



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE SOCIOECONOMÍA, ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA

ECONOMÍA

INCENTIVOS ECONÓMICOS PARA TRANSITAR A UNA AGRICULTURA SOSTENIBLE

MAGNOLIA LÓPEZ SOTO

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTORA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2020

La presente tesis titulada: **Incentivos económicos para transitar a una agricultura sostenible**, realizada por la alumna: **Magnolia López Soto**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS
SOCIOECONOMÍA ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA

ECONOMÍA

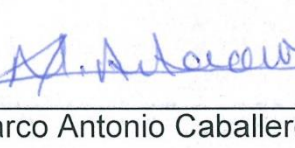
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 
Dr. José de Jesús Brambila Paz

ASESOR: 
Dr. Miguel Ángel Martínez Damián

ASESOR: 
Dr. José Jaime Arana Coronado

ASESOR: 
Dr. Fernando Brambila Paz

ASESOR: 
Dr. Marco Antonio Caballero García

Montecillo, Texcoco, Estado de México, diciembre de 2019.

INCENTIVOS ECONÓMICOS PARA TRANSITAR A UNA AGRICULTURA SOSTENIBLE

Magnolia López Soto, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2020

RESUMEN

Un incentivo económico es dinero ofrecido a fin de obtener un comportamiento esperado (Laffont, 2002). La agricultura de conservación (AC) es un sistema de producción sostenible que busca abastecer la demanda de alimentos sin comprometer los recursos naturales y humanos (United-Nations-1, 2018). AC se ha impulsado en México desde los 60's sin llegar a ser adoptada totalmente aun cuando autores e instituciones han mostrado los beneficios ecológicos y económicos superiores a la agricultura convencional (AD), en análisis estáticos. El objetivo de esta investigación es identificar el incentivo económico de AC proveniente del proceso de producción. La contribución de la presente investigación es un análisis económico dinámico de 13 ciclos de cultivo consecutivos de implementación de AC, comparado AD. El incentivo económico de AC se estima desde diferentes métricas: el valor presente de la ganancia del productor ($VP\pi$), el efecto de la erosión en la productividad (Y_{AD}) y el impacto en el costo de producción (CTF_{sim}) mediante una función de producción tipo Cobb-Douglas, el riesgo de precios que enfrenta el productor en el mercado usando simulación Montecarlo y el modelo de Wiener, y el valor presente de la ganancia del productor ($VP\pi_{PAC}$). bajo el principio de alternancia de cultivos de AC, con maíz blanco y cebada grano Se estimaron costos escondidos (CE_{AC}) que limitan la adopción de AC. Se encontró que el valor presente de la ganancia de 13 años de AC ($VP\pi_{AC} = 96,418 \$ ha^{-1}$) es 23.7% superior al de agricultura convencional AD ($VP\pi_{AD} = 77,961 \$$

ha⁻¹) y el incentivo económico proveniente del proceso de producción se hace evidente a partir del ciclo 9. Los costos escondidos ($CE_{AC} = 29,723 \text{ \$ ha}^{-1}$) los puede enfrentar el productor con incentivos externos como un subsidio económico (SE) de \$ 5,709 durante 7 ciclos de cultivo continuos desde la implementación de AC, o bien mediante un premio al precio de 25%, durante los primeros 5 años. La implementación de AC en 13 ciclos anuales con alternancia de cultivos, maíz blanco en primavera-verano y cebada grano en otoño-invierno, genera un valor presente de la ganancia del productor anual ($VP_{\pi_{PAD}} = 188,005 \text{ \$ ha}^{-1}$) 95% y 113% mayor que producir solo maíz o solo cebada, respectivamente.

Palabras clave: *Labranza de conservación, Cobb-Douglas, Wiener, diferenciación, maíz blanco, cebada grano.*

ECONOMIC INCENTIVES FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE ADOPTION

Magnolia López Soto, PhD.

Colegio de Postgraduados, 2020

ABSTRACT

An economic incentive often is money offered to make someone behave in a particular way (Laffont, 2002). Conservation Agriculture (AC) is a sustainable production system, what is aimed at satisfying increasing world food demand, without compromising natural resources (United-Nations-1, 2018). (AC) has been driven in Mexico since 60's years without total adoption, even though researchers and institutions has shown AC has environmental benefits, and looks more profitable than conventional agriculture (AD). The objective of this research is to identify the economic incentive from AC production process during 13 consecutive crop cycles, in Guanajuato, México, for white corn and barley. Economic incentives were estimated with different metric tools: farmer profit present value (VP_{π}), soil depletion effect in crop yield (Y_{AD}) and cost simulation (CTF_{sim}) using a Cobb-Douglas production function, the market price risk with Montecarlo simulation and Wiener model, and annual profit present value ($VP_{\pi PAC}$) based on AC crop rotation. Hidden costs (CE_{AC}) that would limit AC adoption were calculated. Results show, for 13 continuous crop cycles, profit present value from AC ($VP_{\pi AC} = 96,418 \$ ha^{-1}$) is 23.7% higher than AD ($VP_{\pi AD} = 77,961 \$ ha^{-1}$), and economic incentive from AC appear at 9 cycle. Hidden costs ($CE_{AC} = 29,723 \$ ha^{-1}$) could be faced by producer with external incentives, as a subsidy ($SE = \$ 5,709$) coming from public policy for 7 continuous crop cycles in AC; or, through a 25% bonus price during first 5 years. Rotation crop principle from AC, with white corn as a spring-summer crop

and barley as fall-winter crop, during, 13 cycles generates 95% and 113% higher profit present value ($VP_{\pi_{PAD}} = 188,005 \text{ \$ ha}^{-1}$) than grow yearly only white corn or only barley, respectively.

