	83	96	107	117	127
7	42	64	78	90	101	110	119	120
6	37	52	64	73	82	90	97	104
5	31	47	58	67	75	82	89	95
4	24	39	52	60	67	73	79	85
3	17	29	41	52	58	64	69	73
2	8	18	29	39	47	52	56	52
1	4	8	14	20	27	24	21	17
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Unidades de X empleadas							

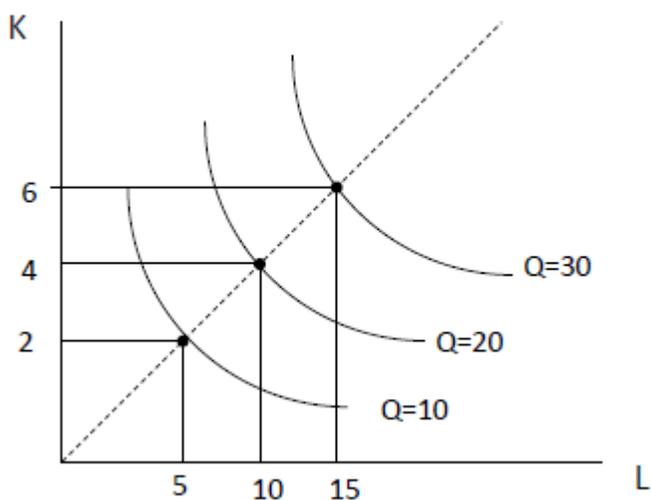
Fuente: Nicholson W. (2004)

Una cuestión importante para las empresas es la decisión sobre el tamaño de la misma, es importante conocer si es más eficiente producir a gran escala o a pequeña escala, por eso aparece el concepto de economías de escala. Las economías de escala estudian como varía la producción cuando varían todos los factores productivos. Por lo tanto si un incremento en alguna proporción en los insumos de una compañía provoca un incremento en la producción en una proporción más

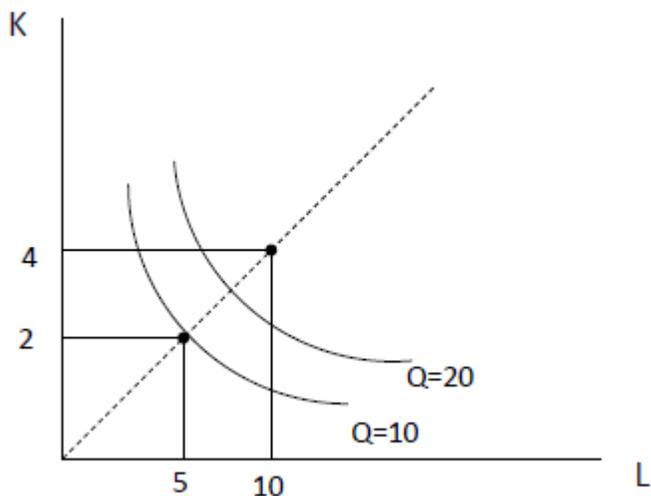
grande, la empresa experimenta *rendimientos crecientes a escala*. Si la producción se incrementa en la misma proporción los insumos, la empresa experimenta *rendimientos constantes a escala*. Un incremento menor que el incremento proporcional en la producción se denomina *rendimientos decrecientes a escala*.

Gráficamente se verán así:

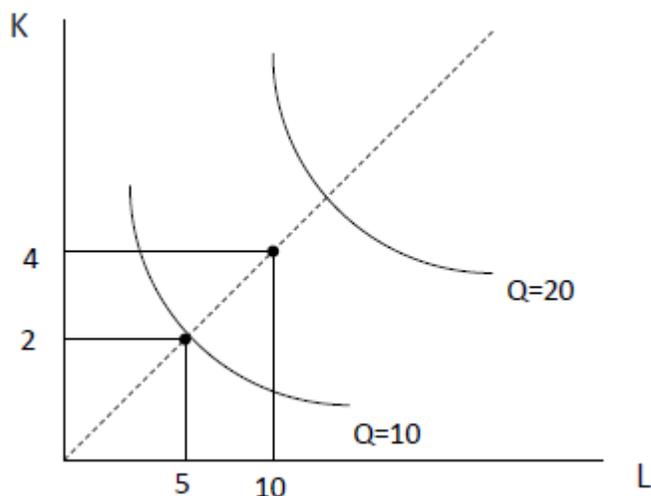
- Rendimientos constantes a escala: Las isocuantas guardan la misma distancia entre sí a medida que se incrementa de manera proporcional el nivel de producción.



- Rendimientos crecientes a escala: Las isocuantas están cada más cerca unas de otras a medida que se incrementan los factores productivos



- Rendimientos decrecientes a escala: Las isocuantas están cada más lejos unas de otras a medida que se incrementan los factores productivos.



- A largo plazo la empresa puede alterar todos sus factores de producción. Su problema fundamental es *cómo seleccionar los factores para obtener un determinado nivel de producción con el menor costo posible.*
- La cantidad empleada de los factores dependerán de sus precios. Así, si utilizando dos factores, capital (K) y trabajo (L), sus precios son; r (*tasa de uso del capital*) y w (*salario*).

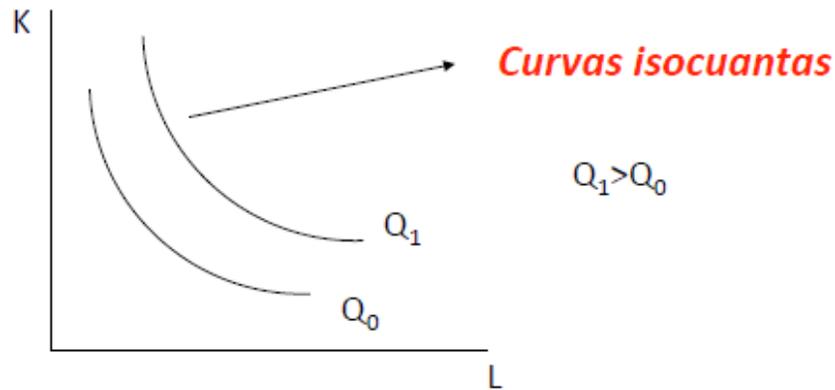
3.1.7.1 La producción en el largo plazo

La función de producción con dos factores variables se denomina curvas isocuantas
 Las características que presenta son las siguientes:

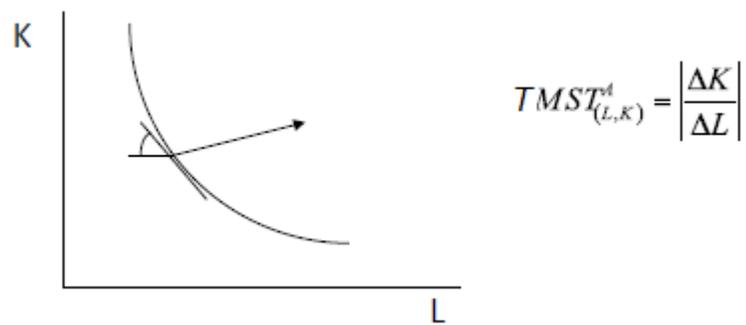
- En una función de producción con dos factores variables

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

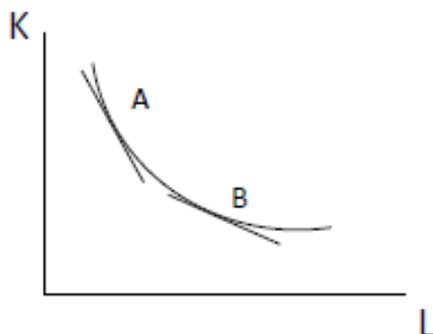
- Se puede representar gráficamente todas las combinaciones de ambos factores que originan un determinado nivel de producción



- Todos los puntos de la isocuanta representan combinaciones de factores técnicamente eficientes
- Las curvas isocuantas representan todas las combinaciones de factores variables que permiten obtener un determinado nivel de producción. Es decir, describen métodos alternativos de producción para la empresa.
- Cuanto más alejadas del origen mayor es el nivel de producción que representan.
- La pendiente de la curva isocuanta se denomina *Tasa Marginal de Sustitución Técnica (TMST)*
- Este concepto es análogo a la Tasa Marginal de Sustitución (pendiente de la curva de indiferencia).
- La TMST se define como la relación a la que se puede sustituir un factor por otro de manera que el nivel de producción permanezca constante.



- Al igual que ocurría con la TMS, la TMST también es *decreciente*. Es decir, cuanto más abundante sea un factor de producción, menos debe reducirse la cantidad del otro factor al aumentar en una unidad la cantidad del primero, de manera que el nivel de producción permanezca constante.



$$TMST^A_{(L, K)} > TMST^B_{(L, K)}$$

3.1.7.2 Relación entre la TMST y el producto marginal de los factores

- Suponiendo que se parte de un punto A de la curva isocuanta y que en un entorno de ese punto se reduce la cantidad de K en ΔK .
- Se tendrá que aumentar la cantidad de L en ΔL para mantener constante el nivel de producción.
- Si $PMgK^A$ representa el Producto Marginal del Capital en el punto A, entonces la reducción en la producción causada por la reducción de ΔK será $(PMgK^A) \Delta K$.
- De igual forma, si $PMgL^A$ representa el Producto Marginal del trabajo en el punto A, entonces el aumento de producción generado por el ΔL será $(PMgL^A) \Delta L$.
- Dado que la disminución en la producción provocada por la reducción del K >ene que ser compensada con el aumento de producción provocado por el aumento de L al situarnos en la misma curva isocuanta con la misma cantidad de producto, entonces:

$$\Delta Q = PMg_L \Delta L + PMg_K \Delta K$$

$$\text{Si } \Delta Q = 0$$

$$\Delta K / \Delta L = - (PMg_L / PMg_K)$$

$$| TMST_{(L,K)} | = PMg_L / PMg_K$$

3.1.7.3 Curvas de Costo Medio y Marginal a largo plazo

Es necesario hacer 3 observaciones:

- La curva de CMe a largo plazo relaciona el costo medio de producción y el nivel de producción cuando todos los factores, incluido el capital son variables.
- La curva de CMe a largo plazo tiene forma de U igual que la curva de CMe a corto plazo, pero la causa de la forma de U son los rendimientos crecientes y decrecientes de escala, más que los rendimientos decrecientes de un factor de producción.
- La curva de CMg a largo plazo muestra la variación que experimenta el costo total a largo plazo cuando se incrementa la producción en una unidad.

Gráficamente se ve de la siguiente manera:

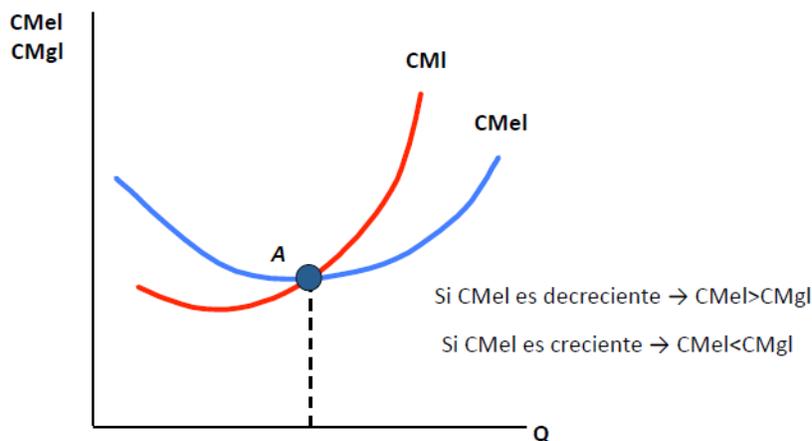


Figura 44. Ley de los Rendimientos Marginales Decrecientes (2)

Fuente: Samuelson P. (2006)

3.1.7.4 Economías y deseconomías de escala

Existen tres tipos de estas y son:

- Economías de escala (rendimientos crecientes a escala): La producción puede duplicarse por menos del doble del costo.
- Deseconomías de escalas (rendimientos decrecientes a escala): Una duplicación de la producción exige más del doble del costo.
- Rendimientos constantes a escala: Una duplicación de la producción exige exactamente el doble de costos.

3.2 Desarrollo teórico de algunas de las principales Funciones de Producción

3.2.1 Función de producción simple

En el corto plazo la función de producción se caracteriza por la existencia de un factor fijo al que se añade un factor variable. Por lo tanto, la función simple que contiene sólo un factor variable y un factor fijo se escribe así:

$$Q = f(L) k$$

Donde la producción Q está determinada por la cantidad del factor variable L (Mano de obra) con el factor fijo k (capital) dado.

3.2.2 Función de producción cúbica

En el texto arriba descrito, se asume que la función de producción comienza con el incremento en los rendimientos marginales, seguido por rendimientos marginales decrecientes. En otras palabras, las tres etapas de producción están presentes. Esta situación está representada por una función cúbica:

$$Q = a + bL + cL^2 - dL^3$$

Donde a es la constante y b , c y d son coeficientes. La figura siguiente muestra la línea de producto total y la figura b muestra las curvas de los productos medio y marginal. Las tres etapas de producción están presentes.

