



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS ECONÓMICO ADMINISTRATIVAS

“ANÁLISIS COMPARATIVO DE PRODUCTIVIDAD ENTRE DOS TECNOLOGÍAS APLICADAS AL CULTIVO DE NOPAL”

TESIS

Como requisito parcial para obtener el grado de:

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

Presenta:

Castro Robles Verónica Lizeth

Bajo la supervisión de:

José Antonio Ávila Dorantes, Doctor.

Chapingo, Estado de México, noviembre de 2023



APROBADA



ANÁLISIS COMPARATIVO DE PRODUCTIVIDAD ENTRE DOS TECNOLOGÍAS APLICADAS AL CULTIVO DE NOPAL

Tesis realizada por **Castro Robles Verónica Lizeth** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

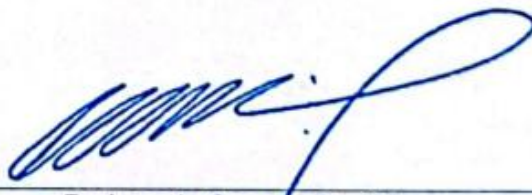
MAESTRO EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA Y DE LOS RECURSOS NATURALES

DIRECTOR:



Dr. José Antonio Ávila Dorantes

ASESOR:



Dr. Ignacio Caamal Cauich

ASESOR:



Dr. Gerónimo Barrios Puente

Contenido

1	Introducción general	14
1.1	Problema de investigación.....	14
1.2	Antecedentes.....	15
1.3	Justificación	16
1.4	Objetivo general.....	17
1.4.1	Objetivos específicos	17
1.5	Hipótesis.....	18
1.6	Metas	18
2	Revisión de literatura	19
2.1	Terminología económica.....	19
2.1.1	Productividad	19
2.1.2	Productividad Agrícola y sus factores	19
2.1.3	Medidas de productividad	20
2.2	Aportaciones científicas	24
2.3	Conclusiones	29
2.4	Literatura citada	30
3	Análisis de productividad del cultivo de nopal en una comunidad rural	37
3.1	Resumen	37
3.2	Introducción	39
3.3	Materiales y métodos.....	40
3.4	Resultados y discusión	42
3.4.1	Función producción tipo Cobb-Douglas	44

3.4.2	Óptimos parciales de producción	46
3.5	Conclusiones	49
3.6	Literatura citada	50
4	Tecnología ecoinnovadora en el cultivo de nopal: un análisis de productividad.....	53
4.1	Resumen	53
4.2	Introducción	55
4.3	Materiales y métodos.....	61
4.4	Resultados.....	67
4.4.1	Caracterización de los productores	67
4.4.2	Unidades de producción y el sistema de cultivo.....	68
4.4.3	Función producción tipo Cobb-Douglas	70
4.4.4	Óptimos parciales de producción	72
4.5	Conclusiones	75
4.6	Literatura citada	76
5	Análisis comparativo de productividad entre dos tecnologías aplicadas al cultivo de nopal	80
5.1	Resumen	80
5.2	Introducción	82
5.3	Materiales y métodos.....	88
5.4	Resultados y discusión	90
5.4.1	Caracterización de los productores	90
5.4.2	Unidades de producción y el sistema de cultivo.....	94

5.4.3	Función producción tipo Cobb-Douglas	96
5.4.1	Óptimos parciales de producción	99
5.5	Conclusiones	102
5.6	Literatura citada	103

LISTA DE CUADROS

<i>Cuadro 1 Comparación de resultados de las variables de estudio.</i>	26
Cuadro 2 Resultados de la estimación del modelo logarítmico	44
Cuadro 3 Óptimos parciales de los factores	46
Cuadro 4 Producciones parciales	46
Cuadro 5 Comparación entre los datos estimados y los observados	47
Cuadro 6 Resultados de estimación del modelo logarítmico.	70
Cuadro 7 Matriz de correlaciones parciales	71
Cuadro 8 Precios	73
Cuadro 9 Relación insumo-producto.....	73
Cuadro 10 Valores promedio de los factores	73
Cuadro 11 Óptimos de los factores.....	74
Cuadro 12 Producción óptima.....	74
Cuadro 13 Comparación entre los datos estimados y los observados	74
Cuadro 14 Comparación de resultados de las variables de estudio	84
Cuadro 15 Fuente: Diferencias entre tecnologías.....	96
Cuadro 16 Coeficientes estimados	97
Cuadro 17 Valores promedio de los factores por tecnología	99
Cuadro 18 Óptimos parciales de producción	100
Cuadro 19 Comparación del insumo mano de obra.....	100
Cuadro 20 Comparación del insumo plaguicidas.....	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Edad de los productores por rangos de edad.	67
Figura 2 Proceso productivo del nopal.	69
Figura 3 Género de los productores por tipo de tecnología.	91
Figura 4 Edad de los productores.	92
Figura 5 Escolaridad de los productores.	93
Figura 6 Proceso productivo del nopal.	95
<i>Figura 7 Producción estimada.</i>	<i>99</i>

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1 Cuestionario aplicado en la recolección de datos.	107
---	-----

ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
CDMX	Ciudad de México
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CORENADR	Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural
et al.	y otros
etc.	etcétera
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
INEG	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PEA	Persona Económicamente Activa
PSAR	Plan Semillas de Alto Rendimiento
RAE	Real Academia Española de la Lengua
RAN	Registro Agrario Nacional
SADER	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural
SAGARPA,	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
VAR	Variedades de Alto Rendimiento

DEDICATORIAS

Le dedico este triunfo a todos y cada una de las personas que me alentaron a cumplir uno de mis sueños más preciados, especialmente a:

Mi mamá, quien con sus acciones llenas de amor y entrega me dieron la fuerza para seguir, los motivos para no rendirme, que con su espíritu incansable me enseñó a no rendirme, eres uno de los pilares más importantes en mi vida.

Mi padre por brindarme su apoyo y comprensión desde el momento en que se enteró de este sueño, por comprometerse tanto como yo con mi trabajo de investigación, quien no se detuvo hasta conseguir cada una de las entrevistas necesarias para la realización de mi estudio.

Mi querido hermano Raúl por ayudarme, motivarme y hacerme sentir que no estoy sola, por apoyarme en todas mis decisiones. Eres el mejor hermano que Dios me pudo dar, una persona admirable, imparable, lleno de metas y sueños, que estoy segura, cumplirás algún día.

Mi hermano Yovani y mi cuñada Alejandra por ser un ejemplo de dedicación y perseverancia, por apoyarme en todo momento y sobre todo porque gracias a ustedes conocí uno de los amores más puros y sinceros que pueden existir en el mundo: el amor por mis sobrinos Eithan Tlacaélel y Noah Saidh

Mis hermanas, Areli y Julieta, por creer en mi cuando ni siquiera yo lo hacía, por motivarme y escucharme a cada instante; nunca terminaré de agradecerles todo el apoyo que me han brindado.

Mis abuelos, tíos, primos y familia en general por el apoyo moral con el que conté todos los días desde que inicié este enorme proyecto, gracias por hacerme sentir orgullosa de esta gran familia.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) por creer en mí y brindarme los recursos necesarios, tanto académicos como económicos, durante todo el periodo en el que realicé mi maestría, sin los cuales el día de hoy no podría culminar mis estudios de posgrado.

Le doy las gracias infinitamente al Dr. José Antonio Ávila Dorantes quien además de ser mi director de tesis es un gran profesor y mentor; aprecio demasiado el gran compromiso reflejado en mi proyecto de investigación, y valoro aún más el tiempo dedicado a explicarme cada una de las cosas que resultaban complicadas de entender, sin su paciencia y asesoramiento no hubiese podido terminar este trabajo, sin duda es una de mejores personas que pude conocer.

Agradezco a cada uno de mis profesores que con dedicación y empeño me compartieron sus conocimientos con el fin de aportar un poco de aprendizaje a mi carrera académica y profesional.

Finalmente doy gracias a todos los productores de nopal que decidieron ayudarme al dedicarme un poco de su valioso tiempo y compartir conmigo su conocimiento y experiencias, sin ellas no se hubiera podido llevar a cabo esta investigación.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Castro Robles Verónica Lizeth

Fecha de nacimiento: 18 de agosto de 1995

Lugar de nacimiento: Ciudad de México

CURP: CARV950818MDFSBR05

Profesión: Licenciada en administración

Cédula profesional: 11368070



Desarrollo académico

Bachillerato tecnológico en el área de fisco-matemáticas realizado en el Centro de Estudios Tecnológicos industrial y de servicios N°167 “hermanos Flores Magón”, durante el periodo: 2010 – 2013, carrera cursada: informática.

Licenciatura en Administración perteneciente a la División de Ciencias Sociales y Humanidades de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, generación: 2013 – 2017.

:

RESUMEN GENERAL

ANÁLISIS COMPARATIVO DE PRODUCTIVIDAD ENTRE DOS TECNOLOGÍAS APLICADAS AL CULTIVO DE NOPAL¹

El aumento de las necesidades alimentarias ha provocado la creación de nuevas tecnologías para intensificar la producción agrícola; sin embargo, la mayoría de estos procesos contribuyen al deterioro ambiental, principalmente, por el uso indiscriminado de agroquímicos; por ello se ha convertido en una necesidad creciente la implementación de nuevas formas de producción más amigables con el medio ambiente, que no afecten la productividad de los productores. En algunas comunidades rurales se han implementado tecnologías ecoinnovadoras que ayudan a mitigar los inconvenientes causados por la agricultura moderna. El objetivo es evaluar la productividad obtenida mediante una tecnología convencional y una ecoinnovadora, a través de sus respectivas funciones de producción, en parcelas dedicadas al cultivo de nopal, en los ejidos de San Francisco Tecoxpa, con la finalidad de conocer cuál de las dos tecnologías ofrece una mayor productividad. Se utilizó una metodología mixta en la que se aplicó un cuestionario a los agricultores, y los datos obtenidos se modelaron en una función producción tipo Cobb-Douglas; además se emplea el método de óptimos parciales de los factores con la finalidad de encontrar los óptimos de producción. Los resultados indican que los factores de mayor impacto en la productividad de la tecnología convencional son la mano de obra, los fertilizantes y los plaguicidas, mientras los de la tecnología ecoinnovadora son únicamente la mano de obra y los plaguicidas; además muestran que ambas tecnologías tienen rendimientos crecientes a escala; sin embargo, los campesinos ecoinnovadores obtienen una producción mayor en comparación con los convencionales. El método de óptimos parciales revela que ninguno de los recursos está siendo optimizado. El estudio concluye que la tecnología ecoinnovadora es una mejor opción para los campesinos dedicados al cultivo de nopal, y se recomienda optimizar el insumo mano de obra.

Palabras clave: tecnología convencional, tecnología ecoinnovadora, función de producción, óptimos parciales.

¹Tesis de Maestría en Ciencias en Economía Agrícola y de los Recursos Naturales, Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Castro Robles Verónica Lizeth
Director de Tesis: Dr. José Antonio Ávila Dorantes

GENERAL ABSTRACT

COMPARATIVE ANALYSIS OF PRODUCTIVITY BETWEEN TWO TECHNOLOGIES APPLIED TO THE CULTIVATION OF NOPAL²

The increase in food needs has caused the creation of new technologies to intensify agricultural production; However, most of these processes contribute to environmental deterioration, mainly due to the indiscriminate use of agrochemicals; therefore, it has become a growing need to implement new forms of production that are more environmentally friendly, which do not affect the productivity of producers. In some rural communities, eco-innovative technologies have been implemented to help mitigate the drawbacks caused by modern agriculture. The objective is to evaluate the productivity obtained through a conventional and an eco-innovative technology, through their respective production functions, in plots dedicated to the cultivation of nopal, in the ejidos of San Francisco Tecoxpa, in order to know which of the two technologies offers higher productivity. A mixed methodology was used in which a questionnaire was applied to the farmers, and the data obtained were modeled in a Cobb-Douglas type production function; in addition, the method of partial optimums of the factors is used in order to find the production optimums. The results indicate that the factors with the greatest impact on the productivity of conventional technology are labor, fertilizers and pesticides, while those of eco-innovative technology are only labor and pesticides; they also show that both technologies have increasing returns to scale; however, eco-innovative farmers obtain a higher production compared to conventional farmers. The partial optimum method reveals that none of the resources are being optimized. The study concludes that eco-innovative technology is a better option for farmers dedicated to the cultivation of nopal, and it is recommended to optimize the labor input.

Keywords: conventional technology, eco-innovative technology, production function, partial optimums.

² Master of Science Thesis in Agricultural and Natural Resources Economics, Universidad Autónoma Chapingo, Mexico.

Author: Castro Robles Verónica Lizeth

Thesis Director: Dr. José Antonio Ávila Dorantes

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 Problema de investigación

De acuerdo con el Banco Mundial (2022) la agricultura es esencial para el crecimiento económico ya que ayuda a aumentar los ingresos y reducir la pobreza, sin embargo la agricultura moderna es uno de los principales problemas que contribuyen al deterioro ambiental debido al uso indiscriminado de agroquímicos que provocan la contaminación del agua, suelo y aire, además esta técnica de producción provoca pérdida de la biodiversidad y amenaza la salud de las personas. Si bien esta forma de producción es altamente rentable, las consecuencias ambientales a largo plazo serán fatales si no se realiza ninguna acción que ayude a mitigar los problemas causados por esta actividad, debido a esto se ha convertido en una necesidad creciente la implementación de nuevas formas de producción agrícola que sean más amigables para el medio ambiente sin afectar la productividad de las cosechas.

En México algunos pequeños productores agrícolas han implementado tecnologías ecoinnovadoras basadas en prácticas agroecológicas que ayudan a mitigar los inconvenientes causados por la agricultura moderna, por ello la presente investigación busca hacer una evaluación comparativa de dos diferentes técnicas utilizadas en la agricultura: la convencional y una ecoinnovadora con el fin de evaluar la productividad de cada una. Para ejemplificar lo anterior se llevó a cabo un estudio de caso en una comunidad semi-rural de la Ciudad de México que cuenta con las características necesarias para poder realizar el análisis.

El trabajo de campo se llevó a cabo en las tierras ejidales dedicadas al cultivo de nopal en el pueblo de San Francisco Tecoxpa localizado en la Alcaldía Milpa Alta de la Ciudad de México.

1.2 Antecedentes

La producción de nopal verdura en la alcaldía Milpa Alta comenzó aproximadamente en 1938 por un vecino de la localidad, sin embargo, fue hasta la década de los sesenta cuando se experimentó un crecimiento importante en la superficie destinada al cultivo del nopal, derivado de la sustitución de cultivos como el maguey pulquero, maíz, frijol, haba, chícharo y avena forrajera (González Quintero, 1976, pág. 9). El cambio de plantaciones fue consecuencia principalmente de factores meteorológicos ya que la reducción de las lluvias afectó la productividad y rentabilidad de los cultivos de temporal, además las plantaciones de nopal requieren menos cuidados y producen durante todo el año, cualidades que lo convierten en un cultivo mucho más rentable.

El auge en el cultivo de nopal dio paso a un crecimiento económico en la demarcación, actualmente esta actividad agrícola, heredada de generación en generación, es una fuente transcendental de ingresos para las familias y el eje de la economía de esta región, prueba de ello son las 2,234 hectáreas que en el 2020 se registraron con sembradíos de nopal, en ese mismo año la producción rebasó las 205 toneladas convirtiendo a Milpa Alta en el principal productor de la Ciudad de México ya que aporta más del 90% de la producción capitalina (SADER, 2021).

Actualmente, en la región se aplican dos tipos de tecnologías en la producción del nopal, una basada en la forma convencional de producción en la cual se utiliza en mayor proporción maquinaria y agroquímicos; la otra tecnología (ecoinnovadora) consiste en un conjunto de prácticas agroecológicas aplicadas a la producción.

La variedad de nopal utilizada por los productores de la comunidad de Tecoxpa pertenece a la especie *Opuntia ficus-indica* Miller (Ochoa & Barbera, 2018, pág. 6) una especie de cardo espinoso originario de México, de la familia de las cactáceas, conocidas como cactus o cactos (SADER, 2020). Kiesling & Metzling (2018) describen esta variedad como plantas de hábito arbustivo o arbóreo, con troncos bien desarrollados que les permiten adaptarse a zonas con poca disponibilidad de agua y temperaturas extremas. Por su parte Luna, *et al.* (2013) menciona que los cladodios o pencas de esta especie son tallos de cutícula gruesa y cerosa con forma

ovalada y aplanada de color verde opaco, cuya longitud puede llegar hasta los 50 cm, su ancho varía entre los 20 o 30 cm, con grosor de hasta 2 cm.

Esta variedad destaca por sus propiedades nutritivas, químicas, industriales, ecológicas, medicinales y simbólicas, este vegetal es utilizado como verdura, forraje, o para la extracción de frutas como el xoconostle y la tuna (Diversidad natural y cultural/ Alimentos y bebidas/ Nopales, 2021).

Dentro de la amplia variedad de nutrimentos que aporta el nopal se encuentran el calcio, hierro, potasio, vitamina A, Vitamina B1, B2,B3,B6, y vitamina C, entre otros (Morales de León, *et al.* 2016). Entre las propiedades medicinales más relevantes del nopal se considera: la reducción del colesterol, control del exceso de ácidos gástricos, protección de la mucosa gastrointestinal, prevención de úlceras, limpia el colon, ayuda a eliminar toxinas provocadas por el alcohol y el humo del cigarro, es auxiliar para el control y prevención de la diabetes e hiperglucemia (Romero Valdovinos, 2018), además de ser considerado antiinflamatorio, cicatrizante, antiviral, anticáncer, protector del ADN, anti genotóxico, neuroprotector y hepatoprotector (Azucena Nazareno, 2018).

Los sectores industriales beneficiados con la explotación de los nopales abarcan desde la industria alimentaria y sus industrias asociadas, hasta la industria de la construcción, pasando por la farmacéutica, cosmética, textil y de energía, (Soria Melgarejo , 2015). También se realizan artesanías, colorantes textiles naturales, biocombustibles, bioplásticos y biosorbentes de contaminantes, pintura vinílica en conjunto con esmaltes e impermeabilizantes.

1.3 Justificación

Actualmente la producción de nopal es una de las actividades más importantes para la economía de la comunidad, muestra de esto es que más del 95% de sus parcelas son utilizadas para la producción agrícola de ese cultivo, por lo tanto, la relevancia de la presente investigación radica en el ámbito social pues al finalizar este proyecto

se contará con la capacidad de realizar la mejor recomendación en cuanto a la técnica de producción con mejor viabilidad para los productores.

En el aspecto académico la investigación es pertinente porque permite conocer el proceso de análisis para la productividad de dos técnicas de producción diferentes empleadas en un mismo cultivo, además este trabajo servirá como base para futuras investigaciones en distintos niveles académicos y/o laborales. De igual manera de este estudio permitirá conocer más a fondo el tema de la agricultura de los pequeños productores en una comunidad semi-rural que se resiste a la urbanización y al cambio de su principal fuente de ingresos.

Por último, se pretende concientizar a las personas que lean el presente documento sobre la importancia de los pequeños productores agrícolas en la sociedad y en la economía, ya que forman parte del pilar fundamental en la alimentación de las personas.

1.4 Objetivo general

Hacer una evaluación comparativa entre el proceso de producción convencional empleado en la producción del nopal y otro ecoinnovador alternativo, en los ejidos de San Francisco Tecoxpa, a través de sus funciones de producción respectivas, con la finalidad de comparar la productividad de ambos procesos.

1.4.1 Objetivos específicos

1. Caracterizar la forma de producción del nopal de los productores convencionales, a través de la obtención de su función de producción, para evaluar los pros y contras de dicha tecnología.
2. Caracterizar la forma de producción del nopal de los productores ecoinnovadores, a través de la obtención de su función de producción, para evaluar los pros y contras de dicha tecnología.
3. Evaluar ambas tecnologías, a través de su comparación, con el fin de determinar la más eficiente en cuanto a su productividad.

1.5 Hipótesis

La productividad obtenida por la implementación de una tecnología ecoinnovadora en el cultivo de nopal es por lo menos igual o mayor a la productividad obtenida por los agricultores que utilizan una tecnología convencional.

1.6 Metas

1. Obtener la función de producción de los productores convencionales
2. Obtener la función de producción de los productores ecoinnovadores
3. Definir en base a la productividad, la mejor tecnología

2 REVISIÓN DE LITERATURA

El presente capítulo se compone de cuatro partes, la primera proporciona una descripción general de la terminología económica acerca de la productividad, la productividad agrícola, así como de sus formas de medición, específicamente de la función de producción; la segunda parte expone las aportaciones principales de investigaciones realizadas recientemente en el ámbito de la productividad agrícola aplicadas a estudios de caso, la tercera presenta una breve conclusión del capítulo y la cuarta es una lista de la literatura citada.

2.1 Terminología económica

2.1.1 Productividad

De acuerdo con Real Academia Española de la Lengua (RAE, 2022) la productividad es la relación entre lo producido y los medios empleados; por su parte Fontalvo *et al.* (2017) la define a la productividad como una relación existente entre el volumen total de la producción y los recursos utilizados para alcanzar dicho nivel de producción.

2.1.2 Productividad Agrícola y sus factores

La productividad agrícola es el resultado de la acción progresiva o simultanea de diversos factores como por ejemplo las semillas, los abonos, las labores de cultivo o los trabajos de recolección, entre otros (Gómez Manzanares, Funciones de producción en la agricultura, 1964). Comúnmente los factores de la producción se dividen en tres categorías: tierra, trabajo y capital (Smith, 1776), los cuales son definidos por otros autores de la siguiente manera:

Tierra: Este factor representa todos los recursos naturales que son transformados para producir en bienes y servicios tales como las plantas, los animales, los minerales, el agua, el sol, el viento, el clima, etc. En general son todos aquellos recursos cuya creación no dependen del hombre (Secretaría de economía , 2010).

Trabajo: El factor trabajo es el esfuerzo de las personas, ya sea físico o mental, utilizado para la producción. El esfuerzo mental es el uso de las facultades mentales, la educación, la capacitación y la experiencia del individuo mientras que el esfuerzo físico son las actividades que requieren movimiento del cuerpo humano (Redondo Ramírez, Ramos González, Buchelli Lozano, & Marín Restrepo, 2017).

Capital: Conjunto de medios de producción que engloban al capital físico y el capital financiero. “El capital físico se compone de bienes utilizados en la transformación de las materias primas para dar como resultado bienes de consumo final. El capital financiero son los valores y el dinero necesarios para financiar las actividades productivas” (Scala Higher Education S.C., 2019).

Otros autores consideran a la tecnología como un factor determinante para la producción, ya que este factor puede modificar la forma en que operan los demás factores.

Tecnología. Es el último factor de producción y hace referencia al modo de producir los bienes y servicios de forma más eficiente (Astudillo Moya & Paniagua Ballinas, 2012), sin embargo, la tecnología tiene una definición bastante amplia y puede emplearse para referirse a “la cantidad total de conocimiento o ciencia que informa o mejora el proceso de producción” y no solo al software o hardware o bien una combinación de los dos (Ramírez, 2022).

En otras palabras, la productividad agrícola mide la eficiencia y la eficacia de los recursos empleados en los procesos de producción agrícola pues permite medir los cambios en la producción.

2.1.3 Medidas de productividad

Actualmente existen diferentes formas de medir la Productividad, una de ellas proviene de la eficiencia conjunta de todos los factores productivos utilizados, la cual se mide con el valor total del aporte agrícola conocido como índice de producción agrícola y la suma ponderada del valor de los insumos agrícolas

convencionales (índice de insumos agrícolas), esta relación también es conocida como la Productividad Total de los Factores (INEGI, 2020).

Otra forma de medir la productividad es la propuesta por Zepeda (2001), quien clasifica las medidas de productividad de forma parcial pues menciona que la cantidad de salida dependen de las unidades de una entrada de determinado factor, por ejemplo: “producto por unidad de tierra” utilizado comúnmente para medir el rendimiento o el “producto por persona económicamente activa (PEA) o por persona-hora agrícola” empleados para medir la productividad laboral. Cabe mencionar que medir el rendimiento ayuda a conocer el éxito de nuevas prácticas o tecnologías aplicadas a la producción, mientras que la medición de la productividad laboral permite hacer comparaciones entre sectores o economías, además de utilizarse como “indicador del bienestar rural o del nivel de vida, ya que refleja la capacidad de adquirir ingresos mediante la venta de bienes agrícolas o la producción agrícola” (Block, 1994). Por otra parte, Zepeda aclara que las medidas parciales pueden ser engañosas, puesto que no hay un indicador claro de por qué cambian.

Específicamente en el ámbito agrícola se han creado modelos económicos que ayudan a medir los cambios en la producción basados en la aplicación de los insumos o cambios en los procesos. La FAO (2001) hace referencia a tres formas diferentes de investigar el crecimiento de la producción:

- Números índice o técnicas de contabilidad del crecimiento
- Estimación econométrica de las relaciones de producción
- Enfoques no paramétricos.