Key words: *Conservation tillage. Cobb-Douglas, Wiener model, price, differentiation, corn, barley.*

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Mi total agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), al Colegio de Posgraduados y al posgrado de Economía, por brindarme el soporte económico y científico que hicieron posible esta investigación.

Mi especial reconocimiento al Centro de Desarrollo Tecnológico Villa Diego, FIRA, Guanajuato y a CIMMYT Hub Bajío por su apoyo y orientación para el entendimiento de la producción bajo Agricultura de Conservación en Guanajuato, indispensables para éste análisis.

A mi Consejo Particular, aprecio y valoro profundamente su apoyo en todo momento, y en especial al Dr. José de Jesús Brambila Paz por su conducción y liderazgo.

A mi familia y mis compañeros por su acompañamiento.

A Dios por hacer que llegue a ser.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	v
LISTA DE CUADROS	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes	2
Motivación	12
Objetivos	14
Hipótesis	15
Organización de la tesis	16
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	17
2.1 Los incentivos económicos	17
2.2 Teoría de la producción.....	18
2.2.1 El ingreso neto del productor: la ganancia	18
2.2.2 La función de producción	18
2.3 Producción agrícola sostenible	19
2.3.1 La necesidad de migrar a métodos de producción sostenibles.....	19
2.3.2 Sostenible y sustentable.....	21
2.3.3 Agricultura convencional y Agricultura de conservación.....	23
3 METODOLOGÍA	41
3.1 Marco teórico	42
3.1.1 Teoría de la producción	42
3.1.2 Valor presente	50

3.1.3	Método de simulación Montecarlo	52
3.1.3	Movimiento Browniano geométrico	53
3.2	Descripción de variables	55
3.3	Origen de los datos	58
3.4	Especificación del modelo	59
3.4.1	Supuestos del modelo	59
3.4.2	Modelo del ingreso neto del productor (ganancia π)	62
3.4.3	Modelo del valor presente de la ganancia ($VP\pi$)	62
3.4.4	Modelo del efecto del deterioro del suelo en la función de producción	66
3.4.5	Modelo de implementación de incentivos externos para AC	69
3.4.6	Simulación de la productividad y costos de largo plazo en AD	71
3.4.7	Simulación del precio de maíz y cebada en el largo plazo	74
3.4.8	Modelo de la ganancia del productor con rotación de cultivos en AC	76
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	78
4.1	La ganancia del productor en el horizonte de tiempo.....	78
4.2	Incentivos para impulsar la adopción de AC	82
4.3	La productividad de AD afectada por el deterioro del suelo	90
4.4	La estabilidad del ingreso del productor en AC, el horizonte de tiempo.....	94
4.5	Modelo de la ganancia total del productor bajo el principio de alternancia de cultivos de AC	97
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
6.	SIGUIENTES PASOS EN LA INVESTIGACIÓN.....	99
7.	LITERATURA CITADA	101

ANEXOS	106
A.1. Prueba de normalidad	106
A.1.1 Precios de maíz blanco	106
A.1.2 Precios de cebada grano.....	108
A.2. Modelo para maíz en agricultura convencional AD.....	109
A.3. Modelo para maíz en agricultura de conservación MAC	111
A.4. Modelo para cebada en agricultura convencional CAD	114
A.5. Modelo para cebada en agricultura de conservación CAC	115