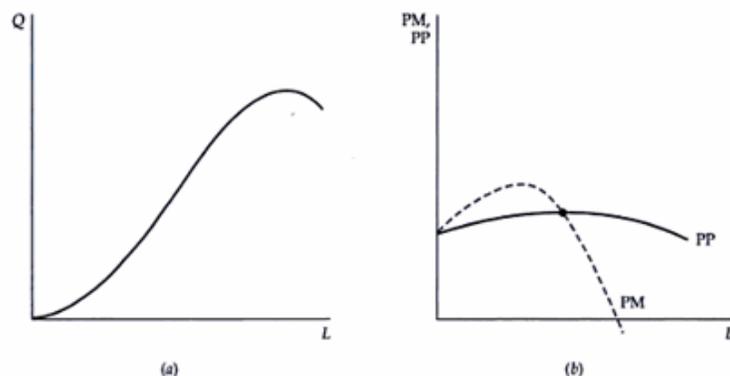


Figura 45. Función de producción cúbica

Fuente: Hall R. Varian, 1999.

3.2.2.1 La función Cúbica

a.- Orígenes

Durante la historia, diversos matemáticos han centrado su atención en la solución de ecuaciones, es por eso que en el siglo I a.C. en la Babilonia aparecen las funciones cuadráticas. En Italia a fines de la era del renacimiento se desarrolla la ecuación cúbica de mano de Fibonacci. Otros exponentes importantes son Nicolo Tartaglia, Girolamo Cardano, Ludovico Ferrari y Niels Henrik Abel.

Además de una disputa entre Tartaglia y Cardano luego de una publicación en 1445 en el libro *Ars Magna* en el cuál apareció el método y solución por primera vez, la fórmula de solución de la ecuación cúbica lleva por nombre Fórmula de Cardano. (Sánchez, 2012).

b.- Definición

En Matemáticas una función cúbica se define como el polinomio de grado 3, y se utilizada para relacionar volúmenes en determinado espacio o tiempo. Su representación canónica es la siguiente:

$$F(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$$

Donde el coeficiente "a" es diferente de 0.

c.- Propiedades

Esta función tiene dentro de sus propiedades las siguientes:

- El dominio de la función es la recta real es decir $(-\infty : \infty)$
- El recorrido de la función es decir la imagen es la recta real.
- Es simétrica respecto del origen, ya que $f(-x)=-f(x)$.
- Es continua en todo su dominio.
- Es siempre creciente.
- No tiene asíntotas.
- Tiene un punto de corte con el eje Y.
- Puede tener hasta un máximo de 3 puntos de intersección con el eje X.

d.- Aplicaciones

En cualquier área de las ciencias, existen leyes en las que se relacionan distintas magnitudes, temperatura-presión, masa-velocidad, intensidad del sonido o distancia.

A partir de los valores de algunas magnitudes se obtienen los valores de otras de forma directa a través de fórmulas ya demostradas. Un punto de origen del concepto de función nace precisamente de las relaciones que mantienen diferentes magnitudes, así pues la función se puede representar algebraicamente o de forma

gráfica en la que se relacionan varias magnitudes entre sí. Mediante la representación gráfica de estas relaciones entre diferentes magnitudes, se puede dar de forma visual esa relación e interpretarla de forma rápida y sencilla.

Una forma de representación es la que se hace mediante ejes cartesianos, en la que la función se representa de forma general por la relación numérica de magnitudes en una gráfica. Así pues, la función se puede representar tanto gráficamente como mediante una expresión algebraica o fórmula. Euler fue el primero en emplear la expresión $f(x)$ para representar una función f asociada a un valor x .

La función cúbica permite describir el mundo real en términos matemáticos, como por ejemplo, las variaciones de la temperatura, el movimiento de los planetas, las sondas cerebrales, los ciclos comerciales, el ritmo cardíaco y el crecimiento de la población entre otros. También sirve para detectar la anemia. Desde el punto de vista geométrico, una función cúbica representa el volumen de un cubo: $V = a^3$. Se puede decir que algunos ejemplos prácticos serían el relacionar el crecimiento de un feto en gestación con el hecho de relacionar su distancia de los pies a la cabeza se puede determinar la semanas de gestación del feto.

También el hecho de relacionar los vientos o la energía eólica con respecto a la intensidad de estos y su tiempo de duración. Se utiliza más en el campo de la economía y de la física. (Golosina, 1980)

3.2.3 Función de producción cuadrática

Es posible, sin embargo, que los datos empleados en la estimación exhiban rendimientos decrecientes marginales pero no la etapa I. Tal estimación se representa por medio de una función cuadrática.

$$Q = a + bL - cL^2$$

En las figuras a y b, representan las curvas de producción total y unitaria, respectivamente. Ambas gráficas indican rendimientos marginales decrecientes, pero los rendimientos marginales crecientes y por lo tanto la etapa I, están ausentes.

En el desarrollo de investigación empírica, es posible identificar una función lineal de producción $Q = a + bL$. Esta función no exhibe ningún rendimiento decreciente; el producto total será una línea recta con una pendiente b , y las líneas PMg y PMe serán horizontales e iguales. Por supuesto, una función de producción de línea recta podría representarse en alguna situación real, pero dada la existencia de un factor fijo, no se debe esperar que el PMg constante prevalezca sobre un amplio rango de cantidades producidas.

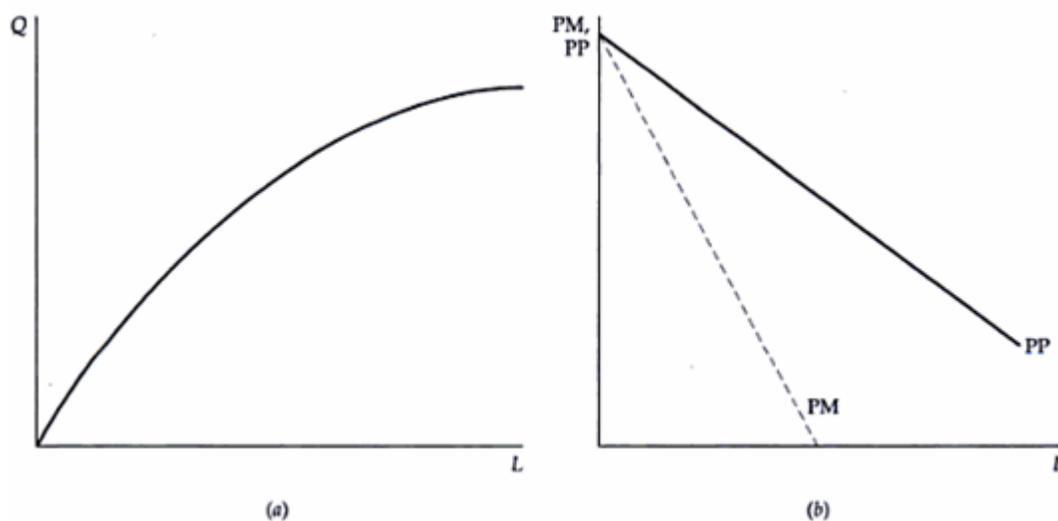


Figura 46. Función de producción cuadrática

Fuente: Hall R. Varian, 1999.

3.2.4 Función de producción potencia

Otra modalidad de la función de producción, es la *función potencia*, la cual toma la siguiente forma:

$$Q = aL^b$$

La forma de esta función de producción depende del exponente b .

Una ventaja importante de la función de potencia es que puede transformarse en una función lineal cuando se expresa en términos logarítmicos, haciéndola susceptible del análisis de regresión lineal:

$$\text{Log } Q = \log a + b \log L$$

La dirección del producto marginal depende del tamaño del exponente b . Si $b > 1$, el PMg se incrementa; si $b = 1$, es constante; y si $b < 1$ disminuye. Sin embargo, no puede exhibir dos direcciones de producto marginal en la misma función, como lo permite la forma de ecuación cúbica. Esta función se emplea a menudo en el trabajo empírico. Una razón para su popularidad es que es posible transformarla fácilmente en una función con dos o más variables independientes:

$$Q = aX^{b_1} X^{c_2} \dots X^{m_n}$$

Usar más de una variable independiente en una función de producción es ciertamente más realista que limitar el análisis a una sola, y cuando se asume que todos los insumos son variables, se puede entonces trasladar el análisis del corto plazo al largo plazo. De hecho, esta función se utiliza en dos análisis. En un modelo simple de 2 variables (mano de obra y capital), la función de potencia permite la estimación del producto marginal (cuando la mano de obra cambia y el capital permanece igual) y de los rendimientos a escala (cuando ambas variables cambian).

3.2.5 Función de producción Cobb-Douglas

La función de producción Cobb-Douglas se introdujo en 1928, y es aún una forma funcional común en los estudios económicos actuales. Se ha utilizado extensamente para estimar tanto la función de producción individual de la empresa como la

agregada. Ha recibido críticas significativas pero las ha resistido. “Ahora es práctica acostumbrada en economía negar su validez para después usarla como una excelente aproximación”. (Stigler, 1987).

Fue originalmente elaborada para toda la producción manufacturera (Q) en Estados Unidos para los años de 1899 a 1922. Los dos insumos utilizados por los autores fueron el número de trabajadores manuales (L) y el capital fijo (K).

La fórmula para la función de producción, sugerida por Cobb, fue la siguiente:

$$Q = aL^bK^{1-b}$$

➤ Ventajas:

1) Para hacer esta ecuación útil, ambos insumos deben existir de modo que Q sea un número positivo. Esto tiene sentido debido a que el producto total es el resultado de combinar dos o más factores.

2) La función puede exhibir rendimientos crecientes, decrecientes, o constantes. Originalmente Cobb y Douglas suponían que los rendimientos a escala son constantes.

La función se elaboró de tal forma que los exponentes sumados $(b + (1 - b)) = 1$. Sin embargo, en estudios posteriores, ellos (así como otros investigadores) relajaron este requerimiento y reescribieron la ecuación como sigue:

$$Q = aL^bK^c$$

De acuerdo con esta construcción, si $b + c > 1$, los rendimientos a escala son crecientes y si $b + c < 1$ los rendimientos son decrecientes. Los rendimientos constantes existen cuando $b + c = 1$.

3) La función permite investigar el producto marginal para cualquier factor mientras los otros factores se mantienen constantes. Por tanto, también es útil en el análisis de las funciones de producción de corto plazo. La producción tiene lugar en la etapa II, que es el área de producción relevante.

4) Las elasticidades de los factores son iguales a sus exponentes, en este caso b y c . Por lo tanto, las elasticidades de mano de obra y de capital son constantes.

5) Dado que una función de potencia puede convertirse en una función lineal mediante el uso de logaritmos, es posible estimarla a partir del análisis de regresión lineal.

6) Aunque se ha limitado la explicación a solo dos variables de insumo (L y K), esta función da cabida a cualquier número de variables independientes como sigue:

$$Q = aX^{b_1} X^{c_2} X^{d_3} \dots X^{m_n}$$

7) Una función de producción teórica da por sentado que la tecnología es constante. Sin embargo, los datos ajustados por el investigador pueden abarcar un periodo durante el que haya progresos tecnológicos. Una de las variables independientes en la ecuación citada podría representar el cambio tecnológico (una serie de tiempo) y, por tanto, ajustar la función para que tome en cuenta la tecnología.

➤ Desventajas:

1) No puede mostrar el producto marginal conforme pasa a través de las tres etapas de producción en una especificación. (Para lograr esto se necesitaría una función cúbica).

2) De manera similar, no puede mostrar una empresa o industria pasando a través de rendimientos crecientes, constantes o decrecientes a escala.

3) Existen también problemas importantes con la especificación de datos a ser utilizados en las estimaciones empíricas, tales como los de tipo estadístico.

3.2.6 Otras funciones de Producción

Dentro de la teoría de funciones de producción, la función de Cobb-Douglas y la función de elasticidad de sustitución constante (CES) son las más comúnmente utilizadas por los economistas; sin embargo, se han desarrollado otras funciones de producción, dirigidas al estudio de casos muy específicos o bien con supuestos muy singulares. A continuación se mencionan algunas de ellas:

a. Función de producción de Zellner

El propone una especificación en la que relaciona el tamaño de la empresa o industria, que denomina T, con un factor variable (L), de la siguiente forma:

$$Y = (aL^3) / (e^{bL/T} - 1)$$

En donde a y b son constantes positivas.

Esta función presenta productividades marginales positivas y decrecientes, sin embargo es una función homogénea de grado tres, situación que implica la existencia de rendimientos de escala fuertemente crecientes, lo cual la hace ser prácticamente inaplicable. La referencia bibliográfica estudiada menciona además que Zellner demuestra que la máxima producción se logra en aquel punto en donde:

$$L / T = (1/b) 0.02$$

b. Función Generalizada de Hildebrand y Liu

Estos autores relacionan logarítmicamente de forma lineal el valor agregado con la proporción capital-trabajo, y no con el salario real, como se plantea en la función de producción de elasticidad de sustitución constante (CES) por Arrow, Chenery,

Minhas y Solow (Segura, J. 1969), Plantean una función de producción lineal homogénea de grado uno bajo equilibrio competitivo:

$$Q = [\delta K^{-\rho} + eK^{-m\rho}]^{-1/\rho}$$

Donde el parámetro ρ representa la elasticidad de sustitución, δ y e son parámetros distributivos, y m es una constante.

c. Función de producción de Spillman

Esta función fue uno de los primeros esfuerzos para estimar parámetros de una función de producción. Surgió en la década de los años veinte en un estudio que intentaba determinar si la ley de los rendimientos decrecientes tenía algún sustento empírico dentro de procesos de producción agrícolas (Debertin, D. L.1986). La forma de esta función es la siguiente:

$$Q = A (1 - R_1 x_1) (1 - R_2 x_2)$$

En la que se espera que los parámetros R_1 y R_2 oscilen entre cero y uno, y la suma de estos sea menor o igual a la unidad. Por su parte el producto marginal de ambos insumos (X_1, X_2) es positivo pero decreciente, de forma que para el insumo X_1 se tiene:

$$PMg_{x_1} = -\ln R_1 (1 - R_2 x_2) A R_1 x_1 > 0$$

3.2.10 Efecto de Variables Estado en las funciones de Producción

Al respecto, la metodología propuesta por Coeymans, que se basa en un enfoque de oferta agregada, señala que los datos observados en la realidad, no reflejan situaciones de equilibrio en el mediano o largo plazo, sino más bien resultan de fuerzas que actúan también en el corto plazo. Por tanto, se pretende aislar los

factores que inciden en el ciclo de otros que tienen influencia más permanente (tendencia), y descubrir la incidencia de los factores cíclicos en el desempeño de la economía de largo plazo.