Debido a la naturaleza del presente trabajo de investigación solo se explicará la Estimación econométrica de las relaciones de producción.

El enfoque econométrico se basa en “la unión de la teoría económica, la estadística y la matemática que busca establecer relaciones entre variables económicas para predecir el impacto de una o más variables sobre la variable denominada

“respuesta” (Gujarati, Wooldridge, Judge) como se citó en (Coronado Arango, 2011).

El principal interés del enfoque econométrico aplicado a la productividad agrícola es “expresar la teoría económica en una forma matemática (ecuaciones)” (Gujarati & Porter, Introducción, 2010, pág. 2), es decir, medir los cambios en la productividad a través de modelos matemáticos. Algunos de los modelos más comunes son la función de producción (enfoque primal) y la función de costos (enfoque dual) (Antle & Capalbo, 1998).

Función de producción

Como se mencionó anteriormente la función de producción es un modelo econométrico que “permite contrastar hipótesis y calcular intervalos de confianza para comprobar la fiabilidad del modelo estimado” (Zepeda, 2001), describe lo que sería técnicamente viable cuando se produce eficientemente; es decir, muestra la combinación de factores necesarios para obtener el nivel óptimo de producción. En su forma más básica se expresa de la siguiente manera:

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

Donde Q indica la cantidad producida que se puede obtener de una determinada cantidad de factores productivos (Henderson & Quandt, 1962) como la tierra(N), el trabajo(L), el capital(K) y la tecnología (T).

Sin embargo, debido a que en la actualidad se utiliza una amplia variedad de factores la ecuación anterior no es funcional, por ello, se utilizan distintos tipos de ecuaciones para tratar de ajustar la función a los datos empíricos obtenidos de encuestas económicas o de la investigación directa, una de las ecuaciones más utilizada es la función de Cobb-Douglas.

Función Cobb-Douglas.

La función de producción Cobb-Douglas expresa la relación entre la producción y los factores de la producción para realizar un trabajo eficiente y “estimar cambios

tecnológicos en los métodos de producción” (McKenzie, 2020), debido a estas características, dicha función es utilizada para caracterizar la producción agrícola de una región.

La expresión matemática de la función de producción está determinada por:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \alpha x_1^{\alpha_1} x_2^{\alpha_2} \dots \alpha_i x_i^{\alpha_i-1} \dots x_n^{\alpha_n}$$

donde Y representa la producción, x_i expresa cada uno de los factores de producción empleados y α corresponde a las elasticidades con respecto a cada factor (Gómez Manzanares, 1964).

Algunas de las características principales mencionadas por el autor citado anteriormente son:

1. Permite conocer la elasticidad total de la producción una vez obtenidas las elasticidades parciales, la cual está dada por:

$$\delta = \sum_{i=1}^n \alpha_i$$

2. Las productividades marginales de los distintos factores son decrecientes.
3. Permite saber el tipo de rendimientos a escala que tiene la producción. Al respecto Nicholson (2008, pág. 197) menciona que, si la sumatoria de $\alpha = 1$, la función tiene rendimientos constantes a escala, si la sumatoria de $\alpha > 1$, la función tiene rendimientos crecientes a escala, mientras que si la sumatoria de $\alpha < 1$ corresponde al caso de rendimientos decrecientes a escala.

Gómez Manzanares (1964) también menciona que:

[...] el mejor criterio para saber si se ajustan bien o mal a los datos de que se dispone es hallar el grado de bondad del ajuste por algún procedimiento estadístico de validez reconocida, tal como la prueba de X^2 , el coeficiente de correlación múltiple, etc.

2.2 Aportaciones científicas

Las investigaciones que se mencionan a continuación se muestran de forma resumida y permiten conocer los materiales y métodos aplicados en dichas investigaciones, así como sus hallazgos más importantes.

Sapkota y Bajracharya (2018) desarrollan un trabajo el cual tiene por objeto examinar la eficiencia de los recursos utilizados en la producción de papa en el distrito de Baglung ubicado en el Himalaya central. La hipótesis de este trabajo era que los pequeños agricultores, especialmente los que se encuentran en aldeas remotas, no están bien informados sobre los conocimientos técnicos, los insumos y el uso eficiente de los recursos, lo que provoca una producción y una productividad deficientes. Para la realización de esta investigación se entrevistaron a 120 hogares productores de papa; los datos obtenidos fueron procesados mediante una función de producción Cobb-Douglas estimada con apoyo del software Stata. Los resultados revelaron que los principales insumos, como mano de obra, toros, estiércol de granja y las operaciones interculturales fueron sobreutilizadas y necesitan disminuir en términos de costo en un 109, 177, 51 y 185%, respectivamente, para su óptima distribución; además se encontró que la semilla era subutilizada y se necesita incrementar su costo en un 70% para una asignación óptima. Los autores concluyeron que la capacitación inadecuada, la exposición, la brecha de conocimiento y el servicio de extensión para los agricultores en los sitios de estudio fueron las razones por las que los agricultores estaban usando sus recursos de manera ineficiente, es decir, corroboraron la hipótesis planteada. Finalmente, Sapkota y Bajracharya recomendaron a los agricultores recibir conocimientos técnicos adecuados adicionales para optimizar el uso de los recursos, lo cual ayudaría a aumentar la producción y el rendimiento de la producción de papa.

Bonilla Bolaños & Singaña Tapia (2019) realizaron una investigación cuyo objetivo fue “abordar las consecuencias de implementar programas gubernamentales enfocados exclusivamente al incremento de la productividad agrícola mediante el uso de insumos químicos y semillas mejoradas”. Para realizar el análisis se tomó

como caso de estudio los cultivos de maíz duro y el arroz inmersos en el Plan Semillas de Alto Rendimiento (PSAR) del gobierno ecuatoriano. La investigación fue llevada a cabo del 2014 al 2016 y se utilizaron métodos econométricos³ para proporcionar evidencia empírica que permitiera ampliar la discusión sobre los efectos de la política pública ecuatoriana en pro de la productividad agrícola, más allá del simple aumento de las toneladas producidas por hectárea. Los resultados obtenidos de “los cultivos de arroz y maíz duro evidencian la existencia de rendimientos marginales decrecientes correlacionados al uso de pesticidas y fertilizantes químicos”. Los autores encontraron que: “el desconocimiento de las cantidades de uso apropiadas para condiciones diversas de clima y suelo perjudica, en lugar de beneficiar, a la productividad agrícola”; “el uso de semillas de las Variedades de Alto Rendimiento (VARs) incrementa la productividad de los cultivos”; “[...] en el cultivo de arroz, los predios pequeños son más productivos que los grandes; en el caso del maíz, los predios grandes son más productivos que los pequeños”; “[...] los predios que producen bajo asociación resultaron ser menos productivos”, especialmente en “las parcelas en las que la mujer decidía sobre el modo de producción resultaron ser menos productivas” ya que ellas “privilegian la presencia de mayor biodiversidad de cultivos por unidad de producción, así como el mayor uso de semillas nativas”. En conclusión, Bonilla y Singaña mencionan que el uso de insumos químicos y variedades de semillas mejoradas no garantizan el incremento de la productividad agrícola y “tiene secuelas en factores como: biodiversidad, concentración de la tierra, asociatividad y rol de la mujer”.

Miranda Ramírez, *et al.* (2020) realizaron una investigación para comparar la productividad agrícola-económica sustentable y convencional de la papaya, en Michoacán, México con el objetivo de “comparar un modelo de sustentable contra un modelo de producción convencional, para identificar la producción agrícola y la relación beneficio-costos”. El experimento se llevó a cabo en el año 2015 en dos unidades experimentales, una con tratamiento sustentable y la otra con tratamientos convencionales. En cada parcela utilizada para la experimentación se realizó un

³ Estimados con información estadística de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua

análisis detallado de las características físicas y químicas del suelo, una fase de fertilización y un proceso para la sanidad y prevención-control de plagas. Para realizar el análisis estadístico se aplicaron las siguientes pruebas de: Levene⁴, Kolmogorov-Smirnov⁵, y Lilliefors⁶, además se llevó a cabo “un análisis de varianza multivariado para determinar las diferencias significativas de peso de fruto, número de frutos y sólidos solubles totales, en función de las condiciones de producción, empleándose un estadístico de prueba Pillai's, finalmente se compararon los resultados de cada una de las variables entre las condiciones de producción, mediante una prueba no paramétrica U de Mann-Whitney”. Los indicadores económicos utilizados para cumplir con el objetivo fueron el costo total de la inversión, el ingreso total, la relación beneficio costo, la rentabilidad y punto de equilibrio. Los resultados se expresan en el *Cuadro 1*:

Cuadro 1 Comparación de resultados de las variables de estudio.

Variables	Modelo Sustentable	Modelo Convencional
Peso de fruto	1.71 kg	2.20 kg
Frutos por planta	38.0	53,72
Costo total de inversión de USD	\$ 8736,83 ha-1	\$ 9262,03 ha-1
Relación beneficio costo	2.24	1.08
Punto de equilibrio	38.47 %	90.11 %

Fuente: elaboración propia en base a Miranda Ramírez et al. (2020).

Las conclusiones de este trabajo mencionan que “el modelo convencional resultó desfavorable económicamente, por lo que se sugiere mejorarlo gradualmente hasta llegar a ser rentable. El modelo sustentable mostró ser muy atractivo económicamente y tener aprovechamiento eficiente de los recursos naturales locales”.

Cancino Susan *et al.* (2021) llevaron a cabo un trabajo con el objetivo de “elaborar una función de producción del durazno para los agricultores localizados en la

⁴ Esta prueba se aplica para comprobar la homogeneidad de varianzas

⁵ Utilizada para corroborar las condiciones de parametricidad

⁶ Aplicada para verificar de la normalidad de las distribuciones

Provincia de Pamplona, Norte de Santander, Colombia, con la finalidad de estimar, mediante herramientas econométricas, la relación existente entre las cantidades de los factores de producción (capital y trabajo) y las cantidades producidas”; de igual forma pretendían “determinar la intensidad de los factores utilizados en el proceso productivo, así como, analizar los rendimientos a escala presentes en dicha función”. La metodología empleada fue de tipo descriptivo, correlacional y de corte transversal con datos procedentes de “una encuesta a productores de durazno de la provincia de Pamplona, Colombia”; dentro de dicha metodología se encuentra la función de producción tipo Cobb-Douglas. Los resultados del modelo econométrico “indican que los coeficientes del modelo propuesto fueron estadísticamente significativos y el mismo no se vio afectado por problemas de colinealidad, heteroscedasticidad y autocorrelación”, además “el modelo indica la existencia de normalidad de la perturbación aleatoria y [...] los coeficientes resultaron estadísticamente significativos”. En conclusión, la función Cobb-Douglas demuestra que “la producción de durazno presentó rendimientos decrecientes de escala e intensidad en el uso de mano de obra”, en otras palabras “la producción total aumentó en una proporción menor que los factores de producción”.

El trabajo presentado por Arif Billah (2022) mide la eficacia técnica de las fincas de arroz de Amon⁷ e identifica las variables clave que influyen significativamente en el grado de ineficiencia técnica de las fincas de muestra. En el estudio se empleó una técnica de muestreo aleatorio de etapas múltiples para elegir 200 granjas productoras de arroz Amon en el distrito de Jhenaidah que sirvieron como muestra del estudio de caso; además se utilizó la función de producción Cobb-Douglas para estimar la eficacia técnica de las fincas. Los resultados de dicha investigación indican que la región estudiada tiene un alto nivel de eficiencia técnica, los factores que influyen en el grado de ineficiencia de las fincas de arroz de Amon también se determinan utilizando un modelo de impacto de ineficiencia. Además, revela que los costos de mano de obra, el costo del riego, los costos de las semillas y el costo del arado son elementos cruciales que influyen en la eficiencia con la que se produce

⁷ Variedad de arroz que se cultiva en Bangladesh durante todo el año

el arroz Amon. La investigación concluye que las acciones para ampliar las oportunidades de crédito, educación y capacitación son esenciales para reducir la ineficiencia técnica de la producción de arroz en el área de estudio.

Verma *et al.* (2023), realizaron un trabajo con el objetivo de estimar el rendimiento de la producción por cultivo, determinando la elasticidad de la producción y midiendo el efecto del factor en la producción. Los cultivos incluidos en el estudio fueron: garbanzo, grammo verde y frijol negro. El documento se basó en datos secundarios de los factores responsables de los cambios temporales en la producción para el período 2000-01 a 2017-18. Se empleó la función de producción Cobb-Douglas para evaluar los efectos de varios insumos, semillas, fertilizantes, estiércol, riego, protección de plantas, mano de obra humana y del ganado en la producción cada uno de los cultivos. Los resultados más relevantes del estudio fueron los siguientes:

- Garbanzo
 - Los fertilizantes y las medidas fitosanitarias fueron positivamente significativas y podrían aumentar la producción empleando más unidades de estos insumos en la producción de garbanzo en el estado de Rajasthan.
 - La variable agua de riego ha sido sobreutilizada, es decir, un aumento en el agua de riego conduce a una disminución en la producción.
- Frijol negro
 - Las variables como semilla y agua de riego se encontraron con efecto positivo y significativo en la producción de grammo negro. Este dato indica que, a mayor uso de semilla y agua de riego, mayor producción de frijol negro.
 - Los aumentos en las medidas de protección de las plantas conducirían a una disminución de la producción.
- Grammo verde
 - Un aumento en fertilizantes y agua de riego conduciría a un aumento en la producción de grammo verde.

- El estiércol, el trabajo de los bueyes y las medidas de protección de las plantas resultaron ser factores que contribuyeron negativamente en la producción, pero fueron insignificantes.

La conclusión del artículo menciona que la gestión adecuada de insumos costosos requiere el fortalecimiento de los servicios de extensión, el uso juicioso de insumos como pesticidas y fertilizantes no solo ayuda a mantener bajos los costos de producción, sino que también mantendrá la salud del suelo y sustentará la productividad.

2.3 Conclusiones

Debido a que la agricultura es una actividad fundamental para las familias mexicanas porque les provee de alimentos, empleo y recursos económicos, es relevante tomar en cuenta las medidas de la producción agrícola, ya que además de determinar la cantidad óptima de los factores necesarios en el proceso productivo, permite focalizar los problemas que impiden la eficiencia de los recursos y por ende la eficiencia de la producción, además estos enfoques en las medidas de producción pueden servir como indicadores de pobreza y marginalidad.

Sin embargo, aunque existe una amplia variedad de conocimiento teórico respecto a las formas de medir la productividad, aun son desconocidas por los actores principales de la agricultura: los productores. Por ello es importante que los especialistas compartan su conocimiento de manera sencilla y entendible con las personas que no cuentan con el mismo nivel de educación que ellos.

Si bien el avance del conocimiento en el ámbito de la productividad agrícola ha permitido el desarrollo de nuevas investigaciones en todo el mundo, la aplicación a casos de estudio aun es muy limitada y poco conocida. En México, por ejemplo, durante los últimos seis años, han sido relativamente pocas las investigaciones de carácter científico que han empleado las funciones de producción para medir la productividad de determinado lugar o producto.

En el caso del nopal no se encontró ningún trabajo científico de enfoque econométrico que mida su productividad a través de las funciones de producción.

2.4 Literatura citada

- Redondo Ramírez, M. I., Ramos González, H. F., Buchelli Lozano, G. A., & Marín Restrepo, J. J. (2017). El productor. En M. I. Redondo Ramírez, H. F. Ramos González, G. A. Buchelli Lozano, & J. J. Marín Restrepo, *Fundamentos de Economía* (pág. 88). Risaralda: Centauro.
- Aguilar-Barojas, S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Salud en Tabasco*, 11(1-2), 333-338. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/487/48711206.pdf>
- Antle, J. M., & Capalbo, S. M. (1998). An Introduction to Recent Developments in production theory and productivity. En S. M. Capalbo, & J. M. Antle, *Agricultural productivity measurement and explanation* (págs. 17-95). Washinton: Resources for the Future.
- Astudillo Moya, M., & Paniagua Ballinas, J. F. (2012). Introducción al estudio de la economía. En M. Astudillo Moya, *Fundamentos de Economía* (págs. 23-33). México: UNAM.
- Ayala-Garay, A. V., Schwentesius-Rindermann,, R., de la O-Olán, M., Preciado-Rangel, P., Almaguer-Vargas,, G., & Rivas-Valencia1, P. (2013). Análisis de rentabilidad de la producción de maíz en la región de Tulancingo, hidalgo, México. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*, 10(4), 383. doi:<https://doi.org/10.22231/asyd.v10i4.132>
- Azucena Nazareno, M. (2018). Propiedades nutricionales y medicinales de frutos y cladodios de nopal. En FAO, & ICARDA, *Propiedades nutricionales y medicinales de frutos y cladodios de nopal* (pág. 229). FAO.
- Banco Mundial. (Abril de 2022). *Entendiendo la pobreza: Agricultura y alimentos* . Obtenido de Banco Mundial: <https://www.bancomundial.org/es/topic/agriculture/overview#:~:text=La%20agricultura%20puede%20ayudar%20a,dedican%20principalmente%20a%20labores%20agr%C3%ADcolas>.
- Billah, A. (2022). Measurement of Technical Efficiency of Paddy Farms at Jhenaidah District in Bangladesh: A Case Study by Using Cobb Douglas Production Function. *Journal of Pharmaceutical Negative Results*, 13(4), 652–658. doi:<https://doi.org/10.47750/pnr.2022.13.04.087>
- Block, S. A. (1994). A new view of agricultural productivity in Sub-Sahara Africa . *American Journal of Agricultural Economics*, 619-624.
- Bonilla Bolaños, A. G., & Singaña Tapia, D. A. (2019). La productividad agrícola más allá del rendimiento por hectárea: análisis de los cultivos de arroz y maíz duro en Ecuador. *La granja: Revista de ciencias de la vida*, 70-83. doi:<https://doi.org/10.17163/lgr.n29.2019.06>

- Bula, A. (2020). Importancia de la Agricultura en el Desarrollo. *Informes del Observatorio de la Universidad Nacional de Rosario (UNR)*(50), 1-29.
- Cancino, S. E., Cancino-Escalante, G. O., & Quevedo García, E. (2021). Determinación de una función Cobb-Douglas en la producción de durazno en Colombia. *Panorama Económico*, 29(3), 160-171.
- Castellanos-Pérez, M., Martínez-Garza, Á., Beatriz-Colmenares, C., Martínez-Damián, M. Á., & Rendón-Sánchez, G. (2006). Región confidencial para el óptimo económico de una función de producción Cobb-Douglas. *Agrociencia*, 40(1), 117-1224. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v40n1/1405-3195-agro-40-01-117.pdf>
- CESAVEDF. (2018). *Manejo fitosanitario del nopal*. Obtenido de Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Distrito Federal: <http://www.cesavedf.org.mx/NOPAL.html#:~:text=El%20nopal%20verdura%20se%20cultiva,la%20econom%C3%ADa%20de%20la%20regi%C3%B3n>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (20 de Mayo de 2021). *Diversidad natural y cultural/ Alimentos y bebidas/ Nopales* . Obtenido de Biodiversidad Mexicana : <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/nopales>
- Conabio. (2014). *Nopales Producción e innovación. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. Obtenido de Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- CONABIO. (2020). *¿Cuál es la importancia ecológica y económica del nopal en México?* Obtenido de Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO): <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/cactoblastis/cacto/importancia.htm>
- Coronado Arango, H. (2011). *Líneas bases y evaluación de los impactos socioeconómicos del cambio climático en América Latina* . Obtenido de Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL): https://www.cepal.org/sites/default/files/courses/files/05._analisis_econometrico_con_datos_de_seccion_cruzada.pdf
- Dirección general de planeación del desarrollo. (2023). *Padrones de beneficiarios a los apoyos sociales de la alcaldía Milpa Alta* . Obtenido de Alcaldía Milpa Alta : https://www.milpa-alta.cdmx.gob.mx/padrones/Rural/2021/programas_sociales_2021/PIAPRON.PDF
- FAO-SAGARPA. (2012). Capítulo 2: Marco Contextual de la Agricultura Familiar en México. En FAO-SAGARPA, *Agricultura familiar con potencial productivo en México* (págs. 48-56). México: FAO-SAGARPA.
- Fernández Azpiroz, J., & Freiría Carballo, G. (2020). Comportamiento de la relación de precios “INSUMO – PRODUCTO” 30 años de evolución. *Revista del Plan Agropecuario*, 73-76.

- Fontalvo Herrera, T., De La Hoz Granadillo, E., & Morelos Gómez, J. (2017). La productividad y sus factores: incidencia en el mejoramiento organizacional. *Dimensión empresarial*, 15(2), 47-60. doi:<http://dx.doi.org/10.15665/rde.v15i2.1375>
- Galicia-Villanueva, S., Escamilla-García, P. E., Alvarado-Raya, H., Aquino-González, L. V., Serna-Álvarez, H., & Hernández-Cruz, L. M. (2017). Plantación experimental de nopal para evaluación de sistemas de fertilización y extracción de mucílago. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(5), 1087-1099. doi:<https://doi.org/10.29312/remexca.v8i5.110>
- Galván Vera, A. (2022). Productividad agrícola en México y sus determinantes: perspectivas del gasto público. *Revista Iberoamericana de viticultura, agroindustria y ruralidad*, 9(27), 233-249. doi:<https://doi.org/10.35588/rivar.v9i27.5675>
- Gil Méndez, J., & Vivar Arenas, J. (2015). La modernización agrícola en México y sus repercusiones en espacios rurales. *Antropologías del Sur*, 2(3), 51 - 67. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6756899>
- Gobierno de la Ciudad de México. (15 de 02 de 2022). *San Francisco Tecoxpa*. Obtenido de Gobierno de la Ciudad de México: <https://mexicocity.cdmx.gob.mx/venues/san-francisco-tecoxpa/?lang=es>
- Gobierno de la Ciudad de México. (2023). *Barrios y colonias: San Francisco Tecoxpa*. Obtenido de La guía oficial para visitantes de la Ciudad de México: <https://mexicocity.cdmx.gob.mx/venues/san-francisco-tecoxpa/?lang=es>
- Gómez Manzanares, E. (1964). Funciones de producción en la agricultura. *Revista de Estudios Agrosociales*(48), 35-130.
- Gómez Manzanares, E. (1964). Funciones de producción en la agricultura. *Revista de Estudios Agrosociales*(48), 35-130. Obtenido de https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_reas/r048_02.pdf
- González Becerril, S. D., Ramírez Garnica, J. R., Mendoza Bazán, J. M., Mosqueda Domínguez, S., Reyes Mendoza, L. A., & García Muñoz, A. (2016). Estudio nutricional del nopal (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) en sus diferentes tipos de cocción. *Cauce*, 13.
- González Quintero, L. (1976). *Las cactáceas subfósiles de Tehuacán, Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. México.
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2010). Análisis de regresión múltiple: el problema de estimación. En D. N. Gujarati, & D. C. Porter, *Econometría* (pág. 922). México: McGraw-Hill.
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2010). Introducción. En D. N. Gujarati, & D. C. Porter, *Econometría* (págs. 1-12). México: McGraw-Hil.