En general, la producción agregada tiene como variables explicativas fundamentales los factores de producción: tierra, trabajo, capital y capacidad empresarial. Además, es necesario agregar el parámetro de cambio tecnológico, ya que la función de producción se va desplazando por efecto del mismo (Coeymans, J. E. 1992).

Las nuevas teorías del crecimiento coinciden en que la inversión en capital humano, en infraestructura y en investigación y desarrollo influyen en el crecimiento del producto, el cual por lo general no es explicado por las especificaciones tradicionales que incluyen solamente los factores de producción (Coeymans, J. E. 1992).

3.3 La función de producción cubica aplicada en la Agricultura

Si bien la función de producción más empleada en los escritos de teoría de la producción es la función Cobb-Douglas, las razones que justifican este hecho están relacionadas con los procesos más comunes que se realizan en países desarrollados en los que normalmente no se contemplan cantidades relativamente pequeñas a producir. Cuando se trabaja en procesos de optimización para determinar cuál es la cantidad de bienes a producir que generen la máxima ganancia a la empresa, se realizan con valores en mente, que van de miles o decenas de millares de unidades a producir. Por ejemplo, una empresa automovilística, no menciona cantidades de 100 o 200 vehículos a producir en un año. La característica que tienen en común es que nunca producen en la llamada “primera etapa de la producción” que de acuerdo

a la teoría de la producción, se recomienda, y es una recomendación totalmente válida, que no se debe producir en esa etapa de la producción. (Portillo M. 2014).

La segunda etapa por su parte tiene sólo rendimientos marginales decrecientes (incrementos en producto cada vez menores como respuesta a incrementos unitarios del insumo variable que se analiza en los procesos de optimización). Dada esta característica de la segunda etapa de la producción, una función de tipo Cobb-Douglas es apropiada en los procesos de producción industrial a gran escala.

3.3.1 La función de producción cúbica y sus propiedades

Como en todo recurso que puede aplicarse en cantidades y proporciones diferentes con respecto a otros factores de la producción que permanecen constantes en su nivel de uso en la empresa, una función de producción cúbica cuenta con las siguientes propiedades:

- Presenta incrementos en la producción cada vez mayores ante cambios unitarios del recurso variable o también llamados productos marginales crecientes. El uso de las primeras unidades de nitrógeno aplicadas al suelo, presentan respuesta vigorosa en rendimientos. Gráficamente este fenómeno le da una concavidad vista desde arriba a la función de producción.
- A un determinado nivel de uso del insumo variable se empiezan a tener incrementos en la cantidad producida positivos, pero de cada vez menor magnitud conocidos también como productos marginales decrecientes. En este nivel se da un punto de inflexión de la función de producción.

- Así continúa hasta llegar a un nivel de uso del insumo variable en el que la última unidad de insumo variable no incrementa en nada a la producción, en esta etapa el producto marginal es igual a cero. En este nivel de uso del insumo nitrógeno se alcanza la máxima producción por hectárea.
- Después de que se alcanza la mayor cantidad de producción, los incrementos en la utilización del insumo variable hacen disminuir o decrecer la producción total, teniendo así productos marginales negativos.

Ejemplos de productos marginales negativos o disminuciones en la producción total cuando se emplean mayores niveles de insumo variable es lo conocido como una sobredosis de nitrógeno por hectárea aplicados a un determinado cultivo. En esta situación las disminuciones en producto total debido a aumentos en el nitrógeno se explican porque grandes cantidades de nitrógeno y del producto que normalmente lo acompañan absorben humedad y le restan posibilidad a la planta de absorber al nutriente nitrógeno. Dicho de manera coloquial o común es que “se quema la planta por exceso de nitrógeno”.

Adicionalmente, en la función de producción se da un nivel de uso del insumo que representa el máximo producto promedio que se puede alcanzar del cultivo, esto mismo puede enunciarse como “*el nivel de empleo del nitrógeno donde se obtiene la máxima conversión de nitrógeno en producto o grano*”. Viéndolo de manera gráfica, el uso del insumo se da en el punto de tangencia de una recta que parte del origen y toca por arriba a la función de producción que resulta en una cantidad mayor de nitrógeno que la que corresponde al punto de inflexión.

Esta representación de la función de producción para nitrógeno en kilogramos por hectárea aplicados al cultivo de maíz, toma la siguiente forma:

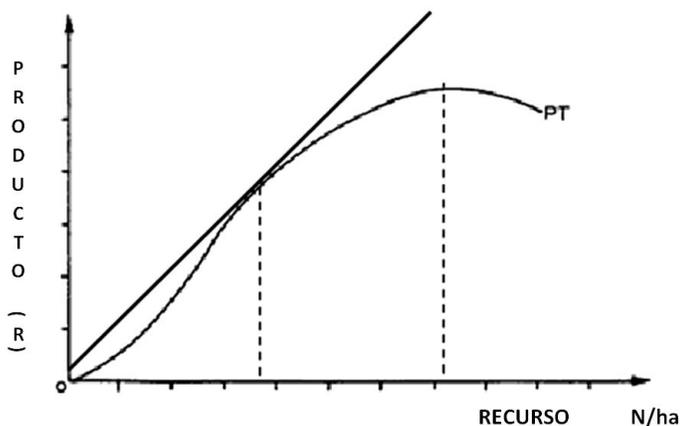


Figura 47. Función de producción en Maíz a diferentes cantidades de Nitrógeno por hectárea

Fuente: Elaboración propia

La expresión algebraica a denotar, se ejemplifica con producto en función del insumo es de la forma general siguiente:

$$\text{Producto } (x) = a + bN + cN^2 + dN^3$$

En donde los coeficientes:

- $a=$ es la ordenada al origen y representa la producción atribuible a los demás factores, tierra, Fósforo, potasio, semilla y otros. Procesando la función e identificar el uso óptimo de nitrógeno, simplemente se elimina o se deja de lado con lo cual se logra que la función se desplace al origen y los diferentes niveles de producción se deben exclusivamente al uso de nitrógeno, esto es para analizar el efecto que tenga en la producción el insumo en cuestión.
- $b=$ es de signo positivo

- $c =$ es positivo y de menor magnitud que el del coeficiente b
- $d =$ es negativo y de magnitud menor que la del coeficiente c .

Las forma de la estructura que presenta la función, vienen dadas por las siguientes características:

- El término cuadrático le da concavidad a la función, la primera que presenta
- El término cúbico le imprime una segunda concavidad a la función, con lo cual permite captar tanto productos marginales crecientes como decrecientes así como los negativos.
- La recta que da inicio en el origen, en su punto de tangencia por arriba de la función, proyectado sobre el eje de la x , identifica el nivel de máxima conversión de nutriente en producto (producción de máxima eficiencia del recurso nitrógeno).
- El punto más alto de la función, indicado sobre el eje horizontal, señala la cantidad de nitrógeno por hectárea que ocasiona el máximo rendimiento de grano en una hectárea.

3.3.2 Proceso de optimización del uso de Nitrógeno por hectárea

Considerando que X es nitrógeno en Kg/ha (N) e Y es cantidad de producto en kg por hectárea.

A partir del gráfico anterior, se derivan dos funciones auxiliares: la de producto medio (PMe) y la de producto marginal (PMg).

El P_{Me} resulta de dividir la función de producción original entre N, que genera una función cuadrática del gráfico anterior con nivel máximo que corresponde al punto de tangencia E, en la gráfica original.

El P_{Mg} es el resultado de derivar matemáticamente la función original con respecto a la variable N o insumo a maximizar. La derivada se identifica con el producto marginal ya que significa el incremento que se obtiene en producción al aumentar una unidad de nitrógeno.

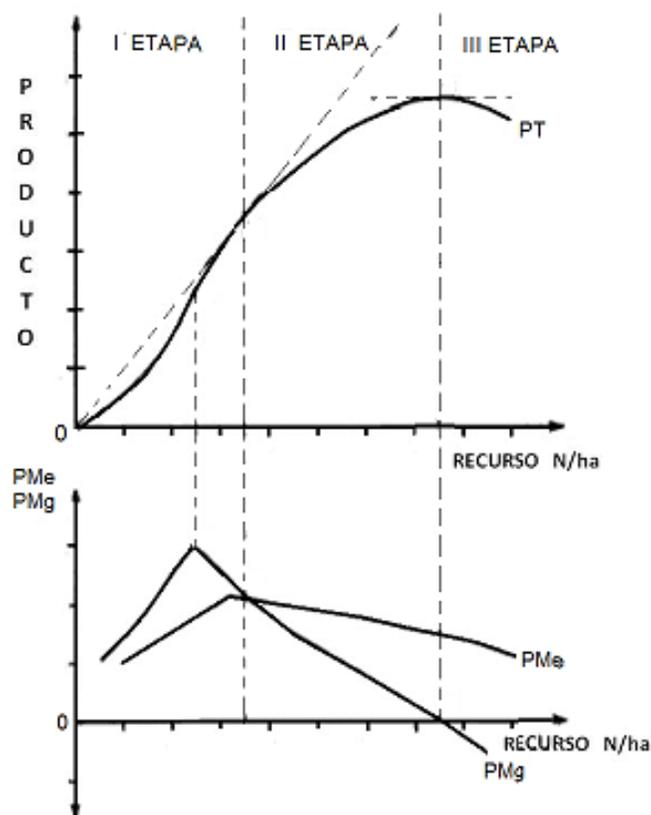


Figura 48. Función de producción en Maíz (optimización)

Fuente: Hall R. Varian, 1999.

3.3.3 Etapas de la función de producción cúbica

Esta función se compone de tres etapas, que se abordan a continuación:

- Etapa I: La cantidad de nitrógeno que genera el máximo producto medio se le conoce como nivel de máxima eficiencia del recurso. Este nivel delimita a esta primera etapa de la producción que está dada por las cantidades de uso de Nitrógeno desde cero hasta este límite de producto medio máximo.
- La etapa II inicia en el nivel de máxima eficiencia y termina en el que corresponde a la máxima producción por hectárea del cultivo en mención.
- La etapa III nace desde el punto de máxima producción y contiene al rango de cantidades mayores de nitrógeno que generan una caída de la producción total o de productos marginales negativos.

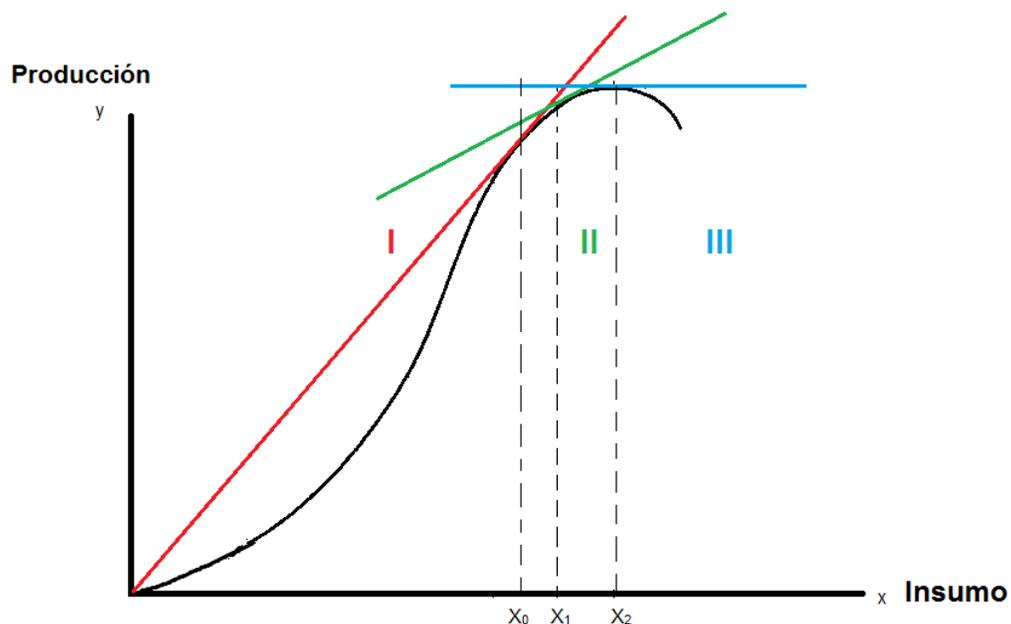


Figura 49. Etapas de la producción

Fuente: Elaboración propia

Lo primero que surge para analizar es que ningún individuo tomador de decisiones emplearía cantidades de nitrógeno pertenecientes a la tercera etapa, es decir, nadie aplicaría cantidades adicionales de nitrógeno que generan caída del nivel de producción. Por lo que se descarta la etapa III de la producción. En un caso especial solo sería admisible producir en esta etapa cuando el insumo tuviera un costo de cero unidades monetarias, en otras palabras que fuera transferido de manera gratuita.

Lo segundo a considerar es que las cantidades de nitrógeno que pertenecen a la primera etapa de la producción tampoco deben utilizarse. Esta afirmación merece una mayor atención para su análisis que la del párrafo anterior.

Si se enfoca únicamente la etapa I, como se muestra en la siguiente gráfica, que es la parte donde de la función de producción contiene cantidades menores a la de máxima eficiencia y considerando que en este intervalo la función de producción tiene productos marginales crecientes y una mínima porción de productos marginales decrecientes,

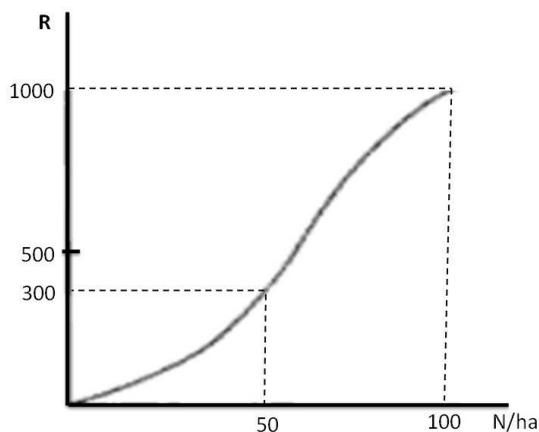


Figura 50. Etapa II (Racional) de la producción

Fuente: Elaboración propia

Simulando un escenario, si en este punto corresponde a un uso de 100 kilogramos por hectárea aplicada al cultivo y a una producción de 1000 kilogramos por hectárea, asignando un precio de 10 al kilogramo de nitrógeno incluyendo la aplicación, el costo de estos 100 kg de fertilizante sería de 1000 pesos y con esa inversión el producto a obtener es de 1000 kilogramos de grano.

3.3.3.1 Máxima eficiencia en el uso del insumo X

La situación que se presenta con frecuencia en agricultura de temporal en predios minifundistas y con cultivos básicos como el que aborda este trabajo es aquella en que el agricultor normalmente no posee el capital necesario para aplicar la cantidad de los 100 kilogramos por hectárea, suponiendo que sólo posee 500 pesos con lo que puede adquirir sólo la mitad del fertilizante que le llevaría al nivel de máxima eficiencia o máximo producto promedio. Se puede apreciar en la gráfica siguiente que 50 kilogramos de Nitrógeno aplicados a la tierra (la mitad de los 100 necesarios) no llevaría la producción a la mitad de los 1000 kilogramos sino que puede apreciarse que llevaría la producción a menos de la mitad de 1000 kg de grano.

También puede inferir que si aplica estos 50 kilogramos en la mitad de la hectárea, sería el equivalente a 100 kilogramos por hectárea y por lo tanto obtendría 500 kilogramos de grano en esa hectárea. Lo que significa un mayor nivel de producción con el mismo costo de la inversión en fertilizante.

De la misma forma se comprueba que si sólo posee 750 pesos, puede aplicar 75 kilogramos de nitrógeno y aplicarlo en tres cuartas partes de la hectárea y obtendría 750 kilogramos de grano equivalentes al rendimiento de 100 kilogramos aplicados por hectárea.

En general, si el productor de baja capacidad de inversión sólo posee dinero para aplicar una menor cantidad de los kilogramos necesarios para obtener la máxima eficiencia en la producción de una hectárea de tierra, el insumo a aplicar es el de la cantidad de nitrógeno disponible aplicado en la proporción de la superficie a fertilizar y de ninguna forma salirse de esta proporción de uso de insumo, es decir, suministrar los insumos de manera proporcional al que corresponda en este caso a 100 kg/ha de nitrógeno.

Este resultado es de particular importancia porque sin que el productor aumente un solo peso en gasto con respecto al disponible, se le puede generar una recomendación que le conduce a mejores ingresos con su recurso disponible. Mayor cantidad de producto a obtener sin incrementar su inversión, es de las pocas recomendaciones que pueden estar al alcance de productores de bajos ingresos y poca disponibilidad de capital de inversión.

El resultado cobra mayor importancia cuando se considera que además de ser útil para un gran número de productores, se puede aplicar para diversos insumos o nutrientes que se emplean y son necesarios en diferentes cantidades sobre una hectárea de tierra cultivada, tales como Fósforo y Potasio así como semilla por hectárea o densidad de siembra, agua en caso de contar con riego, herbicidas y otros, lo que multiplicaría los incrementos en rendimiento del cultivo empleando los recursos disponibles en la proporción que corresponde a cada uno de éstos, para general su máxima eficiencia de la inversión.

El proceso anterior no es posible obtenerlo en una función de producción en la que se ajustan los diferentes rendimientos por hectárea a una expresión algebraica tipo Cobb-Douglas, por lo que se verá posteriormente.

3.3.3.2 *Máxima ganancia de la inversión en el uso insumo X (N/ha)*

Siguiendo con el proceso de optimización para condiciones diferentes de los productores, por ejemplo para aquellos que no tienen limitaciones en el capital para invertir en fertilizantes, en este caso en dosis necesarias para obtener mejores resultados en términos de ganancia total de la inversión.

Después de identificado el nivel de uso de nitrógeno de máxima eficiencia puede realizarse un procedimiento que señale si es conveniente abandonar el punto de máxima conversión de Nitrógeno en grano. Para este propósito y empleando sólo la parte de la función de producción que no contiene ni a la etapa I ni a la etapa III.

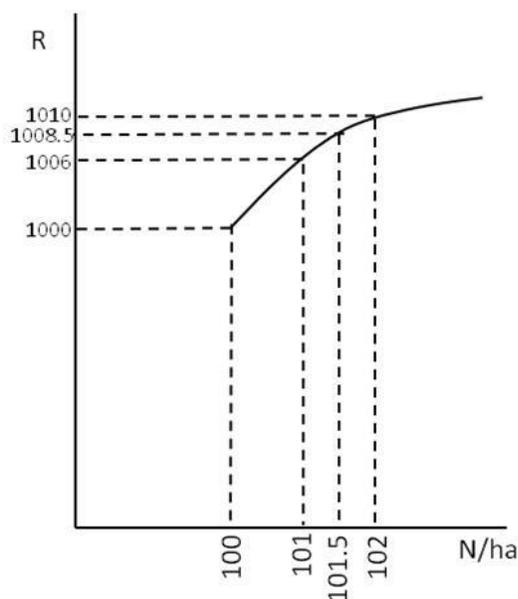


Figura 51. Análisis de la etapa II (Racional) de la producción

Fuente: Elaboración propia

Observar que esta etapa únicamente contiene productos marginales decrecientes (incrementos de producto cada vez menores, atribuibles a incrementos unitarios del insumo nitrógeno)

Si se rebasa el nivel de uso de 100 kg/ha de nitrógeno, se abandona el punto de máxima eficiencia, y se observa qué pasa con la producción de un kilogramo más de nitrógeno aplicado al cultivo.

En el gráfico 51 se observa que la producción aumenta a 1006, (un producto marginal de 6 para el kilogramo 101 de nitrógeno) tomando un incremento en costo equivalente al precio de 10 pesos por kilogramo de nitrógeno y un precio del grano de 2 pesos por kg, realizando los cálculos correspondientes se observa que los 10 pesos adicionales invertidos en nitrógeno generan 12 pesos por el incremento de 6 kg de grano. Sea cual sea la ganancia con 100 kilogramos de nitrógeno, el kg 101 aumenta en 2 unidades monetarias esta ganancia.

Posteriormente se puede hacer la indicación de que si se aplica un kg más del insumo, el kg 102, dado que se está en la etapa de rendimientos decrecientes, la producción total no puede aumentar hasta 1012, sino que se quedaría en 1010 que corresponde a un producto marginal de 4 para el kilogramo 102 de nitrógeno. En este caso se invierten 10 pesos adicionales al pasar al kg 102 con costo de 10 pesos para obtener 8 de incremento en el ingreso que generan los 4 kg de grano, lo que genera una pérdida de la inversión de 2 pesos. La decisión razonada por lo tanto sería no realizar la inversión para el kg 102 de nitrógeno.

Reproduciendo ahora la inversión de medio kilogramo de insumo más, agregado a los 101, o sea de 101.5, es de esperarse que este primer medio kg genere mayor

incremento en la producción que el segundo medio kg para llegar a los 102. La producción total con 101.5 kg de nitrógeno por hectárea, puede conducir a una producción total de 1008.5 kg.

El incremento en costo será de 5 pesos y el incremento que genera en producto es de 2.5 kg de grano con valor de los 5 pesos que paga el costo del incremento en el insumo.

Llegado a este punto será por tanto el que genera la máxima ganancia de la inversión realizada en nitrógeno.

La relación implícita en este proceso de optimización es que la máxima ganancia se obtiene cuando el incremento en producto que genera una unidad de nitrógeno debe tener el mismo valor que el precio de un kg de nitrógeno.

Visto de otra forma en este ejercicio con datos hipotéticos el producto marginal de una unidad de nitrógeno debe ser igual a la relación de precios (*Precio del nitrógeno / precio del grano*). Aplicando esta definición, la relación de precios quedaría así: $10/2 = 5$, significa que se requiere de un producto marginal de 5 para pagar el precio de un kg de nitrógeno.

Inyectando dinamismo a este proceso, se puede considerar que si el precio del nitrógeno se subsidia y baja a 8 pesos el kg, se requerirían sólo 4 kg de producto marginal para pagar el costo de un kg de nitrógeno y en ese caso debería aumentar el uso de este insumo a la cantidad de 102 que fue desechada con la relación de precios 10/5.

De seguir disminuyendo el precio del nitrógeno la cantidad que genera la máxima ganancia es cada vez con mayor uso del nitrógeno hasta el nivel donde se tenga la siguiente igualdad:

$$\text{Producto marginal} = \text{Precio del nitrógeno} / \text{Precio del maíz}$$

De esta relación, precio del insumo/precio del producto, se puede deducir que para llegar al punto más alto de la función de producción donde el producto marginal es “cero” donde la última unidad de nitrógeno no genera aumento alguno en la producción, la relación indica que el precio del insumo N debería ser cero (que el nitrógeno fuera regalado), de no ser así, el óptimo se encontrará siempre en niveles menores de uso de nitrógeno, específicamente en el nivel donde el producto marginal permita recuperar el costo unitario del nitrógeno.

Expresado de otra forma, si en la condición de máxima ganancia:

$$\text{Producto Marginal} = \text{Precio del grano} / \text{Precio del nitrógeno}$$

Se le asigna el valor de cero al producto marginal (lado izquierdo de la igualdad) que corresponde al punto más alto de la función, para que se cumpla esta igualdad se requiere que el numerador de la parte derecha (precio del nitrógeno) sea cero o precio nulo.

El razonamiento anterior lleva a la conclusión de que es un error emplear el insumo nitrógeno hasta el nivel de máximo rendimiento por hectárea, que sólo sería congruente con adquisición regalada o de precio cero de los mismos. Este punto tampoco es posible identificarlo en la función Cobb-Douglas porque esta función no presenta valor máximo, por lo tanto tampoco tiene producto marginal cero y menos

negativos que corresponden a la “quema del cultivo” por exceso de nitrógeno. Que si bien la parte de productos marginales negativos no es de importancia ni de utilidad alguna, si se requiere saber el punto donde inician para no llegar hasta ese nivel de uso de nitrógeno.

3.3.4 Expresión algebraica de una función de producción cúbica

Si la variable dependiente se mide en kilogramos por hectárea, o lo que es igual Rendimiento (R) que se obtienen al emplear diferentes cantidades de nitrógeno por hectárea (N) la función de producción cúbica toma valores como los del siguiente ejemplo:

$$R = 1200 + 7N + 2N^2 - 0.01N^3$$

Los 1200 de la ordenada al origen representan la producción atribuible a los factores diferentes al nitrógeno, por lo que simplemente se elimina este dato y queda la función que genera los valores de producción atribuibles exclusivamente a los diferentes niveles de uso del nitrógeno:

$$R = 7N + 2N^2 - 0.01N^3$$

La función de Producto medio PMe que resulta de dividir ambos miembros de la función entre N , conduce a la expresión siguiente:

$$PMe = R/N = 7 + 2N - 0.01N^2$$

Derivando esta función promedio e igualando la derivada a cero, como condición de primer orden para obtener el máximo de la función se tiene:

$$dPMe/dN = 2 - 0.02N = 0$$

De donde:

$$N = 2/.02 = 100$$

De acuerdo con este resultado, la dosis de nitrógeno por hectárea que genera el máximo producto medio, asociado a la máxima eficiencia del insumo nitrógeno es de 100 kg/ha de nitrógeno.