- Henderson, J. M., & Quandt, R. E. (1962). La teoría de la empresa. En J. M. Henderson, & R. E. Quandt, *Teoría microeconómica. Una aproximación matemática* (págs. 48-98). Barcelona: Graw-Hill.
- Hernández Xolocotzi, E. (1988). La agricultura tradicional en México. *Comercio exterior*, 38(8), 673-678.
- INEGI. (2013). *Características principales del cultivo de nopal en el Distrito Federal. Caso Milpa Alta*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística y Geografía: https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censos/agropecuario/2007/agricola/nopal_df/CulnopDF.pd
- INEGI. (2018). *Economía y Sectores Productivos: Matriz de insumo producto*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística y Geografía: <https://www.inegi.org.mx/temas/mip/>
- INEGI. (23 de 04 de 2020). *Censo de población y vivienda*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística y Geografía : <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- INEGI. (2020). *Productividad total de los factores (PTF) Modelo klems. Serie anual 1990 – 2019*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Kiesling, R., & Metzger, D. (2018). Origen and taxonomía de *Opuntia ficus-indica*. En FAO, & ICARDA, *Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal* (pág. 229). FAO.
- Landini, F., & Beramendi, M. R. (2020). ¿Agroecología o agricultura convencional moderna? Posicionamientos de extensionistas rurales argentinos. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 46(3), 352-361. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86465821009>
- Luna Hernández, Á., Ramírez Esquivel, J., Baeza Mercado, L. C., Machado Hernández, M. T., Reza Chaires, M. G., Cruz Coronado, P., & Dueñas de la Rosa, V. (2013). *Características principales del cultivo de nopal en el Distrito Federal Caso Milpa Alta Censo Agropecuario 2007*. México: INEGI.
- Martínez Castillo, R. (Julio-Septiembre de 2008). Agricultura tradicional campesina: características ecológicas. *Tecnología en Marcha*, 21(3), 3-13.
- McKenzie, T. (5 de Abril de 2020). *Función de Producción Cobb-Douglas*. Obtenido de INOMICS: <https://inomics.com/es/terms/funcion-de-produccion-cobb-douglas-1456726>
- Miranda Ramírez, J. M., Aguilar García, O., & Miranda Medina, D. (2020). Comparación de la productividad agrícola-económica sustentable y. *Agronomía Mesoamericana*, 31(2), 385–403.
- Morales de León, J., Bourges Rodríguez, H., & Camacho Parra, M. E. (2016). Verduras. En J. Morales de León, H. Bourges Rodríguez, & M. E. Camacho Parra, *Tablas de composición de alimentos y productos alimenticios (versión*

- condensada 2015) (pág. 663). México: Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán.
- Morett-Sánchez, J., & Cosío-Ruiz, C. (2017). Panorama de los ejidos y comunidades agrarias en México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 14(1), 125-152. Obtenido de <https://scielo.org.mx/pdf/asd/v14n1/1870-5472-asd-14-01-00125.pdf>
- Nicholson, W. (2008). Funciones de producción. En W. Nicholson, *Teoría microeconómica. Principios básicos y ampliaciones*. (9 ed., págs. 183-211). México: Cengage Learning Editores.
- Ochoa, M. J., & Barbera, G. (2018). Historia e importancia agroecologica y economica del Nopa. En FAO, & ICARDA, *Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal* (pág. 229). FAO.
- Ortega, G. (2009). Agroecología vs. Agricultura Convencional. *Base Investigaciones Sociales (BaseIS)*, 128b, 1-24.
- RAE. (2022). *Definición de productividad*. Obtenido de Real Academia Española: <https://dle.rae.es/productividad>
- Ramírez, P. (02 de 11 de 2022). *Factores de producción: Tipos y Diferencias*. Obtenido de Economía 3: <https://economia3.com/factores-de-produccion-tipos/>
- Reyes Santiago, J. (2013). Introducción. En J. Reyes Santiago, *Conservación y restauración de cactáceas y otras plantas suculentas mexicanas*. México: Jardín Botánico del Instituto de Biología de la UNAM, Comisión Nacional Forestal, SEMARNAT.
- Reyes-Agüero, J. A., Aguirre Rivera, J. R., & Flores Flores, J. L. (2005). Variación morfológica de opuntia (cactaceae) en relación con su domesticación en la altiplanicie. *Interciencia*, 30(8), 476-484.
- Rodríguez Medina, O., Delgadillo Macías, J., & Sánchez Silva, M. (2021). Perfil del productor de nopal de Milpa Alta en el diseño de políticas sectoriales. *Argumentos. Estudios Críticos De La Sociedad*(96), 229-253. doi:<https://doi.org/10.24275/uamxoc-dcsh/argumentos/2021961-10>
- Rodríguez-Medina, O., Torres-Torres, F., & Alvarado-Lagunas, E. (2022). Competencia y transmisión de precios en la producción de nopal en Milpa Alta, Ciudad de México y Tlalnepantla, Morelos. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 19(2), 184-212. doi:<https://doi.org/10.22231/asyd.v19i2.1341>
- Romero Valdovinos, R. (24 de octubre de 2018). *Nopal, auxiliar en el control de la diabetes y la hiperglucemia: IMSS*. Obtenido de Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS): <http://www.imss.gob.mx/prensa/archivo/201810/265#:~:text=Explic%C3%B3%20que%20el%20nopal%20contiene,y%20el%20humo%20del%20cigarro.>

- Ruiz Moya, J. (1994). La agricultura sostenible como alternativa a la agricultura convencional: conceptos y principales métodos y sistemas. *Ería. Revista Cuatrimestral de Geografía*(35), 161-174. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=34808>
- SADER. (02 de 12 de 2020). *El nopal, parte de la riqueza del campo mexicano*. Obtenido de Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural : <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-nopal-parte-de-la-riqueza-del-campo-mexicano>
- SADER. (23 de 06 de 2021). *Nopales, la verdura de la ciudad*. Obtenido de Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/los-nopales-son-la-riqueza-de-mexico>
- SADER. (15 de 09 de 2022). *México, nación fundada en el campo*. Obtenido de Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural : <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/mexico-nacion-fundada-en-el-campo>
- SADER. (29 de 06 de 2023). *Hablemos de... la agricultura en México (Parte 1)*. Obtenido de Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural : <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/hablemos-de-la-agricultura-en-mexico-parte-1>
- Samuelson , P. A., & Nordhaus, W. D. (2009). *Economía*. Madrid. España: McGraw-Hill Interamericana.
- Sandoval-Trujillo, S. J., Ramírez-Cortés, V., & Hernández-Bonilla, B. E. (2019). Alternativas de producción del nopal en el Estado de México. *VinculaTégica*, 2, 1349-1361.
- Sapkota, M., & Bajracharya, M. (2018). Análisis de eficiencia en el uso de recursos para la producción de papa en Nepal. *Journal of Nepal Agricultural Research Council*, 4, 54-59. doi:<http://dx.doi.org/10.3126/jnarc.v4i1.19690>
- Scala Higher Education S.C. (2019). Los factores de la producción y los agentes económicos. En U. Universidad, *Fundamentos de economía* (págs. 103-122). México: Scalahed.
- Secretaría de economía . (2010). *Factores de producción*. Obtenido de Secretaría de Economía: <http://www.2006-2012.economia.gob.mx/economia-para-todos/abc-de-economia/8357-factores-de-produccion>
- SEMARNAT. (18 de Septiembre de 2022). *Día Nacional del Nopal 2022*. Obtenido de Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/dia-nacional-del-nopal-2022#:~:text=M%C3%A9xico%20es%20el%20primer%20productor,Bot%C3%A1nica%20y%20Zoolog%C3%ADa%20del%20Centro>

- SEPI. (2017). *La grandeza del nopal, identidad y orgullo nacional: Recetario de Milpa Alta para el mundo*. Obtenido de Secretaría de Pueblos y Barrios Originarios y Comunidades Indígenas Residentes (SEPI): <https://www.sepi.cdmx.gob.mx/storage/app/media/recetarionopal.pdf>
- SIACON. (5 de 11 de 2022). *Información Agrícola: Precio medios rurales*. Obtenido de Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta: <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- SIAP. (2023). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Obtenido de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera : <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Smith, A. (1776). *La riqueza de las naciones*. Londres: W. Strahan & T. Cadell.
- Soria Melgarejo , G. (2015). Usos y beneficios potenciales del nopal. *¿Qué conocemos del nopal?*, 24. Michoacán, México: Consejo Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación de Michoacán.
- UNAM-CDMX. (2023). *San Francisco Tecoxpa*. Obtenido de Pueblos y Barrios Originarios: Historia Viva en la Ciudad de México: <http://pueblosybarrios.puec.unam.mx/sectei/caso-de-estudio/san-francisco-tecoxpa>
- Verma, D. K., Singh, H., Meena, G. I., Suman, J., & Sachan, S. (2023). Factors Affecting Production of Important Pulse Crops in Rajasthan: A Cobb Douglas Analysis. *Legume Research*, 46(3), 364-367. doi:10.18805/LR-4725
- Zepeda, L. (2001). Agricultural Investment, Production Capacity and Productivity. En J. Vercueil, *Agricultural Investment and Productivity in Developing Countries* (págs. 1-52). Roma: FAO.

3 ANÁLISIS DE PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO DE NOPAL EN UNA COMUNIDAD RURAL

3.1 Resumen

El nopal es un cactus originario de México considerado como una de las plantas con mayor relevancia económica del país, en 2022 se registró una producción de 874 mil toneladas y es considerado como el mayor productor de nopal a nivel mundial. Milpa Alta es el principal productor de nopal-verdura (*Opuntia ficus-indica* Miller) de la Ciudad de México, pues aporta más del 90% de la producción capitalina. El objetivo de la investigación es analizar la productividad del nopal en parcelas que utilizan la tecnología convencional en su proceso productivo, a través de la obtención de su función de producción, para evaluar los pros y contras de dicha tecnología. El estudio se desarrolló en la comunidad de Tecoxpa, Milpa Alta, Ciudad de México, durante el periodo de enero a diciembre de 2022. Se utilizó una metodología mixta, en la cual, se aplicó un cuestionario a los agricultores. Los datos se modelaron en una función producción tipo Cobb-Douglas; posteriormente se obtuvieron los óptimos parciales de producción. Los resultados indican que los coeficientes son estadísticamente significativos sin presencia de problemas de multicolinealidad. El análisis de las variables permitió identificar la mano de obra, los fertilizantes y los plaguicidas, como factores de mayor impacto en la producción, y resalta el papel de la mano de obra como fuente de empleo e ingresos. La función de producción registró rendimientos crecientes a escala, mientras que el método de óptimos parciales indicó que ninguno de los recursos está siendo optimizado.

Palabras Clave: *Opuntia ficus-indica* Miller, tecnología convencional, función de producción.

PRODUCTIVITY ANALYSIS OF PRICKLY PEAR CACTUS CULTIVATION IN A RURAL COMMUNITY

ABSTRACT

The prickly pear cactus is a cactus native to Mexico, considered one of the plants with the greatest economic relevance in the country, in 2022, a production of 874 thousand tons was recorded and it is considered the largest producer of prickly pear cactus worldwide. Milpa Alta is the main producer of prickly pear cactus (*Opuntia Ficus-indica* Miller) in Mexico City, as it contributes more than 90% of the capital's production. The objective of the research is to analyze the productivity of the prickly pear cactus in plots that use conventional technology in their production process, through obtaining its production function, to evaluate the pros and cons of said technology. The study was carried out in the community of Tecoxpa, Milpa Alta, Mexico City during the period from January to December 2022. A mixed methodology was used in which a questionnaire was applied to farmers. The data were modeled in a Cobb-Douglas type production function, subsequently the partial optimums production was obtained. The results indicate that the coefficients are statistically significant without the presence of multicollinearity problems. The analysis of the variables allowed us to identify labor, fertilizers and pesticides as factors with the greatest impact on production and highlights the role of labor as a source of employment and income. The production function recorded increasing returns to scale. While the partial optimums method indicated that none of resources are being optimized.

Keywords: *Opuntia Ficus-indica* Miller, conventional technology, production function.

3.2 Introducción

La especie *Opuntia ficus-indica* Miller es un cactus originario de México considerado como una de las plantas con mayor relevancia económica del país, no solo por su gran versatilidad en la gastronomía, si no por sus propiedades nutritivas, químicas, industriales, ecológicas, medicinales y simbólicas (CONABIO, 2020). Kiesling & Metzling (2018) describen esta especie como plantas de hábito arbustivo o arbóreo, con troncos bien desarrollados que les permiten adaptarse a una gran diversidad de suelos y condiciones climatológicas.

El país registra un gran potencial para el desarrollo de plantaciones de nopal, pues de acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, (SEMARNAT, 2022) México es el mayor productor de nopal a nivel mundial. En 2022 el país registró una producción de aproximadamente 874 mil toneladas. Sin embargo, durante la pandemia generada por el virus SARS CoV-2 la superficie destinada para este cultivo disminuyó 128 hectáreas de 2020 a 2022 (SIAP, 2023).

Para fines del presente trabajo se le denominará al modo o estilo de producción de la agricultura convencional como tecnología convencional, caracterizada por la presencia de un monocultivo sembrado en parcelas con dimensiones menores a una hectárea, del cual, 99% de la producción obtenida es destinada al mercado; además predomina el uso de agroquímicos como los insecticidas, plaguicidas y productos que aceleran la producción, el uso de maquinaria o equipos mecánicos, la utilización de la mano de obra familiar y contratada, “siendo el(la) jefe(a) de familia quien participa de manera directa del proceso productivo [...], ya sea como gerente o un trabajador más del núcleo familiar” (FAO-SAGARPA, 2012, pág. 48), también se considera el acceso limitado al capital.

La medición de la productividad del cultivo de nopal permite conocer la eficiencia y la eficacia de los cambios en los recursos empleados del proceso de producción, porque mide la “relación entre lo producido y los medios empleados” (RAE, 2022).

Algunos investigadores han llevado a cabo estudios enfocados en cuestiones relacionadas con la producción de nopal y sus productores dentro de la región en los últimos años. Tal es el caso de Galicia-Villanueva, *et al.* (2017), quienes hicieron

un estudio comparativo de tipos de tratamiento para la fertilización del nopal en el cual evaluaron los rendimientos y la calidad de las diferentes modalidades de fertilización, que les permitió identificar al tratamiento a base de lixiviado de composta como una alternativa con mayor eficiencia en comparación con el estiércol fresco.

En 2021 se realizó una investigación para “definir el perfil del productor de nopal en Milpa Alta”, en el cual encontraron que los productores de la zona no pueden competir con los niveles de productividad del estado de Morelos y que desde la perspectiva de los productores existe una saturación de mercados; además consideran insuficientes los apoyos gubernamentales destinados a la producción de nopal (Rodríguez Medina, *et al.* 2021).

Por su parte, Rodríguez Medina, *et al.* (2022) llevaron a cabo la estimación de los modelos econométricos con el objetivo de determinar si existían prácticas anticompetitivas en la producción de nopal entre la zona productora de Tlalnepantla, Morelos y de Milpa Alta, Ciudad de México. Sus resultados revelan que los productores de Morelos restringen los planes de entrada al mercado de otros competidores (de ambas zonas productoras), mediante la alta productividad derivada del clima, que a su vez ocasiona precios bajos, convirtiéndola en una barrera a la entrada, que muy pocos agentes económicos pueden superar, por lo que concluyen que existen condiciones anticompetitivas entre productores de nopal de las zonas estudiadas.

El objetivo de la presente investigación es analizar la productividad del nopal, en parcelas que utilizan la tecnología convencional en su proceso productivo, a través de la obtención de su función de producción, para evaluar los pros y contras de dicha tecnología.

3.3 Materiales y métodos

Se utilizó una metodología mixta basada en la recolección, análisis y vinculación de datos cualitativos y cuantitativos, con la finalidad de lograr una perspectiva más integral, amplia y profunda del fenómeno estudiado. La parte cualitativa permitió

estudiar la productividad desde el contexto social de los agricultores, mientras que la cuantitativa mide el impacto de las variables que afectan la producción de nopal.

Se aplicó un cuestionario a 27 ejidatarios dedicados a la producción de nopal que utilizan la tecnología convencional de la comunidad Tecoxpa, la selección se realizó con base en un muestreo aleatorio simple. El periodo analizado contempla de enero a diciembre del año 2022.

El pueblo de San Francisco Tecoxpa es uno de los doce pueblos originarios de la Alcaldía Milpa Alta en la CDMX; se encuentra ubicado a 2,361 metros sobre el nivel del mar (Gobierno de la Ciudad de México, 2023), tiene una extensión territorial de 990 hectáreas aproximadamente, colinda con los pueblos de San Antonio Tecómitl, San Jerónimo Miacatlán, Malacachtepec Momoxco, San Juan Tepenáhuac y San Agustín Ohtenco. Durante el transcurso del año se experimentan tres tipos de clima: el frío que inicia desde principios de noviembre hasta mediados de febrero, el caluroso el cual abarca desde las últimas semanas de febrero hasta finales de junio, y el lluvioso con inicios en julio y culminación en el mes de octubre.

Se realizó una función producción de tipo Cobb Douglas multivariada con error multiplicativo (Castellanos-Pérez, *et al.* 2006), donde se tomaron en cuenta los datos de la producción de nopal (número de piezas cosechadas), las plantas en producción (cantidad de pencas sembradas que ya se encuentren en producción), mano de obra (en horas hombre), fertilizantes y plaguicidas (medidos en valor económico). La sumatoria de los coeficientes muestra el tipo de rendimientos a escala de la tecnología convencional.

Se emplea el método de óptimos parciales de los factores con el fin de encontrar los valores apropiados para optimizar la función de producción bajo el supuesto de competencia perfecta.

Se evaluó la validez del modelo utilizando diferentes pruebas estadísticas tales como el coeficiente de determinación o bondad de ajuste (R^2 ajustado), el valor $p < 0.05$, como medidas de significancia del modelo estimado, y una matriz de correlaciones parciales para saber si existe o no colinealidad entre las variables

independientes. Todo lo anterior relacionado con la creación y viabilidad del modelo fue realizado con ayuda de la herramienta de “análisis de datos” contenida en el software Microsoft Excel 2016.

3.4 Resultados y discusión

La siembra de nopal es una actividad que se hereda de generación en generación. La mayoría de los productores señalan que aprendieron los conocimientos necesarios para el cuidado del nopal a través de sus padres o algún familiar cercano como tíos o abuelos. Esta actividad es desarrollada principalmente por hombres, pues el 78% de los productores entrevistados son del género masculino y el 22% son mujeres; el estudio realizado por Luna Hernández, *et al.* (2013) permite afirmar que dicha tendencia se ha mantenido en los últimos 20 años, puesto sus resultados son semejantes a los obtenidos actualmente.

La edad de los campesinos oscila entre los 30 y los 75 años, más del 60% se encuentran en un rango de edad mayor a 40 años y menor a 60, Reyes-Terrazas *et al.* (2023) encontraron una información parecida en los campesinos de Cuautlacingo, Otumba dedicados al nopal.

La escolaridad promedio de los productores ha mejorado en comparación con los datos registrados durante el censo agrícola 2007 (INEGI, 2008), en el que se determina que el nivel de estudios promedio de las personas dedicadas al cultivo de nopal era principalmente primaria; Rendón Trejo *et al.* (2017), también afirman que en la última década la educación tuvo una gran mejoría en la región. Hoy en día, los campesinos de la comunidad de Tecoxpa registran una escolaridad promedio de secundaria.

De acuerdo con la información obtenida, las familias de los agricultores se componen de un jefe de familia, su pareja e hijos; en algunas ocasiones las familias también integran a los padres de alguno de los cónyuges. Cabe mencionar que el 96% de los campesinos cuentan con integrantes en edad productiva⁸, sin embargo,

⁸ En este trabajo el rango de edad productiva abarca de los 15 hasta los 75 años.

no todos apoyan en las labores del campo como por ejemplo las personas con discapacidad, tal es el caso uno de los productores.

Respecto a las unidades de producción, el análisis de datos permite saber que el 89% de las parcelas seleccionadas son trabajadas por el titular original de la parcela o sus herederos, mientras que el porcentaje restante son alquiladas por terceras personas; este resultado se asemeja a los datos encontrados en las parcelas del Estado de México (Reyes-Terrazas *et al.* 2023).

El estudio señala que el 81% de las unidades de producción son trabajadas bajo un sistema de monocultivo, pues únicamente contienen plantas de nopal, también muestra que solo el 40% de los campesinos aprovechan la superficie total.

El proceso productivo del nopal en la región ha evolucionado con el tiempo, no obstante, los campesinos han logrado establecer un modelo híbrido (Tecnología convencional) en el que integran características de la agricultura moderna a su proceso ancestral.

Actualmente el proceso productivo se compone de ocho etapas: 1) adquisición de plantas madre, 2) preparación del terreno, 3) trazado y plantación, 4) fertilización de la parcela, 5) podas a la plantación, 6) control de plagas y enfermedades, 7) control de maleza, y 8) cosecha; por su parte, Flores Valdez (2003) describe 11 etapas para el manejo técnico del cultivo de nopal. Es importante mencionar que solo las primeras tres actividades del proceso se llevan a cabo cada 12 años⁹ aproximadamente, mientras que las demás se llevan a cabo por lo menos una vez al año, a excepción de la última etapa pues esta se realiza varias veces a la semana durante todo año.

Algunos de los cambios realizados por los productores a lo largo de los años en su proceso productivo se basan en la implementación de maquinaria y herramientas que les permiten ahorrar tiempo al facilitar ciertas tareas en las cuales anteriormente se requerían una gran cantidad de horas de trabajo, como el barbecho de la tierra.

⁹ Es la duración promedio del ciclo de vida de la plantación en la comunidad, aunque el periodo de regeneración de la parcela puede variar entre los 10 y 15 años.

Sin embargo, la modificación más significativa es la integración de productos químicos para la prevención y el control de plagas y enfermedades, o el mejoramiento de los rendimientos en la producción; en la actualidad casi el 60% de los productores usan algún tipo de agroquímico en su parcela. En el estudio realizado por Rendón Trejo *et al.* (2017) hace referencia a la poca tecnificación y la utilización de agroquímicos en las parcelas.

3.4.1 Función producción tipo Cobb-Douglas

La estimación de la función Cobb Douglas mediante transformación logarítmica para los productores convencionales de la comunidad de Tecoxpa se muestra en el Cuadro 2; en ella se observa que el coeficiente de determinación (R^2 ajustado) indica que el 75 por ciento de los cambios en la producción total de nopal verdura se explican por las variaciones de los factores plantas en producción, mano de obra, fertilizantes y plaguicidas. Por su parte, Bacarrillo-López *et al.* (2021) brinda una perspectiva totalmente diferente del análisis de productividad del nopal, ya que considera elementos como la humedad del suelo y las características de la planta madre (longitud, ancho y grosor).

En la prueba de significancia global, el estadístico F tiene un valor de 16.8448183 con una probabilidad de ocurrencia menor al 5%, lo cual indica que en conjunto las variables incluidas en el modelo son estadísticamente significativas. Al analizar la significancia de cada una de las variables con la probabilidad o el *valor de p* se encuentra que tres de los cuatro factores utilizados para la explicación de la producción del nopal son estadísticamente significativos; el único factor que no se encuentra dentro del parámetro de este valor es la variable plantas en producción. Finalmente, la matriz de correlaciones parciales muestra que no existen problemas de multicolinealidad entre las variables independientes.

Cuadro 2 Resultados de la estimación del modelo logarítmico

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0.86531465
Coeficiente de determinación R^2	0.74876945

R ² ajustado	0.70309116
Error típico	0.24729268
F	16.39224161
Valor crítico de F	2.32436E-06
Observaciones	27

	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>
Intercepción	0.31269783	0.84946253	0.36811256	0.71630748
Plantas en producción	0.19273001	0.14754907	1.30620952	0.20497388
Mano de obra	0.64231904	0.19119879	3.35943049	0.0028324
Fertilizantes	0.50301036	0.15228739	3.30303362	0.00323868
Plaguicidas	0.19247824	0.05397173	3.56627879	0.00172611

Fuente: Elaboración propia.

El valor de los coeficientes de los parámetros utilizados refleja que existe una relación positiva directa entre el volumen de producción de nopal-verdura y las plantas en producción, la mano de obra, los fertilizantes y los plaguicidas. Además los coeficientes estimados hacen referencia a las elasticidades de la producción con respecto a cada uno de los factores; en otras palabras, cada coeficiente permite medir el cambio porcentual de la producción, ante el cambio porcentual del insumo en cuestión, manteniendo los demás constantes; por ejemplo, la producción crecerá en 0.19% por cada punto porcentual que aumente la variable x_1 : *plantas en producción*, siempre y cuando los valores de la mano de obra, los fertilizantes y los plaguicidas se mantengan constantes. Como se puede observar, la mano de obra es el insumo con mayor impacto, lo cual es confirmado por Domínguez-García *et al.* (2017), quien afirma que la mano de obra es el concepto más importante en la producción de nopal.

Los resultados del modelo tipo Cobb-Douglas aplicado a los productores convencionales se expresa de la siguiente manera:

$$Y = 0.48x_1^{0.19} x_2^{0.64} x_3^{0.50} x_4^{0.19} u_i$$

La suma de los coeficientes es igual 1.53 por lo que la función tiene rendimientos crecientes a escala, es decir, si se duplican de los insumos, la producción aumentará en más del doble (Gujarati & Porter, 2010).

3.4.2 Óptimos parciales de producción

Para obtener los óptimos parciales de la producción se iguala la función del producto marginal parcial, de los factores que resultaron estadísticamente significativos, con su respectiva relación insumo-producto, posteriormente se despeja la variable correspondiente a cada factor y en esa función se sustituyen los valores promedio de los otros factores, en la Cuadro 3 se muestran los valores óptimos¹⁰ de cada insumo y las funciones utilizada para obtenerlos.

Cuadro 3 Óptimos parciales de los factores

Factor	Función de optimización	Valor optimo
Mano de obra	$x_2 = \frac{0.36\sqrt{0.3072 (4407)^{0.19} (24507)^{0.5} (3726)^{0.19}}}{0.36\sqrt{57.45}}$	3,923
Fertilizantes	$x_3 = \frac{0.5\sqrt{0.24 (4407)^{0.19} (3960)^{0.64} (3726)^{0.19}}}{0.5\sqrt{8.3}}$	18,583.65
Plaguicidas	$x_4 = \frac{0.81\sqrt{0.0912 (4407)^{0.19} (3960)^{0.64} (24507)^{0.5}}}{0.81\sqrt{30.97}}$	1,915.18

Fuente: Elaboración propia.