Por tanto $N = 100$, sería en este caso, es la recomendación económica más apropiada para productores de bajos ingresos, que si no cuentan con los recursos para adquirir los 100 kg de nitrógeno, pueden aplicar la cantidad de nitrógeno que pueden obtener y aplicarlos en la proporción de superficie que mantenga la misma relación de 100 kg/ha de nitrógeno. Que pueden ser 50 kg de nitrógeno aplicados en media hectárea o bien 75 kg aplicados en tres cuartas partes de la hectárea dependiendo de la cantidad de nitrógeno que esté a su alcance, para mantener la producción proporcional que le genera la relación 100/ha siempre mayor a la de aplicar la cantidad limitada de nitrógeno en toda la hectárea.

Si las condiciones financieras del productor no son limitantes para invertir en nitrógeno aplicado al suelo, el nivel perseguido deberá ser el que genere la máxima ganancia atribuible a la inversión en Nitrógeno.

Para el proceso de obtención del nivel de nitrógeno que genera la máxima ganancia se persigue la igualdad entre el producto marginal dado por la derivada de la función de producción y la relación de precios: precio del insumo/precio del producto, considerando como precios del insumo y del producto 60 y 3 respectivamente, se buscaría el valor de N donde su producto marginal sea de $20 = 60/3$). De tal forma

que obteniendo la derivada de la función e igualando a 2, se llega a la siguiente expresión:

$$R = 7N + 2N^2 - 0.01N^3$$

$$dR/dN = 7 + 4N - 0.03N^2 = 20$$

$$-13 + 4N - 0.03N = 0$$

Aplicando la fórmula general de la función cuadrática, se obtienen los siguientes valores para N.

$$R = 7N + 2N^2 - 0.01N^3$$

$$PMe = \frac{R}{N} = 7 + 2N - 0.01N^2$$

$$\frac{dPMe}{dN} = 2 - 0.02N = 0$$

$$N = \frac{2}{0.02}$$

$$N = 100$$

$$\frac{dR}{dN} = 7 + 4N - 0.03N^2 = \frac{60}{3}$$

$$\frac{dR}{dN} = 7 + 4N - 0.03N^2 = 20$$

$$-13 + 4N - 0.03N^2 = 0$$

$$N = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$N = \frac{-4 \pm \sqrt{16 - 4(-0.03)(-13)}}{2(-0.03)}$$

De donde:

$$N_1 = 3.333$$

$N_2 = 130$ Valor de utilidad, el anterior pertenece a la etapa I de la producción y se desecha.

En cuanto al valor de N que genera el máximo producto por hectárea, éste se obtiene igualando la derivada de la función a cero. (Producto marginal = 0) y posteriormente, despejando el valor de N se tiene:

$$\frac{dR}{dN} = 7 + 4N - 0.03N^2 = 0$$

$$N = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$N = \frac{-4 \pm \sqrt{16 - 4(-0.03)(7)}}{2(-0.03)}$$

De donde:

$$N_1 = -1.7276$$

$$N_2 = 135$$

El valor $N = 135$ es el que corresponde al de máxima producción por hectárea. Calculado sólo como referencia para que no se eleve hasta este nivel el uso del

Nitrógeno si éste tiene un precio que debe ser pagado con el producto que genera la última unidad empleada de nitrógeno.

Una variante de la función cúbica que resulta conveniente para simplificar las operaciones y aplicable a la agricultura, es la que se elabora con datos de campo experimental cuando el diseño del experimento contempla cantidades de nitrógeno muy lejanos del origen y un valor del llamado tratamiento testigo (el rendimiento obtenido si no se aplica nitrógeno al suelo).

Es común que al investigador no le interese qué rendimientos se obtienen con cantidades de 10, 20 o 30 kilogramos de nitrógeno por hectárea y su experimento contiene valores altos a probar, como 120, 150, 180 y 210.

Con esta función de producción no es posible identificar el rango de la primera etapa, no aparecen los rendimientos marginales crecientes ni el punto de inflexión, ni es posible identificar el nivel de nitrógeno de máxima eficiencia. De otra forma: la función de producción permite el cálculo de producción sólo para los niveles de producción que corresponden al uso de nitrógeno que esté en el rango de 120 a 210 kg/ha de nitrógeno o para valores fuera de este intervalo pero cercanos al mismo.

Para la determinación de óptimas, con este modelo sólo es posible calcular los niveles de nitrógeno que corresponden a la máxima ganancia y a la máxima producción por hectárea, valor este último que se debe insistir en que no es conveniente llegar a ese nivel de utilización de nitrógeno, al menos que éste se obtenga regalado.

La expresión gráfica de los datos de campo (representados por puntos y la línea de tendencia, es de la siguiente forma:

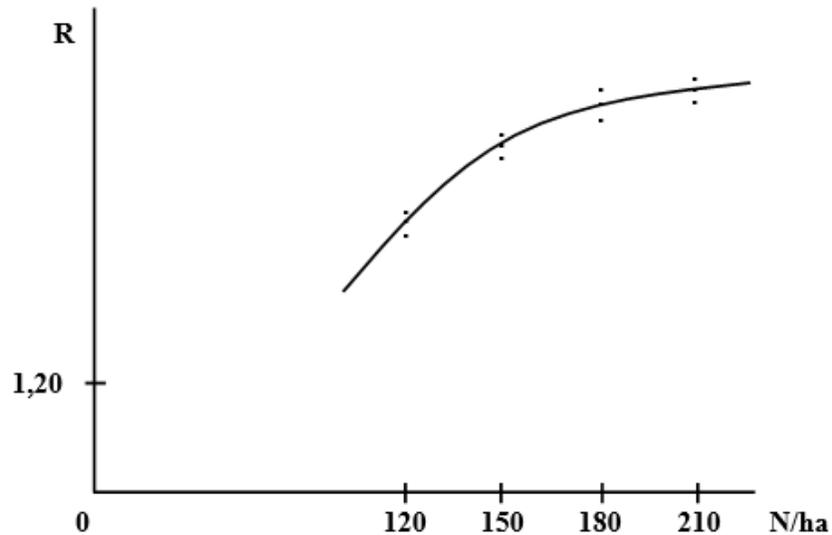


Figura 52. Grafica de los datos de campo en Maíz

Fuente: Elaboración propia

Hay que notar que no se experimentó para valores menores de 120 kg/ha de nitrógeno y por lo tanto no es posible captar el comportamiento del rendimiento para esos niveles de uso de nitrógeno.

La expresión general de esta función es una cuadrática de la forma:

$$R = a + bN + cN^2$$

Una función específica elaborada a partir de datos experimentales como los puntos de la gráfica anterior, toma una expresión como la siguiente:

$$R = 1200 + 8N - 0.02N^2$$

Si se consideran precios de venta del grano a 3 pesos el kilogramo y el precio de nitrógeno a 6 pesos por kg. La relación de precios indica que se requiere un producto marginal de $6/3 = 2$ para que el incremento en rendimiento sea el necesario para pagar los 6 pesos que cuesta el kg de nitrógeno.

Derivando la ecuación anterior (expresión algebraica del producto marginal) e igualando esa derivada a 2, se tiene

$$dR/dN = 8 - .04 N = 2$$

$$N = (8-2)/.04$$

$$N = 150$$

Nivel de nitrógeno por hectárea que corresponde a la máxima ganancia de la inversión en nitrógeno.

Por su parte el nivel de uso de nitrógeno que genera la máxima producción por hectárea, se obtiene igualando la derivada anterior (función de producto marginal) a cero y se despeja N.

$$dR/dN = 8 - .04N = 0$$

$$N = 8/.04$$

$$N = 200$$

Con la observación de que después del nivel de uso de 150 kg de nitrógeno, cada uno de los 50 kg adicionales incrementa la producción en cantidades menores de los 2 kg de grano necesarios para pagar su costo.

3.3.5 Utilidad práctica de la función de producción cúbica

Las utilidades o aprovechamientos, que nos esta función, se mencionan a continuación:

- Se puede aplicar a cada uno de los otros nutrientes que normalmente acompañan al uso de nitrógeno como fósforo y potasio.
- Puede aplicarse a densidad de siembra medido en kg/ha de semilla.
- Es totalmente adaptable a uso y prueba de diferentes láminas de riego.
- Se aplica con algunas adaptaciones mínimas a optimización en fechas de corte de especies forestales.
- Se aplica con éxito y resultados ventajosos para los productores, en los procesos de engorda de diferentes especies ganaderas.

3.3.6 Desventajas de otro tipo de función de producción

Para destacar la importancia del presente tema, se puede comparar las ventajas que tiene esta función cúbica con respecto a funciones alternativas, la comparación resulta más importante si se hace con la función de producción Cobb–Douglas: la más mencionada y preferida en los textos de teoría económica.

Esta función tiene la siguiente expresión algebraica:

De forma general donde Y es producción en función de dos insumos variables X_1 y X_2 , una constante multiplicativa A y donde α y β son las elasticidades producto (incremento porcentual en Y , por cada unidad porcentual de aumento en X_1 y X_2 respectivamente)

$$Y = AX_1^\alpha X_2^\beta$$

La expresión de la función propiamente Cobb-Douglas es donde la suma de los exponentes es igual a la unidad, es decir, $\alpha + \beta = 1$. (Alguna otra donde se presente los siguientes dos casos que $\alpha + \beta < 1$ o $\alpha + \beta > 1$, se denomina Función de Producción tipo Cobb-Douglas);

$$Y = AX_1^\alpha X_2^{1-\alpha}$$

Donde $0 < \alpha < 1$

Su expresión gráfica del producto Y, para diferentes niveles de utilización de X_1 manteniendo constante el nivel de uso de X_2 es la siguiente:

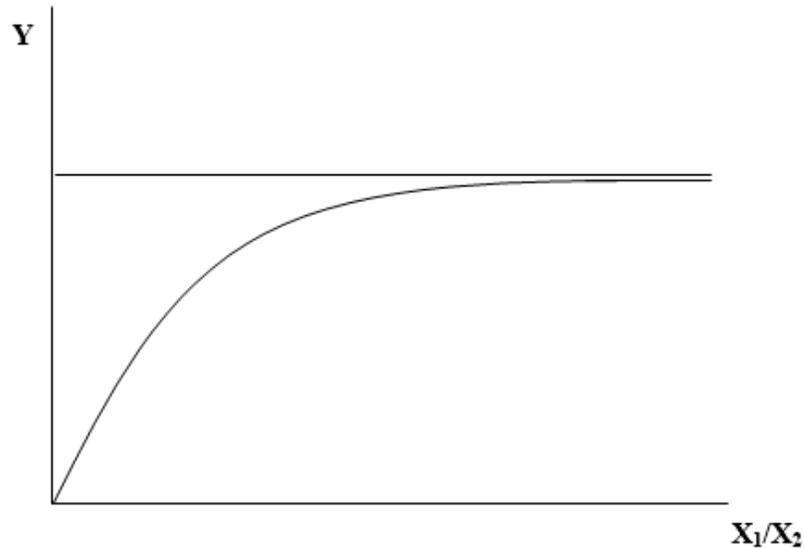


Figura 53. Representación de la Función Cobb-Douglas

Fuente: Elaboración propia

Razones que justifican la afirmación de que una función cúbica es mucho más apropiada para su aplicación en agricultura que la Cobb-Douglas, son las siguientes:

- Para su construcción, se procesa con los logaritmos de las variables: insumo y producto. Esta característica la hace partir del origen (no tiene ordenada al origen)
- No permite identificar el punto de máxima eficiencia, la recta que parte del origen y es tangente a la función, se da en el origen de la función.
- Presenta una sola concavidad desde el origen y en toda su extensión, lo que significa que sólo presenta productos marginales decrecientes.

- Por la característica anterior, no permite identificar el límite de la etapa I y la II en la función de producción, que representa el nivel de máxima eficiencia, de suma importancia para la recomendación a productores agrícolas con capital limitado.
- No tiene ningún valor predictivo de producción a obtener, con niveles pequeños de los recursos productivos, porque normalmente se construye con valores altos de producción y sus correspondientes niveles también altos, de uso de recursos.
- Cada recurso variable presenta un sólo valor de elasticidad de la producción (incremento porcentual en la cantidad producida cuando se aumenta en uno por ciento el uso del insumo variable). La optimización requiere de más complicados procesos de álgebra que la función cúbica, para realizar el análisis marginal.
- No tiene valor máximo de la función para cualquier valor de uso del insumo variable, presenta un producto marginal positivo (no permite identificar el nivel donde se presentan las disminuciones de producto total por exceso de insumo (nitrógeno, aplicado al suelo)).

3.3.7 Ventajas de producir en el Máximo Producto Medio

- Menos Agroquímicos por lo tanto es menor contaminación: Una menor cantidad de productos químicos hará que los niveles de contaminación disminuyan en gran medida, contribuyendo así como el medio ambiente. Con el uso de otros insumos mejorados, disminuye el uso de contaminantes (menor cantidad de nitrógeno).

- Menor Inversión, lo que genera disminución de costos: El emplear menor cantidad de insumos se traduce en una inversión menor, lo cual disminuye los costos de producción y se obtiene competitividad.
- Mayor productividad ya que se obtiene mayor eficiencia de la inversión: Cada peso invertido será más eficiente y por lo tanto la productividad incrementará.
- Menor costo unitario del producto lo que da mayor competitividad en el mercado: Al producir a un costo más bajo, se tendrá una ventaja en los precios, que da como resultado una competitividad mayor al llegar al mercado.
- Con el uso de otros insumos mejorados, disminuye el uso de contaminantes (se requiere menor cantidad de nitrógeno)

3.3.8 Ventajas de producir en el punto de Máxima Ganancia

- Máxima ganancia, aumenta el ingreso debido a la relación precio del insumo/precio del producto.