Por cada valor óptimo encontrado se calcula un nivel de producción correspondiente utilizando la función producción tipo Cobb-Douglas obtenida anteriormente, en la cual se sustituye la cantidad óptima del factor y se mantienen constantes los valores promedio de otros insumos, tal como se muestra en el Cuadro 4.

Cuadro 4 Producciones parciales

Factor optimizado	Sustitución de valores	Producción óptima
Mano de obra	$Y = 0.48(4407)^{0.19}(3,923)^{0.64}(24,507)^{0.5}(3,726)^{0.19}$	352,148
Fertilizantes	$Y = 0.48(4407)^{0.19}(3,960)^{0.64}(18,583.65)^{0.5}(3,726)^{0.19}$	309,234

¹⁰ Cantidad del insumo necesaria que optimiza la producción.

Plaguicidas	$Y = 0.48(4407)^{0.19}(3,960)^{0.64}(24,507)^{0.5}(1,915.18)^{0.19}$	312,174
-------------	--	---------

Fuente: Elaboración propia.

Si se decidiera optimizar la mano de obra, los campesinos deberían emplear 3,923 horas hombre en sus parcelas (*ceteris paribus*), y su nivel de producción sería de 352,148 piezas al año; en caso de optimizar la variable fertilizantes, la inversión necesaria de este insumo sería de \$18,583.65 (dieciocho mil quinientos ochenta y tres pesos y 65/100 M.N.) (*ceteris paribus*) con la cual se obtendría una producción de 309,234 piezas anualmente; por su parte, la optimización del valor económico de los plaguicidas, requiere una cantidad monetaria de \$1,915.18 (mil novecientos quince pesos y 18/100 M.N.). (*ceteris paribus*) produciendo 312,174 piezas por año.

El modelo econométrico y los óptimos parciales estimados permiten hacer una comparación entre los datos observados y los datos estimados para conocer la relación de los factores que pueden ayudar a los productores a obtener el máximo beneficio.

Cuadro 5 Comparación entre los datos estimados y los observados

Factor	Valor Óptimo	Valor promedio	Producción Estimada	Producción Observada
Mano de obra	$X_2 = 3,923$	3,960	352,148	379,790
Fertilizantes	$X_3 = 18,583.65$	24,507	309,234	379,790
Plaguicidas	$X_4 = 1,915.18$	3,726	312,174	379,790

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se observa que el valor optimo y el valor promedio de la mano de obra se encuentran muy cercanos, esto quiere decir que los campesinos están utilizando de manera casi optima este recurso pues solo trabajan casi cinco jornales más anuales de lo requerido para optimizar el factor. Esas horas de trabajo extra que llevan a cabo los campesinos, en conjunto con los otros factores (*Ceteris paribus*), generan aproximadamente 27,000 piezas más que no les ayuda a obtener el máximo beneficio.

En el Cuadro 5 también se puede observar que es conveniente invertir en fertilizantes lo equivalente a 4.13 camiones de abono orgánico en lugar de 5.44 camiones como lo realizan los agricultores actualmente, esto les permitirá ahorrar en fertilizantes sin poner en riesgo su producción, si bien su producción se reduciría en un 18% aproximadamente, esta cantidad no pone en peligro sus ingresos.

Finalmente, la tabla comparativa muestra que actualmente los agricultores invierten en plaguicidas lo equivalente a 184.27 Kg, sin embargo, de acuerdo con el modelo solo necesitarían invertir lo equivalente a 94.71 kg, esto implica que los agricultores están usando casi el doble los plaguicidas necesarios. su producción se reduciría en un poco más de 67,600 piezas para poder alcanzar el máximo beneficio. Al respecto Domínguez-García *et al.* (2017) menciona que a mayor uso de agroquímicos los costos también se incrementan.

A continuación, se mencionan las principales ventajas de la tecnología convencional encontradas en esta investigación:

- Los agricultores han creado un equilibrio entre la agricultura moderna y la tradicional que les ha permitido mejorar algunos procesos sin dejar de lado sus conocimientos ancestrales.
- El cultivo de nopal permite a los agricultores tener ingresos durante todo el año debido a que no es un producto de temporal; si bien la producción varía de acuerdo con las temporadas del año, la planta no deja de producir.
- La agricultura convencional favorece el sustento familiar, ya que provee de alimentos suficientes para toda la familia y genera empleo para todos los integrantes que lo necesiten.
- Los fertilizantes utilizados anualmente son orgánicos. Al ser de origen natural son más amigables con el medio ambiente.
- La utilización de plaguicidas orgánicos dentro de la parcela es cada vez más frecuente.
- Al ser una planta que no requiere de mucha agua para crecer y utilizar las precipitaciones pluviales como sistema de riego, les ayuda a economizar su producción por ser un recurso gratuito.

- La versatilidad del nopal y el avance de la tecnología han creado una oportunidad de mercado para los agricultores, pues en la actualidad esta verdura es utilizada como base para la creación de una gran diversidad de productos en diferentes industrias.

Sin embargo, la tecnología convencional también cuenta con desventajas, entre las cuales se encuentran:

- La presencia de un solo cultivo podría agotar los nutrientes de la tierra y ocasionar la degradación del suelo y la erosión de la tierra.
- La inversión en fertilizantes al año es demasiado alta, lo cual ocasiona un costo más elevado en la producción y una reducción en sus ganancias, por el uso actual de este insumo.
- Se enfrentan a una gran diversidad de plagas y enfermedades, algunas de ellas representan un verdadero problema, pues no han logrado encontrar la solución para erradicarlas o controlarlas como es el caso de la mancha negra y la enfermedad del oro.
- No todos los agricultores cuentan con maquinaria o equipos de última generación que les permitan hacer más eficientes sus actividades dentro del proceso de producción.
- El uso de plaguicidas y fertilizantes químicos no solo daña al medio ambiente, daña no solo la salud de los agricultores y las personas que lo rodean, también de quien consume su producto.
- La sobreproducción en temporadas de calor y la competencia con otros productores de la demarcación ocasionan precios extremadamente bajos (en esta temporada), lo que a su vez causa que los productores dejen perder su producto dentro de la parcela.

3.5 Conclusiones

El cultivo del nopal es una de las actividades económicas más importantes para los habitantes de la comunidad de San Francisco Tecoxpa. Por ello, es importante conocer la forma en que los campesinos administran sus recursos, para que, en

medida de lo posible, se ayude a los productores a optimizar su producción y obtengan un beneficio mayor.

La función de producción tipo Cobb-Douglas estimada para los agricultores que utilizan la tecnología convencional indica que el 75% de las variaciones que ocurren en la producción total, se explica por los factores: plantas en producción, mano de obra, fertilizantes y plaguicidas. Además, el modelo permite saber, por medio de la elasticidad de los factores, que la mano de obra es la variable que más influye en la producción y que los rendimientos a escala son crecientes.

El método de óptimos parciales aplicado cada uno de los factores que resultaron significativos dentro del modelo indicó que ninguno de los recursos está siendo optimizado, es decir, si bien el aumento de los factores incrementa en mayor proporción la producción, en este caso una mayor producción no indica un mayor beneficio, por lo que se recomienda reducir la producción por medio de la optimización de alguno de insumos, ya sea mano de obra, fertilizantes o plaguicidas pues en los tres casos se está produciendo más de lo que es necesario.

3.6 Literatura citada

- Bacarrillo-López, R., Pedroza-Sandoval, A., Antonio Inzunza Ibarra, M., Flores-Hernández, A., & Macías-Rodríguez, F. J. (2021). Productividad de forraje de variedades de nopal (*Opuntia* spp.) bajo diferentes regímenes de humedad del suelo. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(3). doi:<https://doi.org/10.19136/era.a8n3.2878>
- Castellanos-Pérez, M., Martínez-Garza, Á., Beatriz-Colmenares, C., Martínez-Damián, M. Á., & Rendón-Sánchez, G. (2006). Región confidencial para el óptimo económico de una función de producción Cobb-Douglas. *Agrociencia*, 40(1), 117-1224. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v40n1/1405-3195-agro-40-01-117.pdf>
- CONABIO. (2020). *¿Cuál es la importancia ecológica y económica del nopal en México?* Obtenido de Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO): <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/cactoblastis/cacto/importancia.htm>
- Domínguez-García, I. A., Granados-Sánchez, M., Sagarnaga-Villegas, L. M., Salas-González, J. M., & Aguilar-Ávila, J. (2017). Viabilidad económica y financiera de nopal tuna (*Opuntia ficus-indica*) en Nopaltepec, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(6), 1371-1382. doi:<https://doi.org/10.29312/remexca.v8i6.304>

- FAO-SAGARPA. (2012). Capítulo 2: Marco Contextual de la Agricultura Familiar en México. En FAO-SAGARPA, *Agricultura familiar con potencial productivo en México* (págs. 48-56). México: FAO-SAGARPA.
- Flores Valdez , C. A. (2003). Producción y comercialización de nopalitos . En C. A. Flores Valdez, & J. Corrales García, *Nopalitos y tunas; producción, comercialización, poscosecha e industrialización* (págs. 19-38). México: UACH-CIESTAAM.
- Galicia-Villanueva, S., Escamilla-García, P. E., Alvarado-Raya, H., Aquino-González, L. V., Serna-Álvarez, H., & Hernández-Cruz, L. M. (2017). Plantación experimental de nopal para evaluación de sistemas de fertilización y extracción de mucílago. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(5), 1087-1099. doi:<https://doi.org/10.29312/remexca.v8i5.110>
- Gobierno de la Ciudad de México. (2023). *Barrios y colonias: San Francisco Tecoxpa*. Obtenido de La guía oficial para visitantes de la Ciudad de México: <https://mexicocity.cdmx.gob.mx/venues/san-francisco-tecoxpa/?lang=es>
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2010). Análisis de regresión múltiple: el problema de estimación. En D. N. Gujarati, & D. C. Porter, *Econometría* (pág. 922). México: McGraw-Hill.
- INEGI. (2008). *Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática: https://www.inegi.org.mx/programas/cagf/2007/#datos_abiertos
- Kiesling, R., & Metzling , D. (2018). Origen and taxonomía de Opuntia ficus-indica. En FAO, & ICARDA, *Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal* (pág. 229). FAO.
- Luna Hernández, Á., Ramírez Esquivel, J., Baeza Mercado, L. C., Machado Hernández, M. T., Reza Chaires, M. G., Cruz Coronado, P., & Dueñas de la Rosa, V. (2013). *Características principales del cultivo de nopal en el Distrito Federal Caso Milpa Alta Censo Agropecuario 2007*. México: INEGI.
- RAE. (2022). *Definición de productividad*. Obtenido de Real Academia Española: <https://dle.rae.es/productividad>
- Rendón Trejo, A., Pomar Fernández, S., & Solis Tepexpa, S. (2017). El crecimiento y su relevancia en la comunidad de Milpa Alta. El caso de la producción de nopal. En B. Lisocka-Jaegermann, Z. Piotrowska, & K. Ząbecki, *La vulnerabilidad socioeconómica y ambiental en el contexto local y regional* (pág. 251). Polonia: Uniwersytetu Warszawskiego.
- Reyes-Terrazas, A. S., Flores-Sánchez, D., Navarro-Garza, H., Pérez-Olvera, M. A., & Almaguer-Vargas, G. (2023). Características y retos del sistema de cultivo nopal verdura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(2). doi:<https://doi.org/10.29312/remexca.v14i2.3079>

- Rodríguez-Medina, O., Torres-Torres, F., & Alvarado-Lagunas, E. (2022). Competencia y transmisión de precios en la producción de nopal en Milpa Alta, Ciudad de México y Tlalnepantla, Morelos. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 19(2), 184-212. doi:<https://doi.org/10.22231/asyd.v19i2.1341>
- SEMARNAT. (2022, Septiembre 18). *Día Nacional del Nopal 2022*. Obtenido de Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/dia-nacional-del-nopal-2022#:~:text=M%C3%A9xico%20es%20el%20primer%20productor,Bot%C3%A1nica%20y%20Zoolog%C3%ADa%20del%20Centro>
- SIAP. (2023). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Obtenido de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera : <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

4 TECNOLOGÍA ECOINNOVADORA EN EL CULTIVO DE NOPAL: UN ANÁLISIS DE PRODUCTIVIDAD

4.1 Resumen

La agricultura es una actividad fundamental para los seres humanos por ser una fuente importante de alimentos y empleo, sin embargo, esta actividad es la principal fuente de emisión de gases que contribuyen al efecto invernadero, por ello el sector agrícola debe innovar sus procesos de producción de tal modo que detengan o mitiguen los daños causados al medio ambiente. La alcaldía Milpa Alta es considerada la principal productora de nopal en la Ciudad de México, dado que aporta más del 90% de la producción capitalina. El presente estudio examina la productividad del nopal en parcelas que emplean la tecnología ecoinnovadora en su proceso de producción mediante un estudio de caso en el pueblo de San Francisco Tecoxpa, Milpa Alta, Ciudad de México. El objetivo es caracterizar la forma de producción del nopal de los productores ecoinnovadores, a través de la obtención de su función de producción, para evaluar los beneficios y desventajas de dicha tecnología. Se utilizó un enfoque de metodología mixta en la cual se encuestaron a 27 agricultores. Los datos obtenidos se modelaron utilizando una función de producción del tipo Cobb-Douglas. Los resultados indicaron que el 77% de las variaciones de la producción total, se explica por los factores: mano de obra, fertilizantes y plaguicidas, mientras que la elasticidad de los factores permite observar que los plaguicidas y la mano de obra tienen un efecto similar en la producción; además el modelo muestra que la producción tiene rendimientos a escala crecientes. Esta investigación concluye que la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural funge un papel fundamental para la implementación de la tecnología ecoinnovadora en las parcelas dedicadas a la producción de nopal y que ninguno de los recursos está siendo optimizado por lo cual se recomienda optimizar el factor mano de obra.

Palabras Clave: Nopal, tecnología ecoinnovadora, productividad, óptimos de producción.

ECO-INNOVATIVE TECHNOLOGY IN CACTUS CULTIVATION: A PRODUCTIVITY ANALYSIS

ABSTRACT

Agriculture is a fundamental activity for human beings because it is an important source of food and employment; however, this activity is the main source of gas emissions that contribute to the greenhouse effect. Therefore, the agricultural sector must innovate its production processes in order to stop or mitigate the damage caused to the environment. The municipality of Milpa Alta is considered the main producer of nopal in Mexico City, since it contributes more than 90% of the capital's production. This study examines the productivity of nopal in plots that use eco-innovative technology in their production process through a case study in the town of San Francisco Tecoxpa, Milpa Alta, Mexico City. The objective is to characterize the way nopal is produced by eco-innovative producers, by obtaining their production function, in order to evaluate the benefits and disadvantages of this technology. A mixed methodology approach was used in which 27 farmers were surveyed. The data obtained were modeled using a Cobb-Douglas type production function. The results indicated that 77% of the variations in total production are explained by the factors: labor, fertilizers and pesticides, while the elasticity of the factors allows observing that pesticides and labor have a similar effect on production; in addition, the model shows that production has increasing returns to scale. This research concludes that the Natural Resources and Rural Development Commission plays a fundamental role in the implementation of eco-innovative technology in nopal production plots and that none of the resources are being optimized, so it is recommended to optimize the labor factor.

Key words: Nopal, eco-innovative technology, productivity, optimal production.

4.2 Introducción

Los agricultores familiares administran cerca del 75% de todas las tierras agrícolas, producen más del 80% de los alimentos a nivel mundial y representan el 90% de las explotaciones agrícolas del mundo (FAO, 2020), por lo que es una actividad crucial para la sociedad y el desarrollo económico de todas las naciones, pues es una fuente importante de alimentos y empleo (Bula, 2020). Sin embargo, la agricultura es la principal fuente de emisión de gases que contribuyen al efecto invernadero (García et al. 2008), por ello toda investigación sobre cuestiones agrícolas que ayuden a mitigar este problema es de suma relevancia.

El nopal es una cactácea endémica de México, considerada como una de las plantas de gran importancia económica en el país debido a sus numerosos usos en diferentes industrias tales como la gastronómica, cosmética, medicinal, entre otras (CONABIO, 2020), de acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México es el principal productor de nopal a nivel mundial, en 2022 el país registró una producción de aproximadamente 874 mil toneladas (SEMARNAT, 2022), a pesar de ello, la superficie nacional destinada para el cultivo de nopal disminuyó 128 hectáreas en dos años, pasó de 12,618 hectáreas en 2020 a 12,490 en 2022 (SADER, 2023).

En las parcelas mexicanas se cultivan distintas variedades de nopal en todo el territorio, una de ellas es la especie *Opuntia ficus-indica* Miller de la cual se obtienen nopales tiernos para consumo humano. Esta variedad se caracteriza por su capacidad de adaptarse a una amplia gama de tipos de suelo y condiciones climáticas, especialmente en ambientes desfavorables y lugares donde otros cultivos no prosperan (SEMARNAT, 2022); son plantas de hábito arbustivo o arbóreo con troncos bien desarrollados que les permiten adaptarse a zonas con poca disponibilidad de agua y temperaturas extremas (Kiesling & Metzger, 2018), sus pencas o cladodios son tallos de cutícula gruesa y cerosa con forma ovalada y aplanada de color verde opaco, cuya longitud puede llegar hasta los 50 cm, su ancho varía entre los 20 o 30 cm, con grosor de hasta 2 centímetros (Luna, et al. 2013).

La Ciudad de México (CDMX) es el segundo estado con más producción de esta especie a nivel nacional (Ochoa & Barbera, 2018, pág. 6), su principal zona productiva es la alcaldía Milpa Alta, quien registro 194,368 toneladas de esta verdura en 2022 con un valor económico de aproximadamente 659.71 millones de pesos MXN en 2,184 hectáreas sembradas (SIAP, 2023). Las cifras anteriores destacan la importancia de este cultivo en el crecimiento económico de la región. Las comunidades que registran una producción superior dentro de la demarcación son: Malacachtepec Momoxco, San Lorenzo Tlacoyucan y San Francisco Tecoxpa (Dirección general de planeación del desarrollo, 2023), este último obtiene su producción de tierras ejidales¹¹ y comunales, mientras que los otros dos solo la obtienen de suelo comunal, lo cual convierte a Tecoxpa como el principal productor de nopal a nivel ejidal de la Alcaldía.

El presente trabajo sirve como base para futuras investigaciones en distintos niveles académicos y/o laborales que pretendan analizar la productividad de una tecnología ecoinnovadora aplicada al cultivo de nopal. Esta investigación ofrece la posibilidad de concientizar a las personas sobre la importancia de los pequeños productores en la sociedad y la economía a través de su perspectiva.

El objetivo de la investigación es caracterizar la forma de producción del nopal de los productores ecoinnovadores, a través de la obtención de su función de producción, para evaluar los pros y contras de dicha tecnología. Por lo tanto, la meta es obtener la función de producción de los productores ecoinnovadores basada en la siguiente hipótesis: La productividad de la tecnología ecoinnovadora aumenta al optimizar alguno de los factores productivos del cultivo de nopal.

Debido a lo anterior, es importante aclarar a que se refiere el termino *tecnología ecoinnovadora*; para ello, primero se mencionan las aportaciones algunos organismos respecto al tema de innovación en la agricultura, posteriormente se

¹¹Es importante estudiar las tierras ejidales ya que el 42% de la superficie total pertenece a este tipo de propiedad social, además estos núcleos agrarios han presentado bajas condiciones productivas en los últimos años debido a la migración de la población joven (Morett-Sánchez & Cosío-Ruiz, 2017).

presentan los argumentos de otros autores en materia de ecoinnovación y finalmente se describe detalladamente la tecnología ecoinnovadora.

Desde el punto de vista de la ONU (1987), las alternativas sostenibles son cada vez más importantes para responder a las necesidades humanas del presente sin comprometer los recursos para las generaciones futuras, especialmente en el ámbito agrícola por el impacto negativo al ambiente de los métodos utilizados por la agricultura moderna para intensificar la producción.

Al respecto la OCDE (2023) afirma que el sector agrícola debe adaptarse y enfrentar el cambio climático, así como a los nuevos desafíos globales, mediante innovaciones que permitan “hacer más y mejor con menos”, en otras palabras, satisfacer las necesidades básicas de la población, promover una mejor calidad de vida, disminuir la contaminación y sobre todo que utilicen los recursos naturales de una manera más eficiente. Este mismo organismo sugiere la relación entre innovación, productividad y sostenibilidad ambiental al momento de crear o adaptar algún tipo de innovación agrícola, pues esta debe generar un crecimiento sostenible de la productividad y un sector agroalimentario más resiliente; igualmente señala que muchas de estas innovaciones son “innovaciones de proceso” que mejoran las técnicas de producción.

Por su parte, la FAO (2020) expresa que es vital para el futuro de la agricultura y la alimentación, reconocer las innovaciones exitosas creadas por los agricultores familiares, ya que, desde el inicio de la agricultura, son ellos quienes han encontrado las formas y los medios para trabajar la tierra en condiciones poco favorables a través de cambios, adaptaciones o creación de sistemas de cultivo. En palabras de dicha organización, la innovación es el proceso por el cual las personas u organizaciones utilizan por primera vez productos, procesos o formas de organización, ya sean nuevos o existentes enfatizando lo fundamental que es la innovación agrícola para ayudar a los agricultores familiares a utilizar los recursos de una manera mejor y más eficiente. Adicionalmente, explica que la plantación de nuevas variedades de cultivos, la combinación de prácticas tradicionales con nuevos conocimientos científicos, el uso de prácticas de cultivo y producción

sostenible, la aplicación de nuevos enfoques para el control de enfermedades animales y vegetales, pueden ser una forma de la innovación en la agricultura familiar (FAO, 2023).

El surgimiento, adaptación y desarrollo de estas alternativas han dado paso a nuevos conceptos como el termino *ecoinnovación local*, acuñado en 2020 por un grupo de profesores-investigadores de la Universidad Autónoma Metropolitana, en el cual plantean el reconocimiento de las prácticas que se realizan en las organizaciones y comunidades pequeñas bajo el marco de ecoinnovación frugal¹², con el fin de crear un cambio del paradigma tradicional en el concepto de ecoinnovación, pues según ellos, la gran mayoría los referentes teóricos relacionados a la noción ecoinnovadora solo representa las condiciones, necesidades y modelos de mercado ajenos a países en vías de desarrollo como México, dejando de lado otro tipo de propuestas, criterios y acciones relacionadas con las actividades económicas tradicionales que conllevan de preservación del medioambiente. Carrillo González & Ríos Estrada (2020) señalan que las prácticas ancestrales y el uso de “tecnologías apropiadas” en las comunidades rurales de los países en desarrollo deberían ser consideradas como innovaciones, ya que se adaptan a las condiciones y necesidades de los productores incorporando los criterios de atención social y cuidado ambiental.

En la opinion de Villavicencio Carbajal & Carrillo González (2020) las ecoinnovaciones provenientes de comunidades a nivel local tienen un impacto significativo a largo plazo porque son el resultado de atender sus propios problemas y necesidades, los cuales generan una productividad superior, contribuyen a la sustentabilidad y en muchas ocasiones reducen los márgenes de pobreza en sus regiones. Mencionan que dichas ecoinnovaciones están relacionadas con tecnologías de baja complejidad, productos con bajo valor agregado y un alto contenido de conocimiento ancestral.

¹² Soluciones que generan valor a partir del uso óptimo de sus recursos y con bajos costos, provenientes de las mismas comunidades.

El concepto de ecoinnovación de los autores Carrillo González & Mota Martínez *et al.* (2020) hacen referencia a una nueva forma de trabajar y producir de organizaciones rurales con bajos recursos económicos que desarrollan o introducen nuevos productos, procesos, tecnologías o formas organizacionales basadas en conocimientos ancestrales que garanticen un sentido de identidad con el territorio, conserven los bienes comunes y apoyen la conservación de los ecosistemas, la recuperación de los recursos naturales degradados, así como la reducción de los efectos ambientales negativos.

Sin embargo, para fines de este trabajo se define como tecnología ecoinnovadora al proceso agrícola que modifica las técnicas tradicionales de producción¹³ mediante el uso de prácticas agroecológicas, especialmente aquellas que ayudan a la eliminación o reducción de insumos químicos en la producción.

De igual forma, es importante conocer la “relación entre lo que se produce y los medios utilizados”¹⁴ para medir la eficiencia y la eficacia de los cambios en los recursos empleados del proceso de producción.

Por otro lado, es necesario conocer las investigaciones relacionadas con la producción de nopal y sus productores realizadas en los últimos años. A continuación, se describen brevemente algunos de ellos.

Galicia Villanueva, et al. (2017) llevaron a cabo un estudio en el que analizan las características del cultivo de nopal en la alcaldía Milpa Alta de la Ciudad de México. El objetivo fue realizar un análisis comparativo para evaluar los diferentes sistemas de fertilización del nopal, el cual se realizaron mediante un proceso experimental donde se examinaron rendimientos y características con diferentes fertilizantes, que les permitió identificar un sistema a base de lixiviados como una alternativa más eficiente. Establecieron una metodología para la extracción del mucílago de nopal que consiste en la selección, secado y molienda para elaborar un aditivo que permitió estimar el contenido de azúcares y nivel de acidez en un laboratorio. El

¹³ Se entiende por técnicas tradicionales a las formas o métodos empleados a lo largo de tiempo por los campesinos y que han sido heredadas de generación en generación.

¹⁴ Definición de productividad empleada por la Real Academia Española (RAE, 2022).

proceso de muestreo se llevó a cabo en una parcela experimental que permitió cultivar el nopal con las condiciones climatológicas y propiedades del suelo de la región, así como en diferentes modalidades de fertilización para evaluar rendimientos y calidad. Los resultados muestran que una posible sustitución del tipo de tratamiento actual a base de estiércol fresco de res por un tratamiento a base de lixiviado de composta puede tener un ligero incremento en el rendimiento del cultivo y beneficios ambientales. Los autores concluyen que la extracción y aprovechamiento del mucílago del nopal se puede llevar a cabo por los propios productores y también puede ser evaluado como subproducto en industrias productivas para mejorar materiales de construcción.

Moctezuma Lopez (2019) realizó una investigación con el objetivo de “evaluar el programa de trabajo de los extensionistas agrícolas de la cadena agroproductiva nopal dirigido a pequeños productores dentro de los niveles I y II de la CDMX (aquellos que tiene las menores superficies y hatos ganaderos)”, con el acompañamiento del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), para presentar ante la SADER y el Gobierno de la CDMX los resultados de la cadena agroproductiva del nopal del año 2018. Este trabajo analizó 24 innovaciones en 245 parcelas de productores de nopal en las alcaldías de Milpa Alta y Xochimilco mediante recorridos de campo. Los resultados dieron a conocer la disminución en la producción y la superficie sembrada debido al crecimiento de la mancha urbana, sin embargo, menciona que la tendencia en el valor de la producción es positiva debido a la gran demanda de este producto. Otros de los resultados indican que la participación de las mujeres (41.6%) en las parcelas se ha incrementado, mientras que la intervención de los productores jóvenes es escasa ya que sólo alcanzó un 16.3%, adicionalmente, observó un incremento en el número de productores que utilizaron las buenas prácticas de cultivo en un 39%, las cuales les permitieron pasar de dos a cinco nuevos productos de nopal con un valor agregado significativo. El autor concluye que el principal beneficio detectado por los productores de nopal de la CDMX fue el del valor agregado por la transformación de nopal en productos empacados y con etiquetas que lograron mejores precios, así como incrementos en el rendimiento medio por hectárea y mejores precios de

venta por comercializar fuera del centro de acopio, lo cual les permitió incrementar sus ingresos.

Reyes-Terrazas et al. (2023) hicieron un estudio con el objetivo de diagnosticar los sistemas de cultivo de nopal verdura en Cuautlacingo, Otumba, Estado de México y proponer estrategias para mejorar su funcionamiento. Aplicaron a 47 productores un cuestionario estructurado en tres secciones: 1) características socioeconómicas de las unidades de producción; 2) características del sistema de cultivo de nopal verdura; y 3) itinerario técnico del sistema de cultivo de nopal verdura. El procesamiento de datos se ejecutó mediante un análisis de conglomerados en el cual identificaron dos grupos de productores cuyas diferencias principales son tiempo dedicado a la producción de nopal verdura, superficie disponible, mano de obra, destino de la producción, número de activos con los que cuentan, densidad de población de plantaciones, variedades de nopal y rendimiento. Sus resultados muestran las problemáticas a las que se enfrentan los productores tales como la incidencia de plagas y enfermedades, escasa tecnificación, organización y canales de comercialización, necesidad de capacitación y acompañamiento técnico y carencia de impulso gubernamental. Los investigadores concluyeron que la producción estacional y el desconocimiento del valor agregado del nopal han propiciado que la principal vía de comercialización se concentre en el mercado regional por lo que recomiendan conjuntar esfuerzos para planear acciones, atender y desarrollar los nichos de producción de la región y buscar alternativas para aumentar la competitividad del nopal verdura

4.3 Materiales y métodos

La investigación se realizó en el pueblo de San Francisco Tecoxpa perteneciente a la Alcaldía Milpa Alta en la Ciudad de México, tiene una extensión territorial de 990 hectáreas aproximadamente y experimenta tres tipos de clima durante el transcurso del año: el frío que inicia desde principios de noviembre hasta mediados de febrero, el caluroso el cual abarca desde las últimas semanas de febrero hasta finales de junio y el lluvioso con inicios en julio y culminación en el mes de octubre. Este pueblo

originario se encuentra ubicado a 2,361 metros sobre el nivel del mar (Gobierno de la Ciudad de México, 2023), colinda con los pueblos de San Antonio Tecómitl, San Jerónimo Miacatlán, Malacachtepec Momoxco, San Juan Tepenáhuac y San Agustín Ohtenco.

La población del objeto de estudio resultó de la depuración del padrón de productores de la zona ejidal del pueblo de San Francisco Tecoxpa registrados en el sistema de información del Registro Agrario Nacional (RAN). La muestra se determinó con la fórmula para población finita (Aguilar-Barojas, 2005); después de realizar las operaciones algebraicas necesarias, se obtuvo un tamaño de muestra de 27 ejidatarios dedicados a la producción de nopal que utilizan la tecnología ecoinnovadora. La selección de los encuestados se llevó a cabo mediante un muestreo aleatorio simple, tomando en cuenta que los agricultores cumplan en su totalidad los siguientes criterios :

- Estar registrados como beneficiarios en los programas sociales de la Dirección General de la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural (CORENADR)¹⁵, ya que esta institución promueve la aplicación de procesos y prácticas ecológicas en los sistemas de producción agrícolas.
- Que los beneficiarios no utilicen ningún tipo de agroquímicos dentro de la parcela, pues de lo contrario no se pueden considerar productores ecoinnovadores.
- La producción obtenida debe ser vendida al mayoreo, pues el tipo de mercado al que los productores se dirigen impacta directamente en la cosecha y por ende en la producción registrada.

Se descartaron los datos de tres agricultores entrevistados por el uso de agroquímicos y tres por vender al menudeo, cabe mencionar que la producción de

¹⁵ Se utilizaron estas listas ya que las reglas de operación de los programas sociales aplicados por dicha institución cumplen las características de la definición de tecnología ecoinnovadora de este trabajo, por lo cual se considera a los beneficiarios de dichos programas como productores ecoinnovadores.

uno de los últimos fue severamente afectada por el estado de salud crítico que sufrió el productor. Por lo tanto, la muestra se redujo a 21 agricultores.

Se utilizó una metodología mixta basada en la recolección, análisis y vinculación de datos cualitativos y cuantitativos con la finalidad de lograr una perspectiva más integral, amplia y profunda del fenómeno estudiado; la parte cualitativa permitió estudiar la productividad desde el contexto social de los agricultores mientras que la cuantitativa mide el impacto de las variables que afectan la producción de nopal.

Variables de estudio

Las variables utilizadas en esta investigación se especifican a continuación:

Producción de nopal (Y) medido por el número de piezas producidas anualmente (para obtener los datos de dicha variable se realizó una estimación a partir del número de cajas cosechadas por semana en cada temporada multiplicada por el número de piezas contenidas en cada caja; la sumatoria de las tres temporadas dio como resultado el número de piezas cosechadas en el último año).

Mano de obra utilizada en la parcela (X_1) se encuentra medido en horas hombre. El valor de esta variable emana del producto dado entre el número de personas que laboran en la parcela (tanto familiares como contratadas) y la cantidad de horas trabajadas dentro de la parcela de cada individuo por semana; el resultado se multiplica por 52 semanas¹⁶ para obtener el valor final de la variable.

El valor económico de los fertilizantes (X_2) y plaguicidas (X_3) ocupados en la unidad de producción, provienen de la sumatoria de los insumos requeridos en cada variable multiplicados por sus respectivos precios de mercado al año 2023. Se consideran fertilizantes al abono orgánico proveniente del estiércol de animal, la hoja seca de los árboles, y cualquier producto que ayude mejorar las propiedades nutrimentales del suelo. Por otro lado, se consideran plaguicidas a todos aquellos insumos utilizados para prevenir o eliminar insectos, maleza, hongos o plagas que se presenten dentro de la parcela.

¹⁶ Cantidad de semanas que tiene un año.

Cabe mencionar que las operaciones matemáticas descritas anteriormente en cada variable fueron aplicadas a los datos obtenidos de los 21 productores encuestados.

Medición de la productividad

Una vez completada la base de datos, de acuerdo con las especificaciones de cada una de las variables, se realizó una función de producción de tipo Cobb Douglas multivariada con error multiplicativo (Castellanos-Pérez, Martínez-Garza, Beatriz-Colmenares, Martínez-Damián, & Rendón-Sánchez, 2006) para obtener la productividad total de los campesinos que utilizan una tecnología ecoinnovadora en el cultivo de nopal.

Para la estimación del modelo se aplica un logaritmo base 10 a todos los valores contenidos en la base de datos, posteriormente se realiza una regresión lineal múltiple, con la cual se obtienen los coeficientes de regresión (α_i) que permiten construir el modelo *log – log* o doble logarítmico tal como se muestra a continuación.

$$\log Y = \log(\alpha_0) + \alpha_1 \log(x_1) + \alpha_2 \log(x_2) + \alpha_3 \log(x_3) + \log(u_i) \quad (1)$$

La función producción tipo Cobb Douglas se obtiene al aplicar un antilogaritmo a la ecuación 1, la expresión matemática resultante se encuentra compuesta de la siguiente forma:

$$Y = \alpha_0 x_1^{\alpha_1} x_2^{\alpha_2} x_3^{\alpha_3} u_i \quad (2)$$

Donde:

Y = Producción de nopal

X_1 = Mano de obra

X_2 = Fertilizantes

X_3 = Plaguicidas

α_0 = Constante (tecnología)

α_i = Coeficiente de regresión del insumo i .

u_i = Término de perturbación estocástica¹⁷.

¹⁷ Sustituye las variables omitidas en el modelo que pueden afectar la producción.

La ecuación 2 permite conocer, por medio de la $\sum \alpha_i$, el tipo de rendimientos a escala de la tecnología ecoinnovadora utilizada en la producción de nopal verdura. Estos rendimientos muestran el aumento o disminución de la producción ante un cambio en los insumos, es decir, si la sumatoria de $\alpha = 1$, la función tiene rendimientos constantes a escala lo cual significa que si se duplican los insumos, la producción cambiará en la misma proporción; si la sumatoria de $\alpha > 1$, la función tiene rendimientos crecientes a escala, esto representa que si la duplicación de los insumos aumenta, la producción incrementa en más del doble; mientras que si la sumatoria de $\alpha < 1$ corresponde al caso de rendimientos decrecientes a escala lo que quiere decir que al duplicar los insumos, la producción crece en menos del doble (Gujarati & Porter, 2010). Es importante mencionar que el coeficiente de cada variable x_i mide la elasticidad (parcial) de la variable dependiente respecto de esa variable (Gujarati & Porter, 2010, pág. 208).

Se evaluó la validez del modelo utilizando diferentes pruebas estadísticas tales como el coeficiente de determinación o bondad de ajuste (R^2 ajustado), el valor $p < 0.05$, como medidas de significancia del modelo estimado y una matriz de correlaciones parciales para saber si existe o no colinealidad entre las variables independientes. Todo lo anterior relacionado con la creación y viabilidad del modelo fue realizado con ayuda de la herramienta de “análisis de datos” contenida en el software Microsoft Excel 2021.

Óptimos parciales de producción

Con la finalidad de encontrar los óptimos de producción para la función de tipo Cobb Douglas, se emplea el método de óptimos parciales de los factores y se toma el supuesto de competencia perfecta. Para llevar a cabo el método señalado anteriormente es necesario conocer la productividad marginal de los factores y la relación insumo producto.

Productividad marginal

El producto marginal de un factor productivo permite analizar las variaciones de la producción ante un cambio en un solo factor de producción manteniendo constantes todos los demás factores de producción, es decir, esta función permite conocer el producto adicional que se puede obtener empleando una unidad más de ese factor productivo (Nicholson, 2008). Matemáticamente la función de productividad marginal se obtiene de la primera derivada parcial de la función de producción respecto al factor analizado.

Relación Insumo/Producto

La relación insumo producto refleja las relaciones económicas entre la producción y los factores o insumos requeridos (INEGI, 2018). Dicha relación se obtiene al dividir el precio del insumo entre el precio del producto; el resultado muestra la cantidad de unidades de producto necesarias para adquirir una unidad de insumo. “A menor valor de la relación, más favorable resulta la situación, ya que se requiere menos cantidad de producto para adquirir una unidad de insumo. A la inversa, un valor más grande de la relación, indica un peor término de intercambio; señalando que una unidad de producto alcanza para adquirir menor cantidad del mismo insumo” (Fernández Azpiroz & Freiría Carballo, 2020).

Óptimos parciales

Una vez obtenidas las funciones de productividad marginal y las relaciones insumo producto, se puede calcular el valor óptimo de cada factor de la producción; dicho valor proviene de igualar la función del producto marginal con su respectiva relación insumo producto y posteriormente se despeja la variable correspondiente a cada factor.

Finalmente se sustituye el valor óptimo obtenido en la ecuación tipo Cobb Douglas (manteniendo constantes lo demás factores, en este caso se toman los valores promedio de cada factor) para conocer la cantidad óptima de producción.

4.4 Resultados

4.4.1 Caracterización de los productores

El cultivo de nopal actividad es desarrollada principalmente por hombres, pues de los productores entrevistados el 66% son hombres y el 34% pertenecen del género femenino, sin embargo, estos datos son opuestos a los encontrados por López-Flores & Omaña-Silvestre (2023), pues en las entrevistas realizadas a productores de toda la alcaldía, registraron un número reducido de hombres en comparación con las mujeres. La edad de los campesinos oscila entre los 20 y los 70 años, información corroborada por López-Flores & Omaña-Silvestre (2023); en la Figura 1 se aprecia que casi el 70% se encuentran en un rango de edad entre 50 y 69 años denotando la pequeña participación de productores jóvenes (Rodríguez Medina, *et al.* 2021).

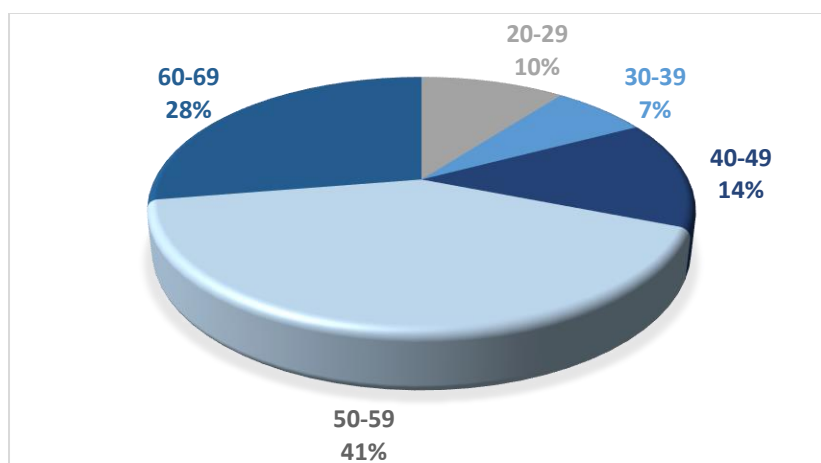


Figura 1 Edad de los productores por rangos de edad.
Fuente: Elaboración propia

El 90% de los productores aprendieron los conocimientos necesarios para el cultivo de nopal por medio de algún familiar cercano como padres, abuelos, tíos o suegros.

La escolaridad promedio de los productores de nopal que utilizan la tecnología ecoinnovadora es secundaria con un 48%. El máximo nivel de estudios registrado por los agricultores entrevistados es medio superior con un 31%, el porcentaje restante (21%) representa a los campesinos que estudiaron únicamente la primaria. Rodríguez Medina, *et al.* (2021) también encontró que en los productores de toda la

alcadía, la escolaridad promedio es secundaria, aunque sus resultados mostraron que existen productores sin ningún tipo de escolaridad y productores con estudios de posgrado.

La unidad familiar es un componente importante en el contexto sociocultural de los productores. La información recopilada indica que las familias de los agricultores suelen estar compuestas por el jefe de familia, su pareja y los hijos; ocasionalmente también se incluyen a los padres de uno de los cónyuges, quienes son personas de la tercera edad¹⁸. Las familias de las personas entrevistadas suelen estar formadas por dos o tres personas. Todos los agricultores encuestados tienen integrantes en edad productiva¹⁹.

4.4.2 Unidades de producción y el sistema de cultivo

Los datos de la población muestreada indican que casi el 80% de las parcelas son utilizadas en su totalidad por los productores, el porcentaje restante tiene entre 10% y 20% de superficie no ocupada.

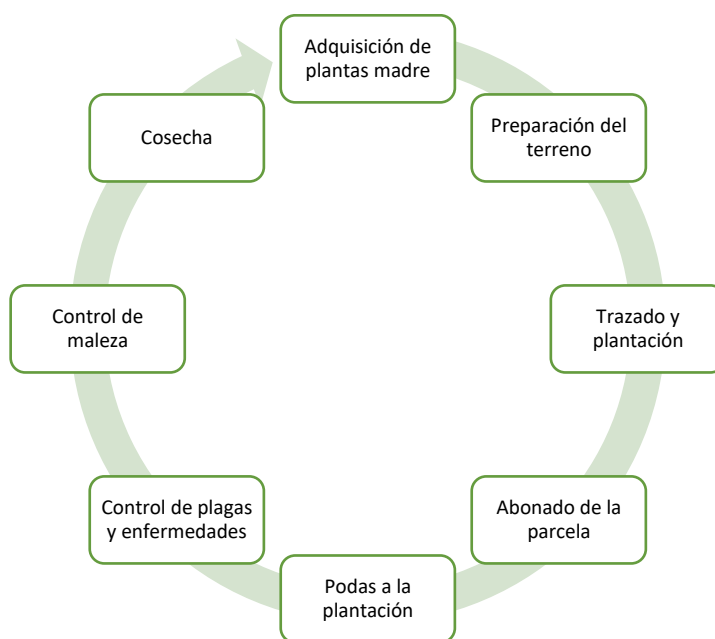
El 7% del total de las parcelas registradas en la investigación son trabajadas por individuos diferentes al titular original de la parcela ejidal o sus herederos, aunque todas las parcelas, ya sean propias o alquiladas, emplean mano de obra familiar.

El cultivo de nopal permite a los agricultores tener empleo e ingresos durante todo el año, no obstante, la carga de trabajo y la producción varían de acuerdo con la temporalidad. Rodríguez Medina, *et al.* (2021) encontró que la producción de nopal es solo una actividad complementaria de ingresos, ya que 42% de sus encuestados indicó que percibe otros ingresos además de los obtenidos por el cultivo de la cactácea.

Actualmente el proceso productivo se compone de ocho etapas (Ver Figura 2) dentro de las cuales, se han implementado ecoinnovaciones en los últimos años, promovidas por los programas sociales de la CORENADR.

¹⁸ Se consideran personas de la tercera edad a los individuos mayores de 76 años.

¹⁹ En este trabajo el rango de edad productiva abarca de los 15 hasta los 75 años.



*Figura 2 Proceso productivo del nopal.
Fuente: Elaboración propia*

Estos programas promueven una gran diversidad de técnicas y prácticas más amigables con el medio ambiente que ayudan a mejorar la productividad de las parcelas, mientras generan alimentos sanos y nutritivos (SADER, 2022). Torres Lima et al. (2019) afirma que el tipo de capacitación ofrecida a los productores se enfoca a aspectos relacionados con la producción. Los agricultores mencionan que la actividad fundamental es la elaboración de bioinsumos. para sus parcelas.

La utilización de caldos orgánicos ha colaborado en la reducción gradual de fertilizantes y plaguicidas químicos en las parcelas de los productores ecoinnovadores. El caldo o bordelés es una de las preparaciones más utilizadas por los ejidatarios entrevistados, esta mezcla a base de agua, hidróxido de calcio y sulfato de cobre ayuda a prevenir y controlar casi todas las enfermedades presentadas en el cultivo de nopal. Mientras que el caldo sulfocálcico²⁰ aporta nutrientes para el crecimiento y la producción de la planta, de igual forma previene y controla algunas plagas y enfermedades.

²⁰ Preparación a base de azufre, cal viva y agua.

Otra de las prácticas implementadas recientemente por el 48% de los campesinos es el policultivo, además del nopal, también han sembrado árboles frutales, hortalizas, granos básicos, plantas medicinales y maguey pulquero, aunque la producción obtenida es principalmente para consumo familiar.

Es importante mencionar el apoyo económico que reciben los productores registrados en los programas de la CORENADR, ya que es la principal razón por la cual los campesinos comenzaron a implementar nuevas prácticas en su forma de producción.

4.4.3 Función producción tipo Cobb-Douglas

Con los datos obtenidos de los productores que utilizan la tecnología ecoinnovadora en la comunidad de Tecoxpa, se realizó la estimación de los valores para integrar la función producción tipo Cobb Douglas. Por su parte, Rodríguez-Medina *et al.* (2022) utiliza la producción de nopal como una variable explicativa del ajuste de los precios del nopal en Milpa Alta ante el crecimiento de la zona productora de Morelos.

Los resultados de la regresión lineal múltiple (Cuadro 6) muestran que el 72% de los cambios en la producción total de nopal verdura se explican por las variaciones de la mano de obra, los fertilizantes y los plaguicidas (R^2 ajustado). La prueba de significancia global, el estadístico F revela que en conjunto las variables incluidas en el modelo son estadísticamente significativas ya que tiene un valor de 18.92 con una probabilidad de ocurrencia menor al 5%. Por su parte, el *valor de p* muestra a la variable fertilizantes como el único factor no significativo, sin embargo, los datos de esta variable si ayudan a explicar el modelo en conjunto.

Cuadro 6 Resultados de estimación del modelo logarítmico.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0.87725671
Coeficiente de determinación R^2	0.76957934
R^2 ajustado	0.72891687
F	0.22427917
Valor crítico de F	18.9260356
Error típico	1.1664E-05

	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico</i>	
			<i>t</i>	<i>Probabilidad</i>
Intercepción	1.52379366	1.06714676	1.42791387	0.17143009
Mano de obra	0.56230855	0.19799981	2.83994496	0.01131186
Fertilizantes	0.10945818	0.25292911	0.4327623	0.67062773
Plaguicidas	0.56559346	0.13799138	4.09875926	0.00074873

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 7 se muestra la matriz de correlaciones parciales, en ella se confirma que no existen problemas de multicolinealidad entre las variables independientes para la explicación de la producción del nopal con tecnología ecoinnovadora.

Cuadro 7 Matriz de correlaciones parciales

	<i>Producción anual</i>	<i>Mano de obra</i>	<i>Fertilizantes</i>	<i>Plaguicidas</i>
Producción anual	1			
Mano de obra	0.686494314	1		
Fertilizantes	0.473269726	0.323121219	1	
Plaguicidas	0.807754658	0.482940291	0.49067692	1

Fuente: Elaboración propia.

En los resultados de estimación se observa, por medio los coeficientes de cada variable, la existencia de una relación positiva directa entre la producción de nopal los factores considerados. El modelo logarítmico²¹ se denota en la siguiente expresión:

$$\log Y = \log(1.52) + 0.56 \log(x_1) + 0.11 \log(x_2) + 0.56 \log(x_3) + \log(u_i) \quad (4)$$

Donde los coeficientes de cada variable indican la elasticidad (parcial) de la producción, en otras palabras, señalan el cambio porcentual de la producción, ante una modificación en los insumos utilizados tal como se describe en seguida.

Elasticidad de x_1 : el aumento de un 1% de la mano de obra, aumenta la producción en 0.56 % manteniendo los demás factores constantes.

²¹ Los números utilizados en la expresión logarítmica son el resultado de redondear los dígitos obtenidos en la estimación.

Elasticidad de x_2 : se entiende que ante el aumento del 1% de los fertilizantes, la producción crece en 0.11 % (Ceteris paribus).

Elasticidad de x_3 : el aumento de un punto porcentual en los plaguicidas agranda la producción en 0.57% (Ceteris paribus).