3.3.9 Ventajas de producir en el Máximo Rendimiento por Hectárea

- Máxima eficiencia del recurso tierra: Se aprovecha en mejor medida la tierra disponible, aunque la desventaja que se observa, es que el desgaste que sufre esta es mayor, ya que se deteriora más.
- Mayor producción de alimentos por unidad de tierra: Se aumenta la cantidad de alimentos producidos es decir, hay una mayor oferta de alimentos.

3.4 Cultivo del Maíz

3.4.1 Origen e Historia

Muchos investigadores afirman que el maíz y el teosintle se originaron en México, estos han coexistido desde la antigüedad y ambas especies presentan una diversidad muy amplia (Wheatherwax, 1955; Iltis, 1983; Galinat, 1988; Wilkes, 1989). El hallazgo de polen fósil y de mazorcas de maíz en cuevas de zonas arqueológicas respalda dicha posición. Mientras que los cereales del Viejo Mundo tienen variedades silvestres que se preservan en la naturaleza, el maíz es conocido solamente por la especie cultivada (*Zea mays*). Desde el siglo pasado diversas teorías han sido expuestas para explicar el origen y la evolución del maíz, la más popular de ellas acepta al teocintle de Chalco (*Zea mays ssp mexicana*) como el antecesor directo del maíz.

En los años 80, Iltis propone una teoría en la cual establece que el teocintle se convirtió en maíz en un solo paso macroevolutivo (saltacionista). Recientes estudios genéticos de recombinación efectuados por Doebley parecen descartar la hipótesis de Iltis y reforzar la teoría tripartita de Mangeldroff.

El maíz (*Zea Mays*) es una planta gramínea anual, originaria de México, introducida en Europa durante el siglo XVI, después de la invasión española. Actualmente es el cereal de mayor producción en el mundo, por encima del trigo y el arroz.

Su nombre científico proviene del griego Zeo, que significa vivir y de la palabra Mahíz, palabra que los nativos del Caribe, llamados Taínos, utilizaban para nombrar al grano. El maíz es llamado de diferentes maneras, dependiendo del país y la cultura, en América es conocido como elote, choclo, jojoto, sara o zara. En las diferentes regiones de España es llamado danza, millo, mijo, panizo, borona u oroña.

3.4.2 Descripción y Preparación del Terreno

En suelos de barrial se debe realizar un barbecho, uno o dos pasos de rastra, un paso con “Land Plane” y finalmente trazar los surcos con 75 a 80 centímetros de separación o surco angosto a 50 centímetros. En suelos de aluvión se realiza un barbecho, uno o dos rastreos, un paso con “Land Plane” y posteriormente se trazan los bordos para el riego de inundación. Una vez que el terreno “dé punto”, se borran los bordos, se rastrea y se siembra en plano, en surcos que pueden ser de 76 a 80 centímetros de separación o surcos angostos a 50 centímetros de acuerdo con la variedad que se utilice. Para abaratar los costos de producción y disminuir la compactación del suelo se deben dar el mínimo de pasos necesarios con cualquier implemento.

3.4.3 Características fisiológicas

Botánicamente, el maíz (*Zea mays*) pertenece a la familia de las gramíneas y es una planta anual alta dotada de un amplio sistema radicular fibroso. Es una especie que se reproduce por polinización cruzada y la flor femenina (elote, mazorca, choclo o espiga) y la masculina (espiguilla) se hallan en distintos lugares de la planta. Las panojas -a menudo, una por tallo- son las estructuras donde se desarrolla el grano, en un número variable de hileras (12 a 16), produciendo de 300 a 1 000 granos, que pesan entre 190 y 300 g por cada 1 000 granos. El peso depende de las distintas prácticas genéticas, ambientales y de cultivo. El maíz es a menudo de color blanco o amarillo, aunque también hay variedades de color negro, rojo y jaspeado. Hay varios tipos de grano, que se distinguen por las diferencias de los compuestos químicos depositados o almacenados en él.

Las variedades cultivadas fundamentalmente para alimentación comprenden el maíz dulce y el reventador, aunque también se usan en buena medida el maíz dentado, el amiláceo o harinoso y el cristalino; este último también se utiliza para pienso. El maíz normal inmaduro en la panoja es objeto de gran consumo, hervido o tostado. El maíz harinoso es un grano con endospermo blando que se emplea mucho como alimento en México, Guatemala y los países andinos. El maíz de tipo dentado tiene un endospermo calloso y vítreo a los lados y en la parte posterior del grano, en tanto que el núcleo central es blando. El maíz de tipo cristalino posee un endospermo grueso, duro y vítreo, que encierra un centro pequeño, granuloso y amiláceo. (FAO, 2002).

La semilla del maíz es nutritiva y sus compuestos son los siguientes:

-Ácido graso monosaturado

-Ácido graso saturado

-Calcio

-Calorías

-Glucosa

-Potasio

-Proteínas

-Sodio

-Vitamina A

3.4.3.1 Híbridos o Variedades

Los híbridos y variedades que se sugieren para suelos de barrial y aluvión, así como sus principales características agronómicas aparecen en el siguiente cuadro:

Cuadro 5. Clases de híbridos de Maíz.

HÍBRIDOS	CICLO VEGETATIVO (días a)		ENDOSPERMO
	FLORACIÓN	COSECHA	
30P49, 3030W, P2946, CEBU, MF-8798, PUMA, BISONTE, DEKALB 2022, DEKALB 2020, DEKALB 2024, NB-10,	75-90	175-190	BLANCO
N83N5, 31G66, 30G54, 31G98, TG-8535	75-90	175-190	AMARILLO

Fuente: SIAP. 2014

3.4.3.2 Época, método y densidad de siembra

Para el ciclo otoño-invierno es recomendable sembrar del primero de noviembre al 31 de diciembre, tanto en suelos de aluvión como barrial, mientras que para el ciclo primavera-verano es del primero de junio al 31 de julio.

En suelos de barrial se puede sembrar en seco o en húmedo, con surcos de 76 a 80 centímetros de separación o en surcos angostos a 50 centímetros y en el lomo del mismo, procurando que la semilla quede de tres a cinco centímetros de profundidad dependiendo si la siembra es en húmedo o en seco. Para las variedades de altura normal, el grano se debe depositar cada 20 centímetros y las de porte bajo (enanas) cada 15 centímetros. La distancia entre semillas se reducirá si el porcentaje de germinación es menor de 80-85%. Después de la siembra, aplíquese el riego de nacencia o “trasporo”. En suelos de aluvión, siémbrese a “tierra venida”, en el fondo del surco, y a cinco centímetros de profundidad. La separación entre surcos y matas es la misma que para suelos de barrial. (SAGARPA, 2015)

Para variedad o híbrido de planta normal, se necesitan alrededor de 25 kilogramos de semilla por hectárea. Se deben dejar nueve plantas por metro cuadrado, es decir, 90 mil por hectárea independientemente del método de siembra que se utilice.

Es necesario mantener el cultivo libre de maleza durante los primeros 40 días de su desarrollo, mediante prácticas como deshierbes, cultivos o aplicación de herbicidas. En suelos de aluvión se sugiere dar uno o dos pasos con niveladora, y abrir el surco con arado de doble vertedera. La aplicación de herbicida se puede efectuar en forma total o banda de 30 centímetros en la hilera del cultivo. En el segundo caso la cantidad de herbicida se reduce a una tercera parte.

3.4.3.3 Fertilización

Uno de los factores de mayor influencia en la productividad de maíz es la fertilización, cuya dosis debe basarse en los requerimientos del cultivo, en el análisis de suelo y la eficiencia de la planta para aprovechar el fertilizante (Etchevers, 1997; FAO, 1997). Los productores de maíz en México, por lo general no toman en cuenta estos factores, por lo que es común que apliquen cantidades excesivas de fertilizante o cantidades menores de las requeridas por el cultivo, lo que afecta el rendimiento en ambos casos. Cuando se realizan aplicaciones excesivas de fertilizante, caso particular del Nitrógeno, además de incrementar los costos de producción, puede ser una fuente de contaminación a los mantos acuíferos.

El manejo eficiente de la nutrición en el cultivo de maíz es uno de los pilares fundamentales para alcanzar rendimientos elevados sostenidos en el tiempo y con resultados económicos positivos, no sólo en el mismo cultivo de maíz, sino en los que participan en su rotación, ya que por los elevados volúmenes de rastrojos

dejados por el maíz, facilitan el reciclado de nutrientes y mejoran las condiciones físicas del suelo, y cuando el cultivo sucesor es soya, mejora la eficiencia de la fijación simbiótica del N.

Este manejo nutricional se vuelve trascendental para optimizar el resultado de los sistemas de explotación de maíz. Sin embargo, a nivel de establecimiento agropecuario, la fertilización representa una tecnología más que debe ser integrada dentro del proceso de producción. Por ello, para que la utilización de herramienta impacte favorablemente en los resultados técnico-económicos de la empresa, es fundamental que exista un proceso de planificación y programación de la producción, dentro del cual se deberá definir un plan de fertilización.

Es muy importante que las estrategias de fertilización se definan a nivel de hectárea al igual que se hace, por ejemplo, con la elección de los híbridos utilizados y/o o el manejo de herbicidas. Cada hectárea posee características intrínsecas provenientes de la interacción compleja del tipo de suelo, antecedentes (historia agrícola, cultivos antecesores, manejo de labores, etc.) y el efecto del clima local. Asimismo, la unidad de producción no debería ser el cultivo sino la rotación en su conjunto. Dentro de este esquema, el rendimiento esperado es el factor determinante de todo el programa de fertilización.

Los métodos para definir la dosis de la fertilización que requiere el cultivo se basan principalmente en el enfoque de agroecosistemas (Volke, 1987), que consiste en establecer experimentos de campo distribuidos en la región con diferentes cantidades de fertilizante, a partir de los cuales se generan las dosis regionales óptimo-económicas. Estas dosis regionales, se pueden complementar si se toma en

cuenta el requerimiento nutricional del cultivo en base a un rendimiento esperado, la cantidad de nutrientes nativa del suelo y la eficiencia de recuperación del fertilizante. En suelos de barrial se debe aplicar de 220 a 250 kilogramos de nitrógeno por hectárea en el primer cultivo. En suelos de aluvión aplíquense 80 kilogramos de nitrógeno por hectárea en pre siembra y 60 en el primero o segundo cultivo. Sin embargo, para una meta de rendimiento de 10 t/ha, en general es necesario aplicar en algunos suelos 250 kg de N/ha, mientras que en otros 350 o más kg de N/ha. Estas dosis pueden variar de acuerdo a resultados del análisis de suelos.

3.4.3.4 Riegos

De acuerdo con el autor, el maíz requiere una temperatura cálida, entre 25 y 30°C, y mucho sol para desarrollarse bien. Sufre después de los 30°C o con temperaturas frías menores a 8°C. Además necesita mucha agua, alrededor de cinco milímetros de lluvia o riego diarios, en promedio.

Cada etapa de su desarrollo demandará diferentes cantidades de agua. Cuando brota de la tierra, requiere menos cantidad; basta sólo una humedad constante. Sin embargo, en la fase de crecimiento deberá tener suficiente agua, siendo la floración el periodo más importante, porque de ello dependerá la producción obtenida.

El maíz se adapta muy bien a todo tipo de suelos, especialmente los ligeramente ácidos, profundos, ricos en materia orgánica, con buen drenaje para no permitir encharcamientos que asfixiarían las raíces.

El número total de riegos depende de las condiciones climáticas y del tipo de suelo. En los de aluvión se requieren de tres a cuatro riegos de auxilio y en suelos de barrial cuatro riegos de auxilio. La longitud de los surcos recomendada es entre 200 m y no más de 250 m. Es importante evitarle a la planta déficit de humedad durante los

períodos críticos de su desarrollo como son: germinación y crecimiento inicial, floración o espigamiento y estado lechoso del grano.

3.4.3.5 Plagas y Enfermedades

Respecto a las enfermedades, en el maíz se presentan diversas enfermedades, y su manifestación dependerá de la susceptibilidad de los híbridos o variedades, así como del manejo agronómico, en especial de un mayor número de plantas por hectárea, que al interaccionar con las condiciones climáticas, pueden incrementar la severidad de éstas. Las plagas que se presentan en este cultivo, así como su control, se enlistan en el siguiente cuadro:

Cuadro 6. Principales plagas de Maíz en México.

PLAGAS	PRODUCTO E INGREDIENTE ACTIVO	DOSIS/HA	ÉPOCA DE APLICACIÓN
Trips <i>Frankliniella</i> sp.	Ometoato 400 gia FOLIMAT	0.8 L	Cuando haya de cinco a diez trips por planta
	Dimetoato 400 gia PERFEKTHION	1.0 L	
Chapulín <i>Melanoplus</i> sp. Pulga saltona <i>Epidrix</i> spp.	Paratión metílico 600 gia PARATION METILICO 3%	20 kg	Al encontrar de cinco a diez individuos por planta
	Carbaril 1200 gia SEVIN 80 PH	1.5 kg	
Gusano cogollero <i>Spodoptera frugiperda</i> (J.E. Smith) Gusano elotero <i>Heliothis</i> spp.	<i>Bacillus thuringiensis</i> MVP XENTARI	3.0 L 1.0 L	Cuando se registra de 15 a 25% de plantas dañadas.
	Clorpirifos 380 gia LORSBAN 480 EM DISPARO	0.75 L 2.0 L	
	Clorpirifos + Pemetrina		
	Permetrina 170 gia TALCORD 340	0.5 L	
	Metomilo 446.25 gia LANNATE LV	1.5 L	
	Lamda cyalotrina 21 gia KARATE ZEON 5SC	0.3 L	
	Cyflutrin 37.5 gia BAYTROID 050 CE	0.75 L	
	Permetrina 0.4 gia POUNCE 0.4 G	10-12 kg	
	Cypermtrina 50 gia ARRIVO 200 CE	0.25 L	
	Thiodicarb 375 gia LARVIN	1.0 L	
Gusano barrenador <i>Diatrea grandiosella</i> Dyar	Permetrina 170 gia TALCORD 340 AMBUSH 34 Permetrina 0.4 gia POUNCE 0.4 G	0.5 L 10-12 kg	Igual que gusano cogollero.
Pulgón <i>Rhopalosiphum maidis</i> Fitch	Pirimicarb 250 gia PRIMOR 50 WG	0.5 L	Quando se encuentre 15% de plantas atacadas.
	Carborufan 875 gia FURADAN 350 L	2.5 L	
Gusano trozador (varios géneros)	Carborufan 875 gia FURADAN 350 L	2.5 L	Si se encuentra de una a tres plantas trozadas por metro lineal.
	Thiodicarb 525 gia SEMEVIN 350 SA	3.5 L	
Araña roja <i>Tetranychus</i> sp	Dimetoato 400 gia Propargite 1440 gia		Antes del llenado de grano con 20% de follaje infestado

Fuente: INIFAP (2010)

3.4.3.6. Cosecha

La cosecha puede realizarse de forma manual, en la denominada “pizca”, separando las mazorcas de la planta para llevarlas a un secado final, almacenarlas y desgranarlas. Otra forma de recolección es por medio de máquinas, donde se obtiene una cosecha limpia, sin pérdidas de grano y más sencilla. Para las mazorcas se utilizan cosechadoras de remolque o con tanque incorporado. Inmediatamente después se secan con aire caliente y se pasan por un mecanismo desgranador. Una vez extraídos los granos se vuelven a secar para eliminar la humedad.

Hay otras cosechadoras más grandes y modernas que abarcan hasta ocho surcos y van triturando los tallos de la planta. La mazorca también se tritura y la cosecha se limpia por un dispositivo de dos tamices. En la recolección, lo recomendable es que las mazorcas se encuentren bien secas. (SIAP, 2012)

La cosecha se debe realizar cuando el grano tenga un contenido de humedad de 14 a 18 %, lo que ocurre del primero de mayo al 30 de junio en siembras de otoño-invierno; y del 15 de noviembre al 30 de diciembre con siembras de primavera-verano.

3.4.3.7 Aplicaciones y usos

El maíz tiene tres usos, en primer lugar, como alimento se puede utilizar todo el grano, o bien se puede elaborar con técnicas de molienda en seco para obtener un número relativamente amplio de productos intermedios, por ejemplo tortillas, sémola en escamas y harina fina. En segundo lugar como forraje, en los países desarrollados más del 60 por ciento de la producción se emplea para elaborar piensos compuestos para aves de corral, cerdos y rumiantes; en los últimos años,

aun en los países en desarrollo en los que el maíz es un alimento fundamental, se utiliza un porcentaje más elevado de la producción como ingrediente para la fabricación de piensos. Y por último, se destina como materia prima en la industria, específicamente el germen y la cubierta seminal el primero se utiliza para obtener aceite comestible de elevada calidad mientras que la cubierta seminal, o pericarpio, se emplea fundamentalmente como fuente de fibra dietética (Earll et al. 1988; Burge y Duensing, 1989).

La molienda húmeda es un procedimiento que se utiliza fundamentalmente en la aplicación industrial del maíz, aunque el procedimiento de cocción en solución alcalina empleado para elaborar las tortillas (el pan fino y plano de México y otros países de América Central) también es una operación de molienda húmeda que sólo elimina el pericarpio (Bressani, 1990).

3.4.4 El Mercado Interno del Maíz en México

El maíz es el cultivo más importante de México, forma parte importante en la dieta de los mexicanos; está presente en la elaboración de más de 4 mil productos (almidón, fructuosa, aceites, cartón, chocolates, biocombustible, alimento animal); ocupa poco más de la mitad de la superficie sembrada del país; representa casi una tercera parte del valor de la producción agrícola; existen poco más de 3 millones de productores de este grano, y es el cuarto productor mundial después de Estados Unidos, China y Brasil (CEFP, 2010).

Desde hace varios años el mercado del maíz en México ha sido deficitario, la producción no alcanza a cubrir la demanda nacional por lo que se ha tenido que incrementar la importación de este producto y particularmente de Estados Unidos. La producción del grano en México tiene dos variedades, la blanca y la amarilla. La

primera es para el consumo humano, mientras que la segunda variedad, se destina para el consumo animal y a la industria de almidones y cereales.

La mayor importación de maíz es resultado de los bajos niveles de producción, la poca competitividad con que se cuenta y el inadecuado empleo de los insumos en la producción del mismo, ya que este cultivo se ha visto afectado no sólo por la apertura comercial derivada del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), sino también por factores estructurales internos como los altos costos de los insumos agrícolas, tales como semilla, fertilizantes, herbicidas, la limitada infraestructura de riego para elevar los rendimientos, la falta de acceso al crédito por parte de los productores de este cultivo, así como la concentración del mercado en muy pocas empresas privadas, la escasa investigación científica en este campo y los limitados subsidios que otorga el Gobierno a este sector comparado con los que se otorgan a los productores de Estados Unidos y de los países europeos.

En México hay dos ciclos productivos en el cultivo del maíz: el ciclo primavera/verano y el otoño/invierno, en el primer ciclo los principales estados productores son: Jalisco, Estado de México, Michoacán, Chiapas y Puebla. Aproximadamente entre el 90 y el 95 por ciento de la producción nacional se cultiva en el ciclo primavera-verano que se cosecha en los meses de octubre a diciembre. Por su parte, la producción del ciclo otoño/invierno se concentra básicamente en los estados del norte del país como Sinaloa, Sonora y Chihuahua, la cosecha de este ciclo se realiza durante los meses de marzo y septiembre; particularmente durante este ciclo, casi el 40 por ciento de la superficie sembrada cuenta con sistemas de riego. El principal productor de maíz es Sinaloa.

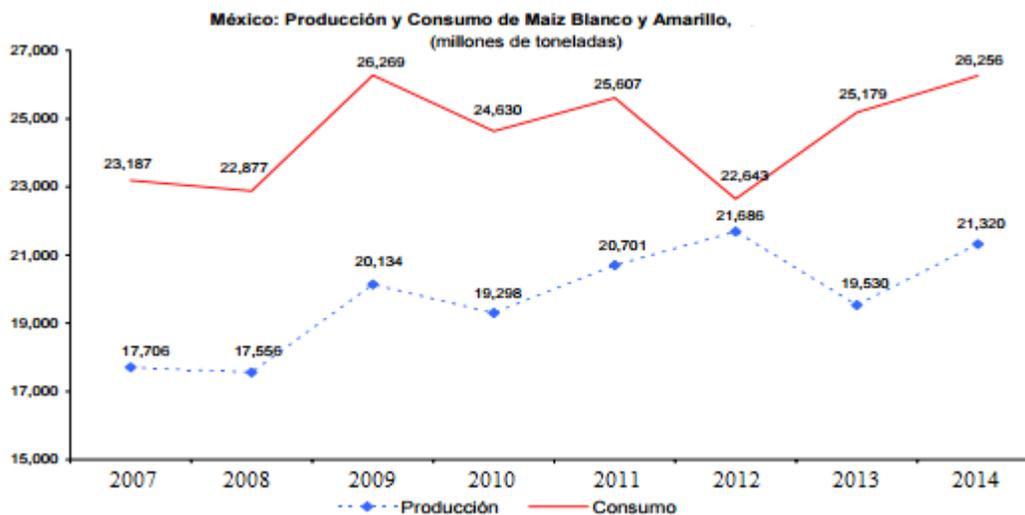


Figura 54. Producción y Consumo de Maíz Blanco y Amarillo

Fuente: Elaborado por el Centro de Estudios de las Finanzas Públicas de la H. Cámara de Diputados, con datos de la SAGARPA Y Secretaría de Economía

3.4.5 Importación de Maíz

Desde finales de la década de los ochenta, México es ya un importador neto de maíz, desde entonces las importaciones han observado una tendencia creciente y particularmente la originaria de Estados Unidos. Las importaciones de maíz de México desde Estados Unidos desde 1994 se rigen por el sistema de cupos y el arancel-cuota de importación por sobre-cupo de acuerdo a lo previsto en el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN). Es decir, con el propósito de proteger a los bienes agropecuarios más sensibles a las importaciones, México negoció con sus socios comerciales de América del Norte el establecimiento de aranceles-cuota para los principales productos agrícolas de especial interés y sensibilidad para cada país, para los cuales se estableció un régimen de importación libre de arancel hasta cubrir determinada cuota, que una vez que se hubiera

rebasado se aplicaría el cobro de elevados aranceles para frenar su importación; para el caso de México dichos aranceles se irían desgravando gradualmente en un plazo de 15 años hasta su eliminación definitiva. Desde la entrada en vigor del TLCAN el 1º. de enero de 1994, el arancel cuota de importación del maíz (frac. arancelaria 1005.90.99) se ha reducido de 206.4 por ciento ad-valorem en 1994 a 18.2 por ciento en 2007, para terminar totalmente su desgravación a partir del 1º. de enero de 2008, cuando se podrá importar libremente maíz de Estados Unidos sin límite de cuota. Justamente en el 2008 que fue el primer año en que el maíz quedó liberado en el comercio entre los dos países, de acuerdo con el TLCAN, pasó de un periodo de transición de aranceles a la importación de 206% en 1994 a 18.2% en el 2007. Por su parte, la cuota de importación se ha venido incrementando de un máximo autorizado de 2.5 millones de toneladas en 1994 a 9 millones 515,000 toneladas de maíz en 2012, de las cuales 87.9% provino de EU; el resto de Sudáfrica y Brasil; estas importaciones rompieron récord, luego de cinco años de la eliminación de los aranceles en el comercio de este producto con Estados Unidos (EU), cuyo gobierno estima que esas mismas compras volverán a registrar máximos históricos en los ciclos posteriores.

La economía mexicana ha sido autosuficiente en maíz blanco (harinero), pero tiene un déficit de maíz amarillo, variedad usada en los sectores pecuario e industrial. Con el libre mercado, México importó 10.5 millones de toneladas de maíz para el ciclo 2013-2014. (El Economista, 2015)

De acuerdo a proyecciones que se han realizado para los próximos periodos indican que México producirá 21.7 millones de toneladas, un consumo de 30.5 millones de toneladas y un inventario de 1.03 millones de toneladas.

Los agricultores mexicanos se ven desfavorecidos por sus pequeñas parcelas en promedio, los bajos precios internacionales del maíz, la dependencia externa de abonos y los mayores apoyos que reciben sus congéneres estadounidenses, quienes además usan transgénicos.

Del 2008 al 2012, EU se mantuvo como el mayor exportador de maíz mundial, con una participación de 27.3% en el 2012, cuando sus ventas globales alcanzaron 9,708 millones de dólares. En este periodo, sus envíos anuales a México de ese grano promediaron 8 por ciento. En cuanto al empleo, más de un tercio del total sectorial se ubica en la producción de maíz.



Figura 55. Cosechadora de Maíz Amarillo

Fuente: John Deere.com.mx

3.4.6 Perspectivas del Mercado Mundial del Maíz

Si bien, la escasez de maíz blanco en el mercado interno se ha llegado a asociar al acaparamiento de algunos productores y distribuidores del grano, originando la especulación y los incrementos en el mercado internacional de maíz, la reducción en

la producción mundial de éste responde a la escasez en la cosecha de los principales países productores y al crecimiento en la demanda de biocombustibles. Durante 2010, el encarecimiento del maíz ha sido por la creciente demanda del grano para la producción de etanol, en particular en Estados Unidos, Al inicio del decenio, la cantidad de maíz utilizada para la producción de etanol en ese país era del 6 por ciento de su producción interna, actualmente alcanza el 20 por ciento, es decir, aproximadamente 55 millones de toneladas.

En México, el precio del maíz, el cual se rige por los precios internacionales, para el año 2015, de acuerdo al Reporte de Precios de Contado en Mercados Internacionales de Productos Físicos, el Maíz Blanco No.2 se cotizó en 153.14 dólares/tonelada (ASERCA, 2015), mientras que el maíz Amarillo No. 2 de Exportación en 157.87 dólares /tonelada (Item, 2015).