Al aplicar antilogaritmo a la función (4) se obtiene la función no lineal tipo Cobb-Douglas:

$$Y = 33.4 x_1^{0.56} x_2^{0.11} x_3^{0.57} u_i \quad (5)$$

La suma de los coeficientes evidencia que la función tiene rendimientos crecientes a escala, pues el resultado de la sumatoria es igual a 1.23, por lo tanto, la producción aumentará en una proporción superior al incremento de los insumos.

4.4.4 Óptimos parciales de producción

Para poder obtener los óptimos parciales de la producción se deben obtener primero los productos marginales y la relación insumo-producto de cada uno de los factores que resultaron estadísticamente significativos. A continuación, se exponen las expresiones matemáticas realizadas para obtener las funciones de productividad marginal.

Productividad marginal de la mano de obra:

$$\frac{\partial Y}{\partial x_2} = 33.4 (0.56) x_1^{(0.56-1)} x_2^{0.11} x_3^{0.57} u_i = PmgX_2 = \frac{18.78 x_2^{0.11} x_3^{0.57} u_i}{x_1^{0.44}} \quad (6)$$

Productividad marginal de los plaguicidas:

$$\frac{\partial Y}{\partial x_3} = 33.4 (0.57) x_1^{0.56} x_2^{0.11} x_3^{(0.57-1)} u_i = PmgX_3 = \frac{16.2 x_1^{0.56} x_2^{0.11} u_i}{x_3^{0.43}} \quad (7)$$

El Cuadro 8 muestra las ecuaciones necesarias para obtener el precio unitario del producto, y los insumos tomando en cuenta el precio del producto y los factores en 2023

Cuadro 8 Precios

Insumo	Fórmula para el precio unitario	Sustitución	
Pieza de nopal ²²	$\frac{\text{Precio de la caja de nopal}}{\text{Número de piezas promedio en una caja}}$	$\frac{\$124.11}{200}$	\$ 0.6205
Mano de obra	$\frac{\text{Precio de la mano de obra}}{\text{Número de horas por jornal}}$	$\frac{\$300}{8}$	\$37.5
Plaguicidas	$\frac{\text{Costo total de los plaguicidas}}{\text{Total de productores}}$	$\frac{\$1828.3}{21}$	87.06

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 9 se aprecian las relaciones insumo-producto de los factores mano de obra y plaguicidas.

Cuadro 9 Relación insumo-producto

Relación insumo producto	Sustitución de valores	Relación final	Interpretación
$\frac{\text{Precio de la mano de obra por hora}}{\text{Precio del nopal por pieza}}$	$\frac{\$37.5}{\$0.6205}$	60.43	Se necesitan vender 61 piezas de nopal para pagar una hora de trabajo.
$\frac{\text{Precio de los Plaguicidas por kilo}}{\text{Precio del nopal por pieza}}$	$\frac{\$87.06}{\$0.6205}$	140.3	Es necesario vender 141 piezas de nopal por cada kilo de plaguicida ocupado dentro de la parcela.

Óptimos de los factores

Los óptimos de los factores se obtuvieron con los valores promedio de cada factor, en la Cuadro 10 se aprecian estos valores.

Cuadro 10 Valores promedio de los factores

Mano de obra	Fertilizantes	Plaguicidas
5,492	24,365.7	1,123.8

Fuente: Elaboración propia.

²² Se ocupa el promedio ponderado debido a la fluctuación encontrada en el precio del producto respecto a su temporalidad.

La estimación de los valores óptimos se obtuvo al igualar la productividad marginal y la relación insumo producto de ese factor, posteriormente se despeja la variable a optimizar y se sustituyen los valores promedio de los otros factores. El Cuadro 11 muestra las funciones utilizadas para optimizar cada factor y sus resultados.

Cuadro 11 Óptimos de los factores

Insumo	Fórmula para optimizar el factor	Óptimo del factor
Mano de obra	$X_1 = \frac{\sqrt[0.44]{18.78 (24,365.7)^{0.11} (1,123.8)^{0.57}}}{\sqrt[0.44]{60.43}}$	7,580.77
Plaguicidas	$X_3 = \frac{\sqrt[0.43]{16.2 (5,492)^{0.6} (24,365.7)^{0.1}}}{\sqrt[0.43]{140.3}}$	8,743.72

Fuente: Elaboración propia.

Para encontrar los niveles de producción correspondientes a los valores óptimos encontrados, se sustituyen el número obtenido y valor promedio de los otros factores en la función producción tipo Cobb-Douglas (Ver Cuadro 12).

Cuadro 12 Producción óptima

Factor optimizado	Sustitución del valor optimo	Producción óptima estimada
mano de obra	Y $= 33.4(7,580.77)^{0.56} (24,365.7)^{0.11} (1123.8)^{0.57}$	814,704.60
Plaguicidas	Y $= 33.4(5,492)^{0.56} (24,365.7)^{0.11} (8,743.72)^{0.57}$	2,168,957.66

Fuente: Elaboración propia.

El modelo econométrico y los óptimos parciales estimados permiten hacer una comparación entre los datos observados y los datos estimados para conocer la relación de los factores que pueden ayudar a los productores a obtener el máximo beneficio.

Cuadro 13 Comparación entre los datos estimados y los observados

Factor	Valor Óptimo	Valor promedio observado	Producción Estimada	Producción Observada
--------	--------------	--------------------------	---------------------	----------------------

Mano de obra	$X_2 = 7,580.77$	5,492.19	814,704.60	602,457.14
Plaguicidas	$X_3 = 8,743.7$	1,123.76	2,168,957.66	602,457.14

Fuente: Elaboración propia.

El Cuadro 13 indica que los agricultores no están utilizando el factor de la mano de obra de manera óptima, ya que el valor óptimo se encuentra muy alejado del valor promedio, por lo cual si decidieran optimizar este factor deberían trabajar aproximadamente 948 jornales al año en lugar de los 687 jornales que emplean actualmente, ya que, esta cantidad no es suficiente para optimizar el factor y obtener el máximo beneficio de la producción.

También se puede observar que los campesinos no invierten lo suficiente en plaguicidas ya que la inversión promedio de este insumo está muy alejado del valor óptimo, por lo tanto, si los productores optaran por optimizar x_3 necesitarían invertir \$7,620.00 (siete mil seiscientos veinte pesos y 00/100 M.N.) más de lo que invierten actualmente causando un incremento en la producción de un poco más de millón y medio de piezas.

Como se pudo observar, este método indica que ninguno de los recursos está siendo optimizado, por lo que se recomienda optimizar el factor mano de obra, pues de los dos insumos estadísticamente significativos, la mano de obra es el factor el mejor ocupado actualmente.

4.5 Conclusiones

El cultivo del nopal es una de las actividades económicas más importantes en el pueblo de San Francisco Tecoxpa que ha sido heredada de generación en generación, es una de las comunidades con más producción de nopal en toda la alcaldía Milpa Alta.

Los programas sociales de la CORENADR juegan un papel fundamental para la implementación de la tecnología ecoinnovadora en las parcelas ejidales tecoxpenses, ya que, gracias a ellos el número de productores que utilizan prácticas

agroecológicas en su proceso de producción han incrementado en los últimos años. La utilización de caldos orgánicos para mejorar los nutrientes del suelo, prevenir y controlar plagas y enfermedades ha disminuido significativamente el uso de agroquímicos en las nopaleras de los campesinos entrevistados.

El análisis de productividad mediante la función de producción tipo Cobb-Douglas estimada para los agricultores que utilizan la tecnología ecoinnovadora indica que el 77% de las variaciones que ocurren en la producción total, se explica por los factores: mano de obra, fertilizantes y plaguicidas. Además, el modelo permite observar, por medio de la elasticidad de los factores, que los plaguicidas y la mano de obra influyen casi en la misma proporción en la producción, finalmente este modelo econométrico determina que la productividad de los agricultores tiene rendimientos a escala crecientes.

El método de óptimos parciales, aplicado cada uno de los factores que resultaron estadísticamente significativos dentro del modelo, indicó que ninguno de los recursos está siendo optimizado, pues los valores observados se encuentran por debajo de las cantidades óptimas de cada insumo. Se recomienda optimizar el factor mano de obra, puesto que este insumo es el que mejor se utiliza actualmente.

4.6 Literatura citada

- Aguilar-Barojas, S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Salud en Tabasco*, 11(1-2), 333-338. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/487/48711206.pdf>
- Bula, A. (2020). Importancia de la Agricultura en el Desarrollo. *nformes del Observatorio de la Universidad Nacional de Rosario (UNR)*(50), 1-29.
- Carrillo González, G., & Ríos Estrada, R. S. (2020). Presentación. En G. Carrillo González, & R. S. Ríos Estrada, *Una mirada a la ecoinnovación en organizaciones locales en México. Nuevos marcos explicativos* (pág. 230). México: UAM-X.
- Carrillo González, G., Mota Martínez, E. O., & Ramírez Alcántara, H. T. (2020). Xuajin Me'Phaa. Un modelo de ecoinnovación agroecológica en la Montaña de Guerrero. En G. Carrillo González, & R. S. Ríos Estrada, *Una mirada a la ecoinnovación en organizaciones locales en México. Nuevos marcos explicativos* (págs. 79-105). México: UAM.
- Castellanos-Pérez, M., Martínez-Garza, Á., Beatriz-Colmenares, C., Martínez-Damián, M. Á., & Rendón-Sánchez, G. (2006). Región confidencial para el

- óptimo económico de una función de producción Cobb-Douglas. *Agrociencia*, 40(1), 117-1224. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v40n1/1405-3195-agro-40-01-117.pdf>
- CONABIO. (2020). *¿Cuál es la importancia ecológica y económica del nopal en México?* Obtenido de Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO): <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/cactoblastis/cacto/importancia.htm>
- Dirección general de planeación del desarrollo. (2023). *Padrones de beneficiarios a los apoyos sociales de la alcaldía Milpa Alta*. Obtenido de Alcaldía Milpa Alta : https://www.milpa-alta.cdmx.gob.mx/padrones/Rural/2021/programas_sociales_2021/PIAPRO N.PDF
- FAO. (2020). *Innovar para el futuro de la alimentación y la agricultura*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1170985/>
- FAO. (2023). *Plataforma de conocimientos sobre agricultura familiar: Innovación y agricultura familiar*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <https://www.fao.org/family-farming/themes/innovation-in-family-farming/es/>
- Fernández Azpiroz, J., & Freiría Carballo, G. (2020). Comportamiento de la relación de precios “INSUMO – PRODUCTO” 30 años de evolución. *Revista del Plan Agropecuario*, 73-76.
- Galicia-Villanueva, S., Escamilla-García, P. E., Alvarado-Raya, H., Aquino-González, L. V., Serna-Álvarez, H., & Hernández-Cruz, L. M. (2017). Plantación experimental de nopal para evaluación de sistemas de fertilización y extracción de mucílago. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(5), 1087-1099. doi:<https://doi.org/10.29312/remexca.v8i5.110>
- Gobierno de la Ciudad de México. (2023). *Barrios y colonias: San Francisco Tecoxpa*. Obtenido de La guía oficial para visitantes de la Ciudad de México: <https://mexicocity.cdmx.gob.mx/venues/san-francisco-tecoxpa/?lang=es>
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2010). Análisis de regresión múltiple: el problema de estimación. En D. N. Gujarati, & D. C. Porter, *Econometría* (pág. 922). México: McGraw-Hill.
- INEGI. (2018). *Economía y Sectores Productivos: Matriz de insumo producto*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística y Geografía: <https://www.inegi.org.mx/temas/mip/>
- Kiesling, R., & Metzger, D. (2018). Origen and taxonomía de *Opuntia ficus-indica*. En FAO, & ICARDA, *Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal* (pág. 229). FAO.

- López-Flores, M. M., & Omaña-Silvestre, J. M. (2023). Modelo de desarrollo para el aprovechamiento de nopal verdura en Milpa Alta, Ciudad de México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 20(4), 408–424. doi:<https://doi.org/10.22231/asyd>.
- Moctezuma Lopez, G. (2019). Innovaciones tecnológicas en la cadena agroproductiva nopal (opuntia spp) en la ciudad de México (CDMX) por medio del programa extensionismo. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 45, 299-313. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/141/14162394004/html/>
- Nicholson, W. (2008). Funciones de producción. En W. Nicholson, *Teoría microeconómica. Principios básicos y ampliaciones*. (9 ed., págs. 183-211). México: Cengage Learning Editores.
- OCDE. (2023). *Productividad e innovación agrícola*. Obtenido de Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos: <https://www.oecd.org/agriculture/topics/agricultural-productivity-and-innovation/>
- Ochoa, M. J., & Barbera, G. (2018). Historia e importancia agroecologica y economica del Nopa. En FAO, & ICARDA, *Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal* (pág. 229). FAO.
- ONU. (1987). *Report of the World Commission on Environment and*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas Development: Our Common Future: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>
- RAE. (2022). *Definición de productividad*. Obtenido de Real Academia Española: <https://dle.rae.es/productividad>
- Reyes-Terrazas, A. S., Flores-Sánchez, D., Navarro-Garza, H., Pérez-Olvera, M. A., & Almaguer-Vargas, G. (2023). Características y retos del sistema de cultivo nopal verdura en Cuautlacingo, Otumba. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(2), 211-222. doi:<https://doi.org/10.29312/remexca.v14i2.3079>
- Rodríguez Medina, O., Delgadillo Macías, J., & Sánchez Silva, M. (2021). Perfil del productor de nopal de Milpa Alta en el diseño de políticas sectoriales. *Argumentos. Estudios Críticos De La Sociedad*(96), 229-253. doi:<https://doi.org/10.24275/uamxoc-dcsh/argumentos/2021961-10>
- Rodríguez-Medina, O., Torres-Torres, F., & Alvarado-Lagunas, E. (2022). Competencia y transmisión de precios en la producción de nopal en Milpa Alta, Ciudad de México y Tlalnepantla, Morelos. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 19(2), 184-212. doi:<https://doi.org/10.22231/asyd.v19i2.1341>
- SADER. (2022). *Manuales prácticos para la elaboración de bioinsumos*. Obtenido de Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737328/4_Caldo_bordele_s.pdf

- SADER. (29 de 06 de 2023). *Hablemos de... la agricultura en México (Parte 1)*. Obtenido de Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural : <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/hablemos-de-la-agricultura-en-mexico-parte-1>
- SEMARNAT. (18 de Septiembre de 2022). *Día Nacional del Nopal 2022*. Obtenido de Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/dia-nacional-del-nopal-2022#:~:text=M%C3%A9xico%20es%20el%20primer%20productor,Bot%C3%A1nica%20y%20Zoolog%C3%ADa%20del%20Centro>
- SIAP. (2023). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Obtenido de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera : <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Torres Lima, P., Portes Vargas, L., Reyes Rivera, O., & Berrocal Martínez, T. (2019). Extensión rural en la Ciudad de México. Propuesta de un sistema de innovación y co-producción de tecnología. *Sociedades rurales, producción y medio ambiente*, 19(37), 15-44. Obtenido de <https://sociedadesruralesojs.xoc.uam.mx/index.php/srpma/article/view/415/394>
- Villavicencio Carbajal, D., & Carrillo González, G. (2020). La noción de ecoinnovación y el debate en el ámbito local. En G. Carrillo González, & R. S. Ríos Estrada, *Una mirada a la ecoinnovación en organizaciones locales en México. Nuevos marcos explicativos* (págs. 17-40). México: UAM-X.

5 ANÁLISIS COMPARATIVO DE PRODUCTIVIDAD ENTRE DOS TECNOLOGÍAS APLICADAS AL CULTIVO DE NOPAL

5.1 Resumen

El aumento de las necesidades alimentarias ha provocado la creación de nuevas tecnologías para intensificar la producción agrícola; sin embargo, la mayoría de estos procesos contribuyen al deterioro ambiental, principalmente, por el uso indiscriminado de agroquímicos; por ello se ha convertido en una necesidad creciente la implementación de nuevas formas de producción más amigables con el medio ambiente, que no afecten la productividad de los productores. En algunas comunidades rurales se han implementado tecnologías ecoinnovadoras que ayudan a mitigar los inconvenientes causados por la agricultura moderna. El objetivo es evaluar la productividad obtenida mediante una tecnología convencional y una ecoinnovadora, a través de sus respectivas funciones de producción, en parcelas dedicadas al cultivo de nopal, en los ejidos de San Francisco Tecoxpa, con la finalidad de conocer cuál de las dos tecnologías ofrece una mayor productividad. Se utilizó una metodología mixta en la que se aplicó un cuestionario a los agricultores, y los datos obtenidos se modelaron en una función producción tipo Cobb-Douglas; además se emplea el método de óptimos parciales de los factores con la finalidad de encontrar los óptimos de producción. Los resultados indican que los factores de mayor impacto en la productividad de la tecnología convencional son la mano de obra, los fertilizantes y los plaguicidas, mientras los de la tecnología ecoinnovadora son únicamente la mano de obra y los plaguicidas; además muestran que ambas tecnologías tienen rendimientos crecientes a escala; sin embargo, los campesinos ecoinnovadores obtienen una producción mayor en comparación con los convencionales. El método de óptimos parciales revela que ninguno de los recursos está siendo optimizado. El estudio concluye que la tecnología ecoinnovadora es una mejor opción para los campesinos dedicados al cultivo de nopal, y se recomienda optimizar el uso de los insumos.

Palabras clave: tecnología convencional, tecnología ecoinnovadora, función de producción, óptimos parciales.

COMPARATIVE ANALYSIS OF PRODUCTIVITY BETWEEN TWO TECHNOLOGIES APPLIED TO THE CULTIVATION OF NOPAL

ABSTRACT

The increase in food needs has caused the creation of new technologies to intensify agricultural production; However, most of these processes contribute to environmental deterioration, mainly due to the indiscriminate use of agrochemicals; therefore, it has become a growing need to implement new forms of production that are more environmentally friendly, which do not affect the productivity of producers. In some rural communities, eco-innovative technologies have been implemented to help mitigate the drawbacks caused by modern agriculture. The objective is to evaluate the productivity obtained through a conventional and an eco-innovative technology, through their respective production functions, in plots dedicated to the cultivation of nopal, in the ejidos of San Francisco Tecoxpa, in order to know which of the two technologies offers higher productivity. A mixed methodology was used in which a questionnaire was applied to the farmers, and the data obtained were modeled in a Cobb-Douglas type production function; in addition, the method of partial optimums of the factors is used in order to find the production optimums. The results indicate that the factors with the greatest impact on the productivity of conventional technology are labor, fertilizers and pesticides, while those of eco-innovative technology are only labor and pesticides; they also show that both technologies have increasing returns to scale; however, eco-innovative farmers obtain a higher production compared to conventional farmers. The partial optimum method reveals that none of the resources are being optimized. The study concludes that eco-innovative technology is a better option for farmers dedicated to the cultivation of nopal, and it is recommended to optimize the use of the inputs.

Keywords: conventional technology, eco-innovative technology, production function, partial optimums.

5.2 Introducción

De acuerdo con el Banco Mundial (2022) la agricultura es fundamental para el crecimiento económico ya que ayuda a aumentar los ingresos y reducir la pobreza, sin embargo, los procesos agrícolas utilizados hoy en día, son uno de los problemas que contribuye al deterioro ambiental principalmente por el uso indiscriminado de agroquímicos que provocan la contaminación del agua, suelo y aire, asimismo, induce la pérdida de la biodiversidad y amenaza la salud de la población; si bien estas formas de producción son altamente rentables, las consecuencias ambientales a largo plazo serán fatales si no se realiza ninguna acción que ayude a mitigar los problemas causados por esta actividad. Debido a lo anterior, se ha convertido en una necesidad creciente la implementación de nuevas formas de producción agrícola que sean más amigables con el medio ambiente sin afectar la productividad de las cosechas. Actualmente en México se implementan ambos tipos de tecnologías agrícolas; cabe mencionar que los pequeños productores son quienes han comenzado a modificar sus procesos para convertirlos en formas de producción más ecológicas, tal es el caso de algunos productores de nopal en la alcaldía Milpa Alta, Ciudad de México.

El nopal es una cactácea endémica de México, considerada como una de las plantas de con más importancia económica en el país debido a sus numerosos usos en diferentes industrias tales como la gastronómica, cosmética, medicinal, entre otras (CONABIO, 2020), de acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México es el principal productor de nopal a nivel mundial, en 2022 el país registró una producción de aproximadamente 874 mil toneladas (SEMARNAT, 2022), a pesar de ello, la superficie nacional destinada para el cultivo de nopal disminuyó 128 hectáreas en dos años, pasó de 12,618 hectáreas en 2020 a 12,490 en 2022 (SADER, 2023).

La alcaldía Milpa Alta es la zona con más relevancia productiva en el cultivo de nopal (*Opuntia ficus-indica* Miller²³) de la Ciudad de México (CDMX), en 2022 registro 194,368 toneladas de esta verdura con un valor económico de aproximadamente 659.71 millones de pesos MXN en 2,184 hectáreas sembradas (SIAP, 2023). Las cifras anteriores destacan la importancia de este cultivo en el crecimiento económico de la región. Las comunidades con producción superior dentro de la demarcación son: Malacachtepec Momoxco, San Lorenzo Tlacoyucan y San Francisco Tecoxpa (Dirección general de planeación del desarrollo, 2023), este último obtiene su producción de tierras ejidales²⁴ y comunales, mientras que los otros dos solo la obtienen de suelo comunal, lo cual convierte a Tecoxpa como el principal productor de nopal a nivel ejidal de la Alcaldía.

Para fines del presente trabajo se denomina tecnología convencional al modo o estilo de producción de la agricultura caracterizada por la presencia de un monocultivo sembrado en parcelas con dimensiones menores a una hectárea, del cual 99% de la producción obtenida es destinada al mercado, además predomina el uso de agroquímicos como los insecticidas, plaguicidas y productos que aceleran la producción, el uso de maquinaria o equipos mecánicos, la utilización de la mano de obra familiar y contratada, “siendo el(la) jefe(a) de familia quien participa de manera directa del proceso productivo [...], ya sea como gerente o un trabajador más del núcleo familiar” (FAO-SAGARPA, 2012, pág. 48), finalmente también se considera el acceso limitado al capital. Por otra parte, se entiende por tecnología ecoinnovadora al proceso agrícola que modifica las técnicas tradicionales de producción²⁵ mediante el uso de prácticas agroecológicas, especialmente aquellas que ayudan eliminar o reducir los insumos químicos en la producción.

²³ Esta especie produce nopales tiernos para consumo humano.

²⁴ Es importante estudiar las tierras ejidales ya que el 42% de la superficie total pertenece a este tipo de propiedad social, además estos núcleos agrarios han presentado bajas condiciones productivas en los últimos años debido a la migración de la población joven (Morett-Sánchez & Cosío-Ruiz, 2017).

²⁵ Se entiende por técnicas tradicionales a las formas o métodos empleados a lo largo de tiempo por los campesinos y que han sido heredadas de generación en generación.

En los últimos años se han realizado estudios comparativos de diversos cultivos agrícolas en todo el mundo para medir su productividad con modelos econométricos, como la investigación realizada por Miranda Ramírez *et al.* (2020) en la que analiza la productividad de la papaya, en Michoacán, México; con el objetivo de comparar un modelo producción sustentable contra uno convencional, para identificar la producción agrícola y la relación beneficio-costo. El experimento se llevó a cabo en el año 2015 en dos unidades experimentales, una con tratamiento sustentable y la otra con tratamientos convencionales. En cada parcela utilizada para la experimentación se realizó un análisis detallado de las características físicas y químicas del suelo, una fase de fertilización y un proceso para la sanidad y prevención-control de plagas. Para realizar el análisis estadístico se aplicaron las siguiente pruebas de: Levene²⁶, Kolmogorov-Smirnov²⁷, y Lilliefors²⁸, adicionalmente, se llevó a cabo “un análisis de varianza multivariado para determinar las diferencias significativas de peso de fruto, número de frutos y sólidos solubles totales, en función de las condiciones de producción, empleándose un estadístico de prueba Pillai’s, finalmente se compararon los resultados de cada una de las variables entre las condiciones de producción, mediante una prueba no paramétrica U de Mann-Whitney”. Los indicadores económicos utilizados para cumplir con el objetivo fueron el costo total de la inversión, el ingreso total, la relación beneficio costo, la rentabilidad y punto de equilibrio. Los resultados fueron los siguientes:

Cuadro 14 Comparación de resultados de las variables de estudio

Variables	Modelo Sustentable	Modelo Convencional
Peso de fruto	1.71 kg	2.20 kg
Frutos por planta	38.0	53,72

²⁶ Esta prueba se aplica para comprobar la homogeneidad de varianzas.

²⁷ Utilizada para corroborar las condiciones de parametricidad.

²⁸ Aplicada para verificar de la normalidad de las distribuciones.