Los precios de los cereales, en particular del trigo y del maíz se han incrementado de manera importante en la última década. El incremento de los precios internacionales se debe, entre otros factores, a las condiciones de oferta y demanda actuales en los mercados del maíz. La fuerte reducción de la producción de maíz ha provocado en Estados Unidos un balance interno más ajustado y un aumento en los precios. Argentina, por su parte, suspendió los permisos de exportación debido a la caída de la oferta interna por los elevados volúmenes de exportación que se venían realizando, lo que también afectó al mercado mundial considerando que Argentina es uno de los principales países exportadores de este grano. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) se espera que el costo de las importaciones para los países en desarrollo aumente 5.0 por ciento respecto al año anterior (FAO, 2015), principalmente por el aumento de los

precios más que por el volumen de las importaciones. En el mercado de futuros las cotizaciones del maíz han aumentado considerablemente en los últimos meses, hasta alcanzar su nivel más alto en los últimos diez años en previsión de que la escasez en los Estados Unidos fuera mucho mayor de lo que los mercados habían previsto.

3.5 Investigaciones o trabajos previos o de otros autores

(Yunker 2008), en su trabajo, publicó que una función de producción de un factor suele tener un rango de rendimientos crecientes, seguido por una etapa de rendimientos decrecientes y posteriormente por resultados negativos. La forma más sencilla de representar tal situación es la ecuación cúbica o también llamada polinomio de tercer grado, que puede ser representada por (Yunker, 2008):

$$Y = a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3$$

Donde Y corresponde al producto, X es el factor de producción, a_0 corresponde al intercepto y a_1 , a_2 son parámetros positivos y a_3 es negativo).

(Yunker 2008) señala que aunque la función de producción cúbica suele estar presente en los libros teóricos, presenta escasa aplicación en la investigación económica profesional, mencionado la dificultad de trabajar matemáticamente con polinomios.

Un antiguo ejemplo de la utilización de este tipo de función en producción animal puede ser encontrado con Francisco (1969), quien estudio la producción de carne de ovinos en la Patagonia Argentina, utilizando como variables explicativas, los métodos de pastoreo, las estaciones de pastoreo y las cargas utilizadas.

Un ejemplo más reciente es el que reporta Kunene et al.(2009) donde se busca predecir el peso vivo de ovejas Zulu a través de la relación con la medida de perímetro torácico y la altura a la cruz. Siguiendo con la utilización de los datos en este tipo de modelo, la función de producción obtenida corresponde a:

$$PL = -33388.3 + 223,153 \times NO - 0,265251 \times NO^2 + 0.000141079 \times NO^3 + 120.453 \times CO - 0.0603641 \times CO^2 - 0.000148179 \times CO^3.$$

STATGRAPHICS Plus - StatFolio sin Nombre - [Regresión Múltiple - PL]

Archivo Edición Gráficos Descripción Comparación Dependencia Avanzado SnapStats!! Ver Ventana Ayuda

Etiquetas: Fila:

Análisis de Regresión Múltiple

Variable dependiente: PL

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor
CONSTANTE	-33388,3	17202,1	-1,94095	0,0641
NO	223,153	98,2531	2,27121	0,0324
NO^2	-0,265251	0,186111	-1,42523	0,1670
NO^3	0,000141079	0,0000968487	1,45669	0,1582
CO	120,453	176,661	0,681832	0,5019
CO^2	-0,0603641	0,720711	-0,0837563	0,9339
CO^3	-0,000148179	0,000828974	-0,17875	0,8596

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	4,626E10	6	7,70999E9	30,40	0,0000
Residuo	6,086E9	24	2,53583E8		
Total (Corr.)	5,2346E10	30			

R-cuadrado = 88,3735 porcentaje
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 85,4669 porcentaje
Error estándar de est. = 15924,3
Error absoluto medio = 11352,8
Estadístico de Durbin-Watson = 1,67658 (P=0,1081)
Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,0719953

Figura 56. Salida del modelo de regresión lineal cúbica

Fuente: STATGRAPHICS Plus

CAPÍTULO IV. RECOMENDACIONES PARA FUTURAS INVESTIGACIONES

La implementación de un diseño experimental como el aquí planteado, requiere de algunas consideraciones, las cuales se enuncian a continuación:

- Terreno disponible en una región representativa y propia para la agricultura
- Insumos que se emplearan en el experimento y contar con ellos, lo cual requiere de una inversión para montar el experimento.
- Considerar el fenómeno llamado “Efecto Orilla”, el cual se da en este tipo de experimentos y consiste en aplicar condiciones iguales en ambos extremos u orillas y eso mismo en la parte del centro, para medir el efecto causado por las diferentes dosis de nitrógeno y la susceptibilidad a la que está expuesta la semilla por estar en las orillas, y de este modo se pueden medir ambos efectos por separado.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

Del presente trabajo, se concluye lo siguiente:

- La función cúbica es un instrumento de primera importancia para los cursos de economía agrícola, en la formación de agrónomos y otros profesionales que se desempeñan en el sector agrícola, ganadero o forestal.
- La función de producción cúbica permite identificar el comportamiento de los rendimientos por hectárea y aporta el criterio para definir si los niveles de insumos variables empleados, son escasos, apropiados o en exceso, dependiendo de si las elasticidades son mayores que 1, menores que uno o negativas.
- La función cúbica permite generar recomendaciones a productores de baja capacidad financiera de inversión que conducen a mayores niveles de producción sin que tengan que realizar inversiones adicionales para lograrlo. (Identificación de uso de insumos en su máxima eficiencia)
- Permite identificar los niveles de uso de insumos variables para obtener la máxima ganancia de la inversión en esos insumos y las dosis por encima de esta, para discriminarlas en el uso de insumos en la agricultura.
- Permite conocer los niveles de uso de insumo que generan el máximo rendimiento por hectárea y los que resultan utilizados en exceso, con respecto al que pueden generar la máxima producción. (Sólo aplicable al objetivo de maximizar la producción por unidad de superficie sembrada).

- La función de producción tipo Cobb-Douglas, por su parte sólo permite conocer si los productores están empleando los niveles de insumos variables de forma escasa, apropiada o en exceso, dependiendo de si las elasticidades promedio son mayores que 1, menores que uno o negativas.
- La relación implícita en este proceso de optimización es que el incremento en producto que genera una unidad de nitrógeno debe tener el mismo valor que el precio de un kg de nitrógeno. En otras palabras, el producto marginal de una unidad de nitrógeno debe ser igual a la relación de precios (Precio del nitrógeno / precio del grano).
- Este punto tampoco es posible identificarlo en la función Cobb-Douglas porque esta función no presenta valor máximo, por lo tanto tampoco tiene productos marginales negativos que corresponden a la “quema del cultivo” por exceso de nitrógeno. Que si bien la parte de productos marginales negativos no es de importancia ni de utilidad alguna, si se requiere saber el punto donde inician para no llegar hasta ese nivel de uso de nitrógeno.
- Si buscamos la máxima inversión, entonces optamos por la máxima producción. Mientras que si buscamos la máxima eficiencia entonces elegiremos el máximo producto medio
- El diseño experimental generado en coordinación con productores facilita la comprensión de los resultados esperados. El diseño experimental elaborado con participación de productores de maíz de Sinaloa, conduce a una mayor confianza de los productores en los resultados a obtener en producción y selección de dosis de fertilizante recomendables.

CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA

Se consultó la siguiente bibliografía:

- Andrade Simón. 2005. "Diccionario de Economía". Editorial Andrade. Tercera Edición. Pág. 253.
- Arias, F.2008. Economía de la producción. Guía de estudio. Valle del Yeguaré, Universidad Zamorano.HN.
- Boyer, C. 2007. Historia de la matemática. Madrid: Alianza Editorial, S.A.
- Castro Gómez L. "*Función de Producción*". DCSE – UAAAN. Durango, México.
- Chiang, A. 1993. "Métodos Fundamentales de Economía Matemática", Ed. McGraw-Hill.
- Chiavenato Idalberto. 2004. "Introducción a la Teoría General de la Administración", McGraw-Hill Interamericana, Séptima Edición, Pág. 52.
- De Cultura S.A. 1999. "Diccionario de Marketing". Edición 199. Pág. 106.
- Estrin, S. y Laidler, D. (1995). "Microeconomía". 4ª ed., Madrid, Prentice Hall,
- Fernández De Castro, J. Y Tugores J. (1992). "Fundamentos de microeconomía". 2ª ed., Madrid, McGraw-Hill.
- Fernández de Castro, F. y Tugores, J. 1997. "Microeconomía".
- Frank, R. H. (2005). "Microeconomía y conducta". 5ª ed., Madrid, McGraw-Hill,
- Golosina, L. I. 1980. Álgebra Lineal y algunas de sus aplicaciones. Moscú: Editorial Mir.
- Hey, J. D. (2004). "Microeconomía intermedia". Madrid, McGraw-Hill, 2004.
- Hishleifer, Jack. (1992). "Microeconomía, Teoría y Aplicaciones". 5a Ed. México Prentice Hall. 610 p.

- Katz, M.L. y Rosen, H.L. (1994). "Microeconomía". Buenos Aires, Addison-Wesley Iberoamericana.
- Koontz Harold y Wehrich Heinz. 2004. "Administración Un Perspectiva Global", McGraw-Hill Interamericana, 12a. Edición, Pág. 14
- Laidler, D. y Estrin S. (1993). "Introducción a la microeconomía". 3ª ed., Barcelona, Antoni Bosch.
- Maddala, G. y Miller E. (1991). "Microeconomía". Madrid, McGraw-Hill.
- Mialaret, G. (1994). Las Matemáticas: cómo se aprenden y cómo se enseñan. Madrid: Editorial ISS.
- Mankiw Gregory. 2004. "Economía". McGraw-Hill Interamericana de España. Tercera Edición. Pág. 4.
- Mari, Miguel Ángel. (1992). "Principios de Economía". Argentina: Ediciones Macchi: 407 p.
- Miller, R. y Meiners, R. 1990. "Microeconomía"
- Nicholson, Walter. (2004). "Microeconomía Intermedia y sus Aplicaciones". 8a Ed. Colombia. Mc Graw Hill. 615 p.
- Oliveira Da Silva Reinaldo. 2002. "Teorías de la Administración". International Thomson Editores, S.A. de C.V. Pág. 20.
- Ortega, R. y Flores L. 1999. Agricultura de precisión. p13-46. En R. Ortega y L. Flores (ed.) Agricultura de Precisión: Introducción al manejo sitio - específico. Ministerio de Agricultura, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, CRI Quilamapu-Chile.
- Pashigian B. P. (1996). "Teoría de los precios y aplicaciones". Madrid, McGraw-Hill.

- Peinado Guevara V.M. 2013 “*Producción y Comercialización de Maíz blanco en el valle de Guasave, Sinaloa*” Sinaloa, México.
- Portillo Vázquez. M. 2010 “*La Función Cúbica de Producción en la Agricultura*” Chapingo, México.
- Robbins Stephen y Coulter Mary. 2005. “Administración”. Pearson Educación. Octava Edición, Págs. 7.
- Salvatore, Dominick. Salvatore. (1995). “Microeconomía”. Mc Graw Hill. 436 p. Colombia.
- Samuelson Paul y Nordhaus William. 2002. “Economía”. McGraw Hill Interamericana de España. Decimoséptima Edición. Pág. 4.
- Sawyer J.E. 1994. Concepts of variable rate technology with considerations for fertilizer application. J. Prod. Agric. 7 :195-201.
- Toro, P., García, A., Aguilar, C., Acero, R., Perea, J., Vera, R. 2010. “Modelos econométricos para el desarrollo de funciones de producción”. Vol. 1. Universidad de Córdoba.
- Tucker, Irvin B. (2001). “Fundamentos de Economía”. 3a Ed. México Thomson. 550 p.

Así mismo se consultaron los siguientes sitios web oficiales:

- Agrosíntesis 2011. Sitio Web:
<http://www.agrosintesis.com/component/content/article/49-front-page/432-fecha-de-siembra-de-maiz-en-tamaulipas>

- Banco Central de Costa Rica, División Económica, Departamento de Investigaciones Económicas die-pi-06-95/r. “Estimación de una función de producción: caso de Costa Rica”. Sitio web:
http://www.bccr.fi.cr/investigacioneseconomicas/crecimientoeconomico/Estimacion_funcion_produccion_caso_costa_rica.pdf
- FAOSTAT. Sitio Web. Consultas sobre estadísticas en el maíz.
- Periódico El Economista. Roberto Morales. “Rompen récord importaciones mexicanas de maíz”, sitio web:
<http://eleconomista.com.mx/industrias/2014/01/07/rompen-record-importaciones-mexicanas-maiz>
- Real Academia Española. Sitio web, Diccionario de la Lengua Española - Vigésima Segunda Edición, en:
http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=eficiencia
- Reporte diario de precios de contado en diversos mercados internacionales. Maíz. “Precios correspondientes al 28 de Diciembre de 2015 (2:23:25 PM) (Dlr/Ton)”. Sitio web:
<http://www.infoaserca.gob.mx/fisicos/fisico.asp?de=maiz>
- SIAP. Sitio Web. Estadísticas en Maíz de producción, consumo, balanza comercial. Series anuales.
- SIACON. Sitio Web. Estadísticas en Maíz de producción, consumo, cifras
- Tecnología en la producción en :
http://www.eciem.edu.co/Contenido/2_produccion_y_calidad.html
<http://teklojia.blogspot.mx/2009/06/concepto-e-importancia.html>