Costo total de inversión de USD	\$ 8736,83 ha-1	\$ 9262,03 ha-1
Relación beneficio costo	2.24	1.08
Punto de equilibrio	38.47 %	90.11 %

Fuente: elaboración propia con base en Miranda Ramírez, Aguilar García, & Miranda Medin (2020).

Las conclusiones de este trabajo mencionan que “el modelo convencional resultó desfavorable económicamente, por lo que se sugiere mejorarlo gradualmente hasta llegar a ser rentable. El modelo sustentable mostró ser muy atractivo económicamente y tener aprovechamiento eficiente de los recursos naturales locales”.

Por su parte, Cancino Susan *et al.* (2021) llevó a cabo un trabajo con el objetivo de “elaborar una función de producción del durazno para los agricultores localizados en la Provincia de Pamplona, Norte de Santander, Colombia, con la finalidad de estimar, mediante herramientas econométricas, la relación existente entre las cantidades de los factores de producción (capital y trabajo) y las cantidades producidas”; de igual forma pretendían “determinar la intensidad de los factores utilizados en el proceso productivo, así como, analizar los rendimientos a escala presentes en dicha función”. La metodología empleada fue de tipo descriptivo, correlacional y de corte transversal con datos procedentes de “una encuesta a productores de durazno de la provincia de Pamplona, Colombia”; dentro de dicha metodología se encuentra la función de producción tipo Cobb-Douglas. Los resultados del modelo econométrico “indican que los coeficientes del modelo propuesto fueron estadísticamente significativos y el mismo no se vio afectado por problemas de colinealidad, heteroscedasticidad y autocorrelación”, además “el modelo indica la existencia de normalidad de la perturbación aleatoria y [...] los coeficientes resultaron estadísticamente significativos”. En conclusión, la función Cobb-Douglas demuestra que “la producción de durazno presentó rendimientos decrecientes de escala e intensidad en el uso de mano de obra”, en otras palabras “la producción total aumentó en una proporción menor que los factores de producción”.

Arif Billah (2022) realizó un trabajo en el que mide la eficacia técnica de las fincas de arroz de Amon²⁹ e identifica las variables clave que influyen significativamente en el grado de ineficiencia técnica de las fincas de muestra. En el estudio se empleó una técnica de muestreo aleatorio de etapas múltiples para elegir 200 granjas productoras de arroz Amon en el distrito de Jhenaidah que sirvieron como muestra del estudio de caso; se utilizó la función de producción Cobb-Douglas para estimar la eficiencia técnica de las fincas. Los resultados de dicha investigación indican que la región estudiada tiene un alto nivel de eficiencia técnica, los factores que influyen en el grado de ineficiencia de las fincas de arroz de Amon también se determinan utilizando un modelo de impacto de ineficiencia. Además, revela que los costos de mano de obra, el costo del riego, los costos de las semillas y el costo del arado son elementos cruciales que influyen en la eficiencia con la que se produce el arroz Amon. La investigación concluye que las acciones para ampliar las oportunidades de crédito, educación y capacitación son esenciales para reducir la ineficiencia técnica de la producción de arroz en el área de estudio.

En 2023 Verma, *et al.* realizó un trabajo con el objetivo de estimar el rendimiento de la producción por cultivo, determinando la elasticidad de la producción y midiendo el efecto del factor en la producción. Los cultivos incluidos en el estudio fueron: garbanzo, grammo verde y frijol negro. El documento se basó en datos secundarios de los factores responsables de los cambios temporales en la producción para el período 2000-01 a 2017-18. Se empleó la función de producción Cobb-Douglas para evaluar los efectos de varios insumos, semillas, fertilizantes, estiércol, riego, protección de plantas, mano de obra humana y del ganado en la producción cada uno de los cultivos. Los resultados más relevantes del estudio fueron los siguientes:

- Garbanzo
 - Los fertilizantes y las medidas fitosanitarias fueron positivamente significativas y podrían aumentar la producción empleando más

²⁹ Variedad de arroz que se cultiva en Bangladesh durante todo el año.

unidades de estos insumos en la producción de garbanzo en el estado de Rajasthan.

- La variable agua de riego ha sido sobreutilizada, es decir, un aumento en el agua de riego conduce a una disminución en la producción.
- Frijol negro
 - Las variables como semilla y agua de riego se encontraron con efecto positivo y significativo en la producción de gramo negro. Este dato indica que, a mayor uso de semilla y agua de riego, la producción también incrementa.
 - Los aumentos en las medidas de protección de las plantas conducirían a una disminución de la producción.
- Gramo verde
 - Un aumento en fertilizantes y agua de riego conduciría a un aumento en la producción de gramo verde.
 - El estiércol, el trabajo de los bueyes y las medidas de protección de las plantas resultaron ser factores que contribuyeron negativamente en la producción, pero fueron insignificantes.

La conclusión del artículo menciona que la gestión adecuada de insumos costosos requiere el fortalecimiento de los servicios de extensión, el uso juicioso de insumos como pesticidas y fertilizantes no solo ayuda a mantener bajos los costos de producción, sino que también mantendrá la salud del suelo y sustentará la productividad.

Sin embargo, no se encontraron investigaciones que explique la productividad del nopal-verdura que analicen el impacto de la tecnología implementada, si bien, existe una gran cantidad de literatura que muestra las ventajas y desventajas de las tecnologías convencional y ecoinnovadora, se cuenta con pocos estudios en comunidades rurales que evalúen el impacto de ellas en la producción mediante modelos econométricos, por ello, el objetivo de este trabajo en particular es evaluar la productividad de una tecnología convencional y una tecnología ecoinnovadora mediante sus funciones de producción en parcelas dedicadas al

cultivo de nopal en los ejidos de San Francisco Tecoxpa con la finalidad de conocer cuál de las dos tecnologías ofrece una mayor eficiencia en el uso de los factores de la producción; basada en la hipótesis de que la productividad obtenida por la implementación de una tecnología ecoinnovadora en el cultivo de nopal, es por lo menos, igual o mayor a la productividad obtenida por los agricultores que utilizan una tecnología convencional.

5.3 Materiales y métodos

El estudio se realizó en el pueblo de San Francisco Tecoxpa de enero a diciembre del año 2022. Tecoxpa es uno de los doce pueblos originarios de la Alcaldía Milpa Alta en la CDMX; se encuentra ubicado a 2,361 metros sobre el nivel del mar (Gobierno de la Ciudad de México, 2023), tiene una extensión territorial de 990 hectáreas aproximadamente, colinda con los pueblos de San Antonio Tecómitl, San Jerónimo Miacatlán, Malacachtepec Momoxco, San Juan Tepenáhuac y San Agustín Ohtenco. Durante el transcurso del año se experimentan tres tipos de clima: el frío que inicia desde principios de noviembre hasta mediados de febrero, el caluroso el cual abarca desde las últimas semanas de febrero hasta finales de junio, y el lluvioso con inicios en julio y culminación en el mes de octubre.

Se utilizó una metodología mixta basada en la recolección, análisis y vinculación de datos cualitativos y cuantitativos, con la finalidad de lograr una perspectiva más integral, amplia y profunda del fenómeno estudiado. La parte cualitativa permitió estudiar la productividad desde el contexto social de los agricultores, mientras que la cuantitativa mide el impacto de las variables que afectan la producción de nopal.

La población objeto de estudio resultó de la depuración del padrón de productores de la zona ejidal del pueblo de San Francisco Tecoxpa registrados en el sistema de información del Registro Agrario Nacional (RAN). La muestra se determinó con la fórmula para población finita, ver ecuación 1 (Aguilar-Barojas, 2005):

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

Donde: n es el tamaño de la muestra buscado; N = Tamaño de la población o universo; Z = Nivel de confianza; p = Probabilidad de que ocurra el fenómeno estudiado; $q = (1 - p)$ = Probabilidad de que no ocurra el fenómeno estudiado; d = termino de error máximo aceptado. En este caso (ecuación 2) se utilizó un nivel de confianza del 95% y un término de error del 10%.

$$n = \frac{(123) (1.96)^2 (0.5)(0.5)}{(0.1)^2 (123 - 1) + (1.96)^2 (0.5)(0.5)} \quad (2)$$

Después de realizar lo operaciones algebraicas necesarias, se obtuvo un tamaño de muestra de 54 ejidatarios dedicados a la producción de nopal, los cuales se analizaron en dos grupos de 27 agricultores cada uno, el primero donde utilizan la tecnología convencional y el segundo en el que aplican la tecnología ecoinnovadora. La selección de los encuestados se realizó con base en un muestreo aleatorio simple.

El criterio principal para definir a que grupo pertenecían cada uno de los productores fue que estuvieran registrados como beneficiarios en los programas sociales de la Dirección General de la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural (CORENADR)³⁰, ya que esta institución promueve la aplicación de procesos y prácticas ecológicas en los sistemas de producción agrícolas. Es decir, los campesinos que no se encuentren registrados en los programas de la CORENADR fueron considerados productores convencionales, mientras que los que si aparecen en las listas de beneficiarios fueron considerados productores ecoinnovadores.

Otro criterio para los agricultores es que su cosecha debe ser vendida al mayoreo³¹. En el caso de los ecoinnovadores, no deben utilizar ningún tipo de

³⁰ Se utilizaron estas listas ya que las reglas de operación de los programas sociales aplicados por dicha institución cumplen las características de la definición de tecnología ecoinnovadora de este trabajo, por lo cual se considera a los beneficiarios de dichos programas como productores ecoinnovadores.

³¹ el tipo de mercado impacta directamente en la cosecha y por ende en la producción registrada.

agroquímicos dentro de la parcela. El incumplimiento de alguno de los criterios antes mencionados causará la eliminación de los datos de los productores entrevistados. La recolección de los datos se realizó mediante un cuestionario (Anexo 1).

Se realizó una función producción de tipo Cobb Douglas multivariada con error multiplicativo (Castellanos-Pérez, *et al.* 2006), cuya variable dependiente para ambas tecnologías fue la producción de nopal medida en número de piezas cosechadas. Las variables explicativas consideradas para la tecnología convencional fueron: las plantas en producción (cantidad de pencas sembradas que ya se encuentren en producción), mano de obra (en horas hombre), fertilizantes y plaguicidas (medidos en valor económico). En tanto, la tecnología ecoinnovadora contempla en sus variables explicativas a la, mano de obra, fertilizantes y plaguicidas, medidos con las mismas unidades de la tecnología convencional. La sumatoria de los coeficientes de cada tecnología permite conocer el tipo de rendimientos a escala de la tecnología convencional.

Se emplea el método de óptimos parciales de los factores con el fin de encontrar los valores apropiados para optimizar las funciones de producción bajo el supuesto de competencia perfecta.

Se evaluó la validez de los modelos utilizando diferentes pruebas estadísticas tales como el coeficiente de determinación o bondad de ajuste (R^2 ajustado), el valor $p < 0.05$ como medidas de significancia del modelo estimado, y una matriz de correlaciones parciales para saber si existe o no colinealidad entre las variables independientes de cada tecnología. Todo lo anterior relacionado con la creación y viabilidad de los modelos fue realizado con ayuda de la herramienta de “análisis de datos” contenida en el software Microsoft Excel 2016.

5.4 Resultados y discusión

5.4.1 Caracterización de los productores

Se entrevistaron a 54 ejidatarios tecoxpenses dedicados al cultivo de nopal, sin embargo, se eliminaron los datos de 6 agricultores del grupo de la tecnología ecoinnovadora porque tres de ellos utilizan agroquímicos en su proceso de

producción y tres por vender al menudeo³². Por lo tanto, la muestra se redujo a 48 agricultores, de los cuales 35 son hombres y 13 son mujeres, al respecto, Rodríguez Medina & Delgadillo Macías *et al.* (2021) mencionan que la participación femenina en las unidades de producción es solo del 37%, por lo cual se puede inferir que el cultivo de nopal actividad es desarrollada principalmente por hombres.

Con base en la Figura 3, donde se aprecia la distribución porcentual de productores masculinos y femeninos registrados en cada tecnología, se afirma que es más probable que las mujeres realicen cambios en beneficio del medio ambiente, pues del total de las mujeres entrevistadas, el 53% ocupa la tecnología ecoinnovadora.

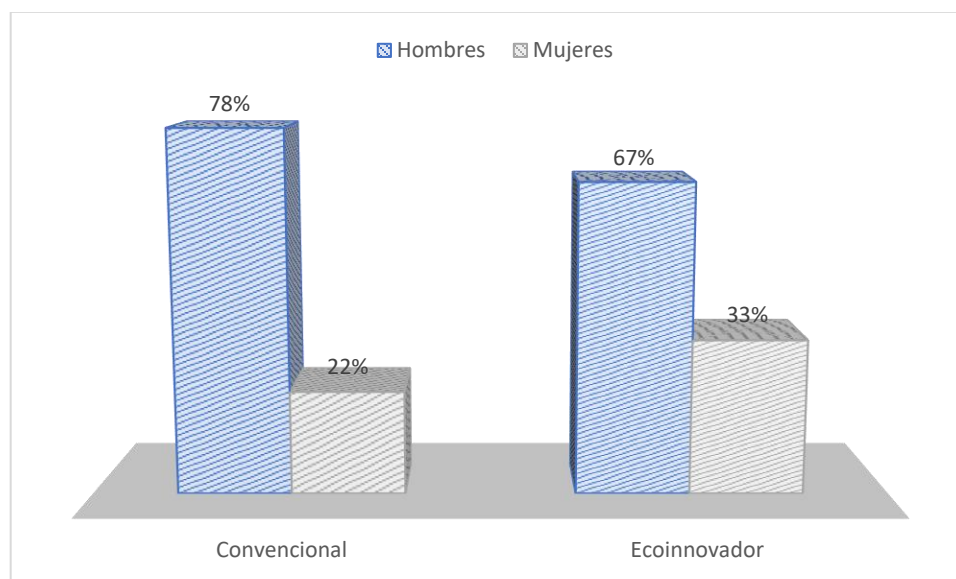


Figura 3 Género de los productores por tipo de tecnología.
Fuente: Elaboración propia.

La edad de los campesinos oscila entre los 20 y los 75 años, estos datos son diferentes a los encontrados por López-Flores & Omaña-Silvestre (2023), pues ellos aseguran que los agricultores no exceden los 70 años. En la Figura 4 se aprecia que casi el 70% de los entrevistados se encuentran en un rango de edad

³² Cabe mencionar que la producción de uno de ellos fue severamente afectada por el estado de salud crítico que sufrió el productor.

entre 40 y 60 años denotando la pequeña participación de productores jóvenes (Rodríguez Medina, *et al.* 2021).

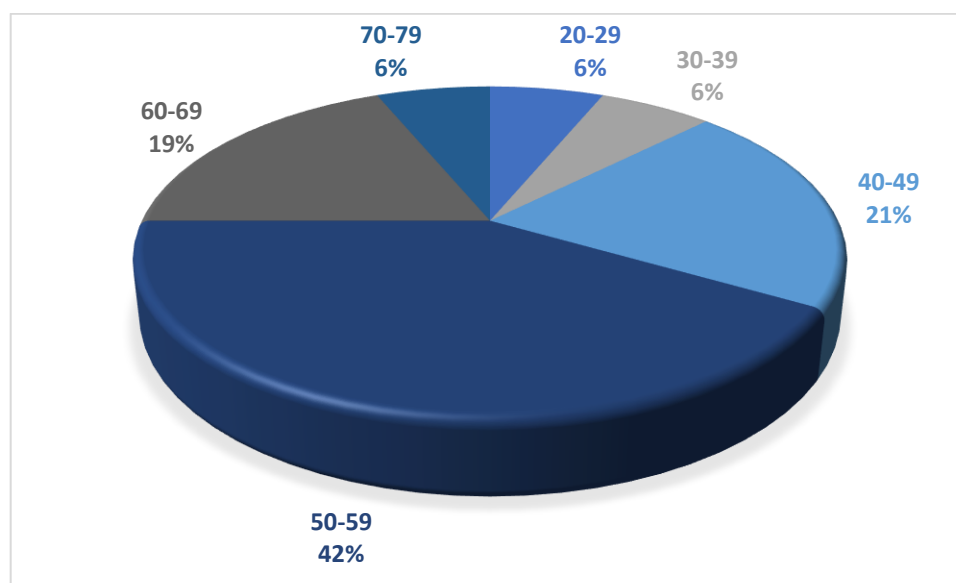


Figura 4 Edad de los productores.
Fuente: Elaboración propia.

La edad promedio de los productores convencionales es de 53 años, mientras que los de la tecnología ecoinnovadora es de 50 años, Reyes-Terrazas *et al.* (2023) encontró una información parecida en los campesinos de Cuautlacingo, Otumba dedicados al nopal. Los productores de la tecnología ecoinnovadora incluyen a campesinos más jóvenes que los de la tecnología convencional, ya que, en esta última, el productor con menor edad tiene 34 años, mientras que en la ecoinnovadora se incluyen a personas entre los 20 y los 29 años.

La escolaridad promedio de los productores de nopal de la comunidad de Tecoxpa registran una escolaridad promedio de secundaria (48%), en comparación con los datos registrados durante el censo agrícola 2007 (INEGI, 2008) el grado de escolaridad ha mejorado pues antes era primaria principalmente (Rendón Trejo *et al.* 2017). El máximo nivel de estudios registrado por los agricultores entrevistados es nivel superior (6%), pero los campesinos con este grado de estudios solo se encontraron en el grupo de la tecnología convencional (Figura 5). El porcentaje de encuestados con grado de nivel medio

superior es de 31% y los campesinos con primaria representan el 15%. Rodríguez Medina, *et al.* (2021) también encontró que en los productores de toda la alcaldía, la escolaridad promedio es secundaria, aunque sus resultados mostraron que existen productores sin ningún tipo de escolaridad y productores con estudios de posgrado.

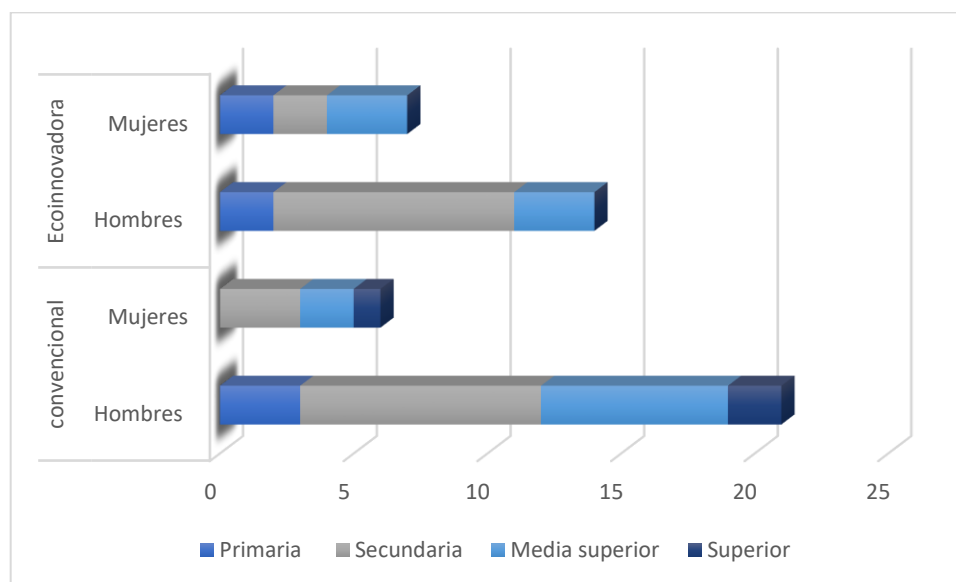


Figura 5 Escolaridad de los productores.
Fuente: Elaboración propia.

En ambas tecnologías las mujeres tienen un nivel de escolaridad más alto que los hombres, ya que del total de las productoras el 46% cuentan con grados de nivel media superior o superior, mientras que los hombres presentan un 34% en estos mismos niveles.

Otro dato importante en el contexto sociocultural de los productores es el núcleo familiar. De acuerdo con la información obtenida, las familias de los agricultores se componen de un jefe de familia, la pareja del jefe de familia e hijos, en algunas ocasiones las familias también integran a los padres de alguno de los conyugues, quienes normalmente son personas de la tercera edad³³ y solo el 6% son solteros. El noventa y siete por ciento de las familias de las personas

³³ Se consideran personas de la tercera edad a los individuos mayores de 76 años.

entrevistadas suelen estar formadas por dos o tres personas. Más del noventa por ciento de los agricultores encuestados tienen integrantes en edad productiva³⁴, sin embargo, no todos apoyan en las labores del campo como por ejemplo las personas con discapacidad, tal es el caso de uno de los productores.

5.4.2 Unidades de producción y el sistema de cultivo

Los resultados de la investigación señalan que inicialmente las parcelas eran destinadas al cultivo de maíz, frijol, haba y en ocasiones maguey pulquero, pero estas plantaciones fueron sustituidas por sembradíos de nopal debido a una mejor productividad y rentabilidad. Desde entonces, la siembra de nopal es una actividad heredada de generación en generación.

Por otra parte, análisis de datos permite saber que el 81% de los productores aprendieron los conocimientos necesarios para el cuidado del nopal a través de sus padres o algún familiar cercano como tíos o abuelos, así mismo, indica que el 91% de las parcelas seleccionadas son trabajadas por el titular original de la parcela o sus herederos, mientras que el porcentaje restante son alquiladas por terceras personas, aunque en todas las parcelas, ya sean propias o alquiladas, se emplea mano de obra familiar; estos resultados se asemeja a la información encontrada en las parcelas del Estado de México (Reyes-Terrazas *et al.* 2023).

Los datos de la población muestreada indican que casi el 80% de las parcelas son utilizadas en su totalidad por los productores, el porcentaje restante tiene entre 10% y 20% de superficie no ocupada; adicionalmente permiten saber que solo el 56% de los campesinos aprovechan la superficie total de su parcela, ya que el otro 44% tienen espacios dentro de su terreno donde no realizan plantaciones.

El cultivo de nopal permite a los agricultores tener empleo e ingresos durante todo el año, no obstante, la carga de trabajo y la producción varían de acuerdo con la temporalidad; los campesinos reportan que las temporadas de calor y lluvia son las más pesadas por la sobreproducción y el crecimiento de maleza

³⁴ En este trabajo el rango de edad productiva abarca de los 15 hasta los 75 años.

respectivamente. Rodríguez Medina, *et al.* (2021) encontró que la producción de nopal es solo una actividad complementaria de ingresos, ya que 42% de sus encuestados indicó que percibe otros ingresos además de los obtenidos por el cultivo de la cactácea.

La Figura 6 muestra las etapas registradas en ambas tecnologías aplicadas al proceso productivo del nopal, mientras que Flores Valdez (2003) describe 11 etapas para el manejo técnico del cultivo de nopal.

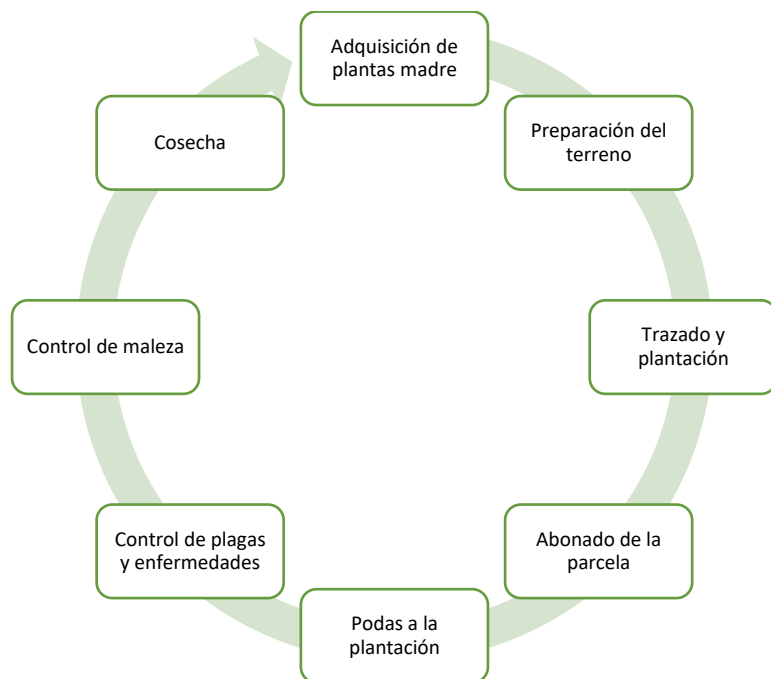


Figura 6 Proceso productivo del nopal.
Fuente: Elaboración propia.

Es importante destacar los objetivos de cada tecnología, pues en ellos se enfatiza la diferencia fundamental entre ambos procesos; el objetivo de la tecnología convencional es acelerar la producción con la finalidad de obtener más ganancias en poco tiempo (Ortega, 2009), mientras que el objetivo de la tecnología ecoinnovadora es implementar técnicas y prácticas más amigables con el medio ambiente que ayuden a mejorar la productividad de las parcelas, mientras generan alimentos sanos y nutritivos (SADER, 2022). Las otras diferencias

significativas entre los procesos que conlleva cada tecnología en el cultivo de nopal se especifican en el Cuadro 15.

Cuadro 15 Fuente: Diferencias entre tecnologías.

Característica	Convencional		Ecoinnovadora	
	Descripción	% de uso	Descripción	% de uso
Policultivo	Árboles frutales, plantas medicinales u hortalizas	19%	árboles frutales, hortalizas, granos básicos, plantas medicinales y maguey pulquero	48%
Preparación para el terreno	Utilización de agroquímicos	22%	Uso de bioinsumos	13%
Control de plagas y enfermedades	Uso de plaguicidas químicos	44%	Fumigación con caldos orgánicos	76%
Control de maleza	Herbicidas químicos	15%	Eliminación de maleza en forma manual	100 %

Fuente: Elaboración propia.

Algunas observaciones inferidas de la tabla anterior son:

- En las parcelas de ambas tecnologías prevalece el sistema de monocultivo, aunque el policultivo es cada vez más frecuente.
- El uso de bioinsumos en la preparación del terreno tiene un porcentaje menor debido a que el nopal es una planta perenne y son pocos los productores que han cambiado sus plantaciones. Es probable que el uso de bioinsumos aumente con los años.
- La utilización de productos químicos es una práctica común entre los productores convencionales.

5.4.3 Función producción tipo Cobb-Douglas

Con los datos obtenidos de los productores de la comunidad de Tecoxpa, se realizó la estimación de los valores para integrar las funciones producción tipo Cobb Douglas. Por su parte, Rodríguez-Medina *et al.* (2022) utiliza la producción de nopal como una variable explicativa del ajuste de los precios del nopal en Milpa Alta ante el crecimiento de la zona productora de Morelos.

Los resultados de la regresión lineal múltiple para ambas funciones muestran, mediante el coeficiente de determinación (R^2 ajustado), que por lo menos el 70% de los cambios en la producción total de nopal verdura se explican por los factores considerados en cada una. Las pruebas de significancia global medidas con el estadístico F para las tecnologías convencional y ecoinnovadora revelan que en conjunto las variables incluidas en el modelo son estadísticamente significativas.

El *valor de p* de las variables del modelo convencional muestran a la variable fertilizantes como el único factor no significativo, sin embargo, los datos de esta variable si ayudan a explicar el modelo en conjunto. Por su parte, el *valor de p* de las variables del modelo ecoinnovador señala que el único factor no significativo es plantas en producción.

La matriz de correlaciones parciales correspondientes a cada tecnología, indican que no existen problemas de multicolinealidad entre las variables independientes consideradas en cada modelo.

El valor de los coeficientes de los parámetros utilizados, expresados en el Cuadro 16, reflejan que existe una relación positiva entre el volumen de producción de nopal-verdura y las variables explicativas de cada uno de los modelos. Bacarrillo-López *et al.* (2021) realiza la estimación de la producción del nopal considerando elementos como la humedad del suelo y las características de la planta madre (longitud, ancho y grosor).

Cuadro 16 Coeficientes estimados

	Convencional	Ecoinnovadora
Intercepción	-0.31269783	1.52379366
Plantas en producción	0.19273001	No aplica
Mano de obra	0.64231904	0.56230855
Fertilizantes	0.50301036	0.10945818
Plaguicidas	0.19247824	0.56559346

Fuente: Elaboración propia.

Los modelos logarítmicos³⁵ integrados con los coeficientes estimados quedan de la siguiente manera:

Tecnología convencional:

$$\log Y = \log (-0.31) + 0.19\log (x_1) + 0.64\log (x_2) + 0.50\log (x_3) + 0.19\log (x_4) + \log (u_i) \quad (3)$$

Tecnología ecoinnovadora:

$$\log Y = \log(1.52) + 0.56 \log(x_1) + 0.11 \log(x_2) + 0.56 \log(x_3) + \log(u_i) \quad (4)$$

Las elasticidades de los factores permiten afirmar que en el caso de la tecnología convencional el factor mano de obra contribuye en una proporción más alta en la producción; en cuanto a la tecnología ecoinnovadora, los plaguicidas y la mano de obra influyen casi en la misma proporción en la producción. Domínguez-García *et al.* (2017), quien afirma que la mano de obra es el concepto más importante en la producción de nopal.

Al aplicar antilogaritmos a los coeficientes de los modelos lineales se obtuvieron las funciones no lineales tipo Cobb-Douglas de la tecnología convencional (Ecuación 5) y la tecnología ecoinnovadora (Ecuación 6).

$$Y = 0.48x_1^{0.19} x_2^{0.64} x_3^{0.50} x_4^{0.19}u_i \quad (5)$$

$$Y = 33.4 x_1^{0.56} x_2^{0.11} x_3^{0.57} u_i \quad (6)$$

La suma de los coeficientes en cada función, indican que ambas tecnologías tienen rendimientos a escala crecientes, pues el resultado de la sumatoria de la ecuación 5 es igual a 1.53, en tanto, la suma de los exponentes de la ecuación 6 es de 1.23. De acuerdo con Gujarati & Porter (2010) estos resultados implican que la producción aumentará en una proporción superior al incremento de los insumos.

Con el fin de observar el comportamiento de las funciones de producción tipo Cobb Douglas estimadas anteriormente, se realizó un ejercicio con 20 valores

³⁵ Los números utilizados en la expresión logarítmica son el resultado de redondear los dígitos obtenidos en la estimación.

económicos diferentes invertidos en plaguicidas para ambas tecnologías (*Ceteris paribus*). La *Figura 7* permite observar la variación en la producción de la tecnología convencional y ecoinnovadora.

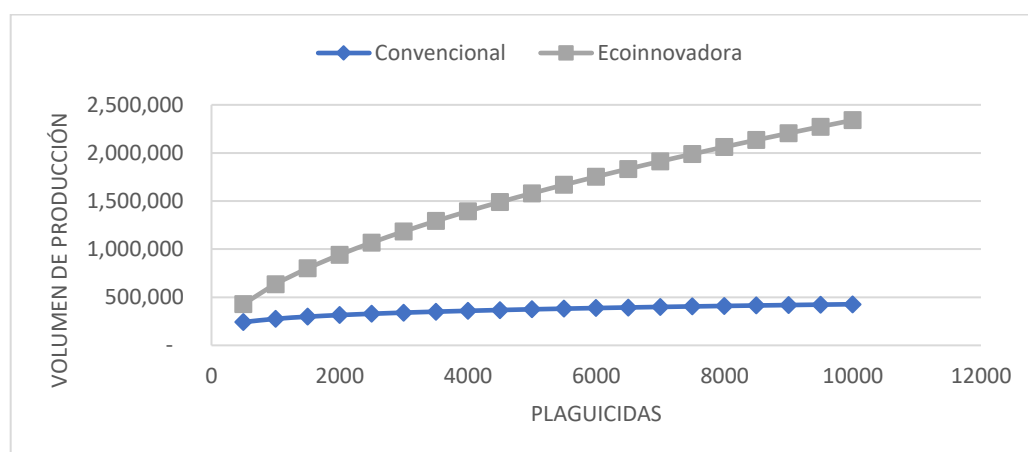


Figura 7 Producción estimada.

Fuente: Elaboración propia.

Tomando como referencia el ejercicio anterior se afirma que la producción obtenida por los campesinos que utilizan la tecnología ecoinnovadora es más alta a la registrada por los agricultores convencionales.

5.4.1 Óptimos parciales de producción

Para obtener los óptimos parciales de la producción se tomó en cuenta únicamente los factores que resultaron estadísticamente significativos para ambas tecnologías: mano de obra y plaguicidas. Estos óptimos se obtuvieron de igualar la función del producto marginal de cada insumo, con su respectiva relación insumo-producto en ambas tecnologías, posteriormente se despejó la variable correspondiente a cada factor y en ecuación resultante se sustituyeron los valores promedio de los otros factores (Ver Cuadro 17).

Cuadro 17 Valores promedio de los factores por tecnología

	Convencional	Ecoinnovadora
Plantas en producción	4407.11	No aplica

Mano de obra	3960	5,492
Fertilizantes	24506.6	24,365.71
Plaguicidas	3726.12	1,123.76

Fuente: Elaboración propia.

El Cuadro 3 Cuadro 18 muestra los valores óptimos³⁶ de cada insumo y la producción obtenida una vez que se sustituye el valor optimo en las funciones de producción Cobb Douglas obtenidas anteriormente (Ver ecuaciones 5 y 6).

Cuadro 18 Óptimos parciales de producción

Insumo	Valores óptimos		Producción óptima estimada	
	Mano de obra	Plaguicidas	Mano de obra	Plaguicidas
Convencional	3,923	1,915.18	352,148	312,174
Ecoinnovadora	7,580.77	8,743.70	814,705	2,168,958

Fuente: Elaboración propia.

Los datos contenidos en la tabla anterior exponen claramente que la tecnología ecoinnovadora demanda una cantidad más grande de mano de obra y plaguicidas para ser optimizados en comparación con la tecnología convencional. Adicionalmente, se puede observar que, a mayor cantidad de insumo requerido más productividad.

El modelo econométrico y los óptimos parciales estimados permiten hacer una comparación entre los datos observados y los datos estimados entre cada tecnología, tal como se muestra siguientes cuadros.

Cuadro 19 Comparación del insumo mano de obra

Tecnología	óptimos		observados	
	Valor	Producción	Valor	Producción

³⁶ Cantidad del insumo necesaria que optimiza la producción.

Convencional	3,923	352,148	3,960	379,790
Ecoinnovadora	7,580.77	814,705	5492.19	602,457

Fuente: Elaboración propia.

El Cuadro 19 muestra que el factor mano de obra no es optimizado en ninguna de las tecnologías, no obstante, los productores convencionales se encuentran muy cerca de optimizar este factor; por su parte los productores ecoinnovadores si necesitan incluir más horas hombre en su proceso de producción.

En lo referente a plaguicidas el Cuadro 20 permite observar las diferencias significativas entre los valores óptimos y los observados, los cuales permiten afirmar que los productores de la tecnología convencional deben reducir su inversión en plaguicidas, por el contrario, los productores ecoinnovadores deben incrementar su inversión en bioinsumos aproximadamente siete veces más de lo que utilizan actualmente.

Cuadro 20 Comparación del insumo plaguicidas

Tecnología	Óptimos		Observados	
	Valor	Producción	Valor	Producción
Convencional	1,915.18	312,174	3,726	379,790
Ecoinnovadora	8,743.7	2,168,958	1123.76	602457.14

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, la comparación entre la producción óptima estimada y producción observada de cada uno de los insumos muestra que:

- Los productores que utilizan la tecnología convencional están produciendo por arriba de la producción óptima en ambos casos, por lo cual se recomienda disminuir su producción para maximizar su eficiencia.

- Los agricultores ecoinnovadores no obtienen el máximo beneficio debido a que su producción observada es inferior a la estimada cuando se optimizan alguno de los factores.

Se recomienda optimizar el factor mano de obra en ambas tecnologías, pues es el recurso “menos escaso”, suponiendo que se usara mano de obra familiar.

5.5 Conclusiones

El cultivo de nopal es una de las actividades económicas más importantes de la comunidad de San Francisco Tecoxpa, que ha sido heredada de generación en generación y es ejercida principalmente por el género masculino.

La mayor parte de los productores de esta comunidad se encuentran en un rango de edad de entre 40 y 60 años, con un nivel de escolaridad promedio de secundaria y sus familias suelen estar compuestas por dos o tres integrantes.

En las parcelas ejidales dedicadas a la producción de nopal de la comunidad de Tecoxpa se utilizan dos tipos de tecnologías agrícolas: convencional y ecoinnovadora, diferenciadas principalmente por el tipo de insumos empleados, en la primera predomina el uso de agroquímicos, mientras que en la segunda se utilizan bioinsumos. Cabe mencionar que los programas sociales de la CORENADR juegan un papel fundamental para la implementación de la tecnología ecoinnovadora, ya que, gracias a ellos el número de productores que utilizan prácticas agroecológicas en su proceso de producción han incrementado en los últimos años.

De acuerdo con los modelos estimados, el 74% de las variaciones que ocurren en la producción obtenida mediante la tecnología convencional se explica por los factores: plantas en producción, mano de obra, fertilizantes y plaguicidas. Por su parte el modelo de la tecnología ecoinnovadora establece que el 77% de las variaciones que ocurren en la producción total, se explica por los factores: mano de obra, fertilizantes y plaguicidas. Estos modelos también indican que ambas tecnologías tienen rendimientos a escala crecientes.

La elasticidad de los factores demuestra que la mano de obra es la variable que más influye en la producción de la tecnología convencional, mientras que en la producción ecoinnovadora los plaguicidas y la mano de obra influyen casi en la misma proporción.

Por otra parte, el método de óptimos parciales aplicado cada uno de los factores que resultaron significativos dentro de cada uno de los modelos indicó que ninguno de los recursos está siendo optimizado, por lo cual se recomienda maximizar el uso de ellos.

Finalmente, se establece que los productores que utilizan la tecnología ecoinnovadora obtienen una productividad por arriba de la registrada por los agricultores convencionales.

5.6 Literatura citada

- Aguilar-Barojas, S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Salud en Tabasco*, 11(1-2), 333-338. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/487/48711206.pdf>
- Bacarrillo-López, R., Pedroza-Sandoval, A., Antonio Inzunza Ibarra, M., Flores-Hernández, A., & Macías-Rodríguez, F. J. (2021). Productividad de forraje de variedades de nopal (*Opuntia* spp.) bajo diferentes regímenes de humedad del suelo. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(3), 1-10. doi:<https://doi.org/10.19136/era.a8n3.2878>
- Banco Mundial. (Abril de 2022). *Entendiendo la pobreza: Agricultura y alimentos*. Obtenido de Banco Mundial: <https://www.bancomundial.org/es/topic/agriculture/overview#:~:text=La%20agricultura%20puede%20ayudar%20a,dedican%20principalmente%20a%20labores%20agr%C3%ADcolas>.
- Billah, A. (2022). Measurement of Technical Efficiency of Paddy Farms at Jhenaidah District in Bangladesh: A Case Study by Using Cobb Douglas Production Function. *Journal of Pharmaceutical Negative Results*, 13(4), 652–658. doi:<https://doi.org/10.47750/pnr.2022.13.04.087>
- Cancino Susan, E., Cancino-Escalante, G. O., & Quevedo García, E. (2021). Determinación de una función Cobb-Douglas en la producción de durazno en Colombia. *Panorama Económico*, 29(3), 160-171.
- CONABIO. (2020). *¿Cuál es la importancia ecológica y económica del nopal en México?* Obtenido de Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO):

<http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/cactoblastis/cacto/importancia.htm>

- Dirección general de planeación del desarrollo. (2023). *Padrones de beneficiarios a los apoyos sociales de la alcaldía Milpa Alta*. Obtenido de Alcaldía Milpa Alta : https://www.milpa-alta.cdmx.gob.mx/padrones/Rural/2021/programas_sociales_2021/PIAPRON.PDF
- Domínguez-García, I. A., Granados-Sánchez, M., Sagarnaga-Villegas, L. M., Salas-González, J. M., & Aguilar-Ávila, J. (2017). Viabilidad económica y financiera de nopal tuna (*Opuntia ficus-indica*) en Nopaltepec, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(6), 1371-1382. doi:<https://doi.org/10.29312/remexca.v8i6.304>
- FAO-SAGARPA. (2012). Capítulo 2: Marco Contextual de la Agricultura Familiar en México. En FAO-SAGARPA, *Agricultura familiar con potencial productivo en México* (págs. 48-56). México: FAO-SAGARPA.
- Flores Valdez , C. A. (2003). Producción y comercialización de nopalitos . En C. A. Flores Valdez, & J. Corrales García, *Nopalitos y tunas; producción, comercialización, poscosecha e industrialización* (págs. 19-38). México: UACH-CIESTAAM.
- Gobierno de la Ciudad de México. (2023). *Barrios y colonias: San Francisco Tecoxpa*. Obtenido de La guía oficial para visitantes de la Ciudad de México: <https://mexicocity.cdmx.gob.mx/venues/san-francisco-tecoxpa/?lang=es>
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2010). Análisis de regresión múltiple: el problema de estimación. En D. N. Gujarati, & D. C. Porter, *Econometría* (pág. 922). México: McGraw-Hill.
- INEGI. (2008). *Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática: https://www.inegi.org.mx/programas/cagf/2007/#datos_abiertos
- López-Flores, M. M., & Omaña-Silvestre, J. M. (2023). Modelo de desarrollo para el aprovechamiento de nopal verdura en Milpa Alta, Ciudad de México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 20(4), 408–424. doi:<https://doi.org/10.22231/asyd>.
- Miranda Ramírez, J. M., Aguilar García, O., & Miranda Medina, D. (2020). Comparación de la productividad agrícola-económica sustentable y. *Agronomía Mesoamericana*, 31(2), 385–403.
- Morett-Sánchez, J., & Cosío-Ruiz, C. (2017). Panorama de los ejidos y comunidades agrarias en México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 14(1), 125-152. Obtenido de <https://scielo.org.mx/pdf/asd/v14n1/1870-5472-asd-14-01-00125.pdf>

- Ortega, G. (2009). Agroecología vs. Agricultura Convencional. *Base Investigaciones Sociales (BaseIS)*, 128b, 1-24.
- Rendón Trejo, A., Pomar Fernández, S., & Solís Tepexpa, S. (2017). El crecimiento y su relevancia en la comunidad de Milpa Alta. El caso de la producción de nopal. En B. Lisocka-Jaegermann, Z. Piotrowska, & K. Ząbecki, *La vulnerabilidad socioeconómica y ambiental en el contexto local y regional* (pág. 251). Polonia: Uniwersytetu Warszawskiego.
- Reyes-Terrazas, A. S., Flores-Sánchez, D., Navarro-Garza, H., Pérez-Olvera, M. A., & Almaguer-Vargas, G. (2023). Características y retos del sistema de cultivo nopal verdura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(2). doi:<https://doi.org/10.29312/remexca.v14i2.3079>
- Rodríguez Medina, O., Delgadillo Macías, J., & Sánchez Silva, M. (2021). Perfil del productor de nopal de Milpa Alta en el diseño de políticas sectoriales. *Argumentos. Estudios Críticos De La Sociedad*(96), 229-253. doi:<https://doi.org/10.24275/uamxoc-dcsh/argumentos/2021961-10>
- Rodríguez-Medina, O., Torres-Torres, F., & Alvarado-Lagunas, E. (2022). Competencia y transmisión de precios en la producción de nopal en Milpa Alta, Ciudad de México y Tlalnepantla, Morelos. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 19(2), 184-212. doi:<https://doi.org/10.22231/asyd.v19i2.1341>
- SADER. (2022). *Manuales prácticos para la elaboración de bioinsumos*. Obtenido de Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737328/4_Caldo_bordel_e_s.pdf
- SADER. (29 de 06 de 2023). *Hablemos de... la agricultura en México (Parte 1)*. Obtenido de Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural : <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/hablemos-de-la-agricultura-en-mexico-parte-1>
- SEMARNAT. (18 de Septiembre de 2022). *Día Nacional del Nopal 2022*. Obtenido de Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/dia-nacional-del-nopal-2022#:~:text=M%C3%A9xico%20es%20el%20primer%20productor,Bot%C3%A1nica%20y%20Zoolog%C3%ADa%20del%20Centro>
- SIAP. (2023). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Obtenido de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera : <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

CONCLUSIONES GENERALES

El presente estudio comparativo de las tecnologías implementadas en el cultivo de nopal permite conocer las similitudes y discrepancias entre los procesos de la tecnología convencional y la ecoinnovadora. De igual manera esta investigación permitió conocer más a fondo el tema de la agricultura de los pequeños productores de una comunidad semi-rural.

Los resultados encontrados resultan de interés para los agricultores principalmente ya que pueden contribuir a un mejor uso de los factores productivos, además sirve como base para futuras investigaciones en distintos niveles académicos y/o laborales.

El uso de la función producción tipo Cobb-Douglas no solo permitió conocer el impacto de los factores productivos en la cosecha, sino que también ayuda a hacer estimaciones de la producción y un uso más eficientes de los recursos mano de obra y plaguicidas.

Se comprobó que la productividad obtenida por la implementación de una tecnología ecoinnovadora en el cultivo de nopal es por lo menos igual o mayor a la productividad obtenida por los agricultores que utilizan una tecnología convencional. Por lo cual existe una gran probabilidad de que más productores modifiquen sus procesos para convertirlos en tecnologías más amigables con el medio ambiente.

Se recomienda para futuras investigaciones incluir a productores de otras comunidades de la demarcación, pues esto ayudará a tener una visión más clara y concreta del comportamiento de la producción en cada tecnología.

APÉNDICES

Apéndice 1 Cuestionario aplicado en la recolección de datos.



Universidad Autónoma Chapingo
División de Ciencias Económico-Administrativas
Maestría en Ciencias de la Economía Agrícola y de los Recursos Naturales



Guía de entrevista

Fecha de entrevista: _____

Nombre del entrevistador: _____

Datos generales del productor

Nombre del productor: _____

Edad: _____ Escolaridad: _____

Número de integrantes en la familia: _____

Edades de los integrantes: _____

Descripción general de la unidad de producción

La parcela es: Propia ☐ Rentada ☐ ¿Cuánto paga? _____

¿Cuál es la extensión de su parcela? _____

Superficie ocupada productivamente: _____

¿Cuántos cultivos existen en la parcela? ¿cuáles son?

¿Cuál es la extensión cultivada de cada uno? _____

Tipo de tecnología: Tradicional ☐ Ecoinnovadora ☐

Antecedentes

¿Cuántos años lleva cultivando nopal? _____

¿Quien me enseñó a cultivar esta planta? _____

Antes de cultivar nopal, ¿Qué sembraban? _____

¿Por qué decidieron cambiar de cultivo? _____

Caracterización de la mano de obra

¿Cuántas personas trabajan en la parcela? _____

Tipo de mano de obra: Familiar ☐ contratada ☐

¿Cuántas personas son contratadas? _____

¿Qué cantidad paga por cada persona contratada? _____

¿Cuántos días a la semana trabajan? _____

¿Cuántas horas laboran al día? _____

PRODUCCIÓN DEL NOPAL-VERDURA

Es necesario conocer cada una de las actividades en el cultivo del nopal para identificar los procesos, insumos y herramientas que utilizan los productores.

Descripción de los procesos		
Actividad	Frecuencia	Descripción
Preparación del terreno		
Trazado de la plantación		
Plantación		
Fertilización y abonado		
Riego		

control de la maleza		
Combate de plagas y enfermedades		
Podas		
Cosecha		

Insumos para la producción					
Actividad	Tipo de insumo (fertilizante, plaguicida, etc)	Nombre del insumo	Presentación (costal de 60 kg; bolsa de 1 kg; frasco de 1 l, etc)	Precio	Cantidad
Preparación del terreno					
Trazado de la plantación					
Plantación					
Fertilización y abonado					
Riego					
Control de la maleza					
Combate de plagas y enfermedades					
Podas					
Cosecha					

Herramientas para la producción				
Herramienta	Vida útil aproximada	Cantidad utilizada	Compra, renta o es prestado	Costo aproximado actual

Si los campesinos mencionaron trabajar con la tecnología ~~ecoinnovadora~~, seguir al siguiente apartado, de lo contrario pasar al apartado de Rendimientos de la Producción.

PRODUCCIÓN DE OTROS CULTIVOS

Los campesinos que llevan a cabo la producción de nopal con una tecnología ~~ecoinnovadora~~ realizan otras actividades adicionales además de la actividad principal.



Descripción de los procesos			
Cultivo	Actividad	Frecuencia	Descripción

Insumos para la producción					
Actividad	Tipo de insumo (fertilizante, plaguicida, etc)	Nombre del insumo	Presentación (postal de 60 kg; bolsa de 1 kg; frasco de 1 litro, etc)	Precio	Cantidad

Herramientas para la producción					
Actividad	Nombre	Vida útil aproximada	Cantidad utilizada	Compra, renta o es prestado	Costo aproximado actual
					=====

Cosecha							
Mes	Cosecha (número de piezas)	Producto		Lugar de venta	Precio medio		Cantidad para autoconsumo
		con espina	sin espina		con espina	sin espina	
Enero							
Febrero							
Marzo							
Abril							
Mayo							
Junio							
Julio							
Agosto							
Septiembre							
Octubre							
Noviembre							
Diciembre							

Recursos económicos

¿Cuenta con algún crédito? Si No

Institución o persona prestamista: _____

Monto/ciclo \$ _____ Intereses/ciclo o periodo _____

¿Recibe apoyos gubernamentales? Si No

¿Cuáles son? _____

¿Qué cantidad recibe de cada apoyo? _____

NOTAS ADICIONALES