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Rendimiento de maíz grano bajo riego ($Mg\ ha^{-1}$).....	10
Cuadro 2. Actividades para preparación del suelo. Maíz. Guanajuato. AD Vs AC.	36
Cuadro 3. Actividades para la nutrición del suelo. Maíz. Guanajuato. AD Vs AC.	37
Cuadro 4. Actividades para la cosecha. de Maíz. Guanajuato. AD Vs AC.....	39
Cuadro 5. Fases de adopción de tecnologías de conservación de agua y suelo.....	40
Cuadro 6. Elasticidades de la función de producción de AC y AD	69
Cuadro 7. Valor presente de la ganancia del productor de maíz blanco en AD y AC	80
Cuadro 8. Incentivo de política pública al productor para la adopción de AC	84
Cuadro 9. Incentivos por diferenciación de precios para la adopción de AC	86
Cuadro 10. Diferencial de precios de productos agrícolas orgánicos.....	89
Cuadro 11. Medidas de tendencia central de las simulaciones de precio de maíz blanco y cebada grano, al año 2050.....	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del estado de Guanajuato. México.....	5
Figura 2. Volumen y valor de la producción de Guanajuato. México.....	7
Figura 3. Principales estados productores de maíz en México.	8
Figura 4. Superficie cosechada de maíz grano en riego y temporal, Guanajuato. México.	9
Figura 5. Producción y rendimiento de maíz grano, Guanajuato. México.	9
Figura 6. Producción de maíz blanco grano en PV riego, Guanajuato. México.	11
Figura 7. Producción de cebada grano, Guanajuato. México.....	11
Figura 8. Supuesto de la ganancia del productor en AC y AD	60
Figura 9. Supuesto de la volatilidad de la tasa de crecimiento de la producción	60
Figura 10. Valor presente de la ganancia, maíz blanco PV (2006-2018)	81
Figura 11. Comportamiento de los precios de maíz blanco simulando premio al precio.....	87
Figura 12. Simulación del efecto del deterioro del suelo en la productividad de AD, durante los próximos 13 ciclos de cultivo	91
Figura 13. Simulación del Costo de producción en AD afectado por el deterioro del suelo.	92
Figura 14. Simulaciones de precio de maíz blanco, al año 2050.	94
Figura 15. Simulaciones de precio de cebada grano, al año 2050.....	95
Figura 16. Tasas de crecimiento logarítmica de precios proyectados de maíz y cebada (simulación 4)	96
Figura 17. Valor presente de la ganancia en AC, del año agrícola	97

1. INTRODUCCIÓN

Un incentivo es la promesa de una compensación por realizar cierta acción que desea quien ofrece el incentivo (Laffont, 2002). Los modelos de producción sostenibles son una prioridad para enfrentar el reto de la alimentación a nivel mundial, según lo indica la Agenda 2030 de la ONU, en los 17 objetivos de desarrollo sostenible (SDG Sustainable Development Goals) (United-Nations-1, 2018). El SDG No.12 “producción y consumo responsable” establece que “...en los países, los gobiernos, instituciones, el sector empresarial y los individuos deben contribuir a cambiar los patrones no sostenibles de consumo y producción...” (United-Nations-2, 2018). La producción agrícola comercial es parte fundamental del sector productivo de una nación y la Agricultura de Conservación (AC) es una de las opciones de producción sostenible debido a la recuperación paulatina del suelo agrícola, la reducción de costos por labranza y otras contribuciones al medio ambiente (Nele, 2015). Aun cuando desde los años 60’s diversas instituciones en México han mostrado los beneficios de AC, y se han determinado factores que limitan su adopción, no se ha logrado establecer definitivamente como un sistema de producción (Martínez-Cruz, 2019), en parte porque el productor no identifica un incentivo económico proveniente del proceso de producción, durante las etapas iniciales de implementación. La presente investigación identificar incentivos económicos otorgados por el propio proceso de producción a través de la ganancia, en un horizonte de 13 ciclos de cultivo continuos en AC. Ésta investigación se desarrolló considerando agricultura comercial de maíz blanco y cebada grano en Guanajuato, México.

Antecedentes

Desde los años 60's se empezó a reconocer la necesidad de considerar los modos de producción y fue en el año 2015 que 195 países acordaron alinearse a los 17 Objetivos de Desarrollo Sustentable (*SDG sustainable development Gaoals*) de la ONU, que buscan cumplir con el reto de abastecer la creciente demanda de alimentos, realizando cambios sin precedentes y de rápido alcance.

La agricultura convencional (AD) se caracteriza por la alta productividad basada en el uso intensivo de recursos naturales, alto laboreo con el que se altera el sistema suelo debilitando su capacidad de nutrir a los cultivos y con ello se hace necesaria la aplicación recurrente y creciente de fertilizantes químicos, los cuales por su naturaleza salina afectan aún más la química del suelo. El monocultivo, entendido como la siembra del mismo cultivo repetido todos los ciclos agrícolas, es característico también de estos modos de producción cuya consecuencia es el agotamiento del suelo y la intensificación de la severidad de las plagas y enfermedades. Esto hace necesario un mayor uso agroquímicos, que potencialmente contaminan los suelos, los cuerpos de agua, y en algunos casos la misma producción cuando existe alta residualidad (De la Rosa, 2008); (SEMARNAT, 2018).

Cambiar el modo de producir es urgente. A nivel mundial, en 2015 se estimó que el 33% de la tierra de cultivo se encuentra en estatus de moderada a altamente degradada debido a la erosión, compactación, salinización, acidificación y contaminación química de los suelos. En América Latina donde se ubica el 12% de la

tierra actualmente cultivada se reporta el 8% del total mundial de los suelos degradados (Montanarela, 2015)

En México, diversas instituciones impulsan métodos o sistemas de producción agrícola sostenible o alineados a los ODS de la ONU. Uno de éstos sistemas es la Agricultura de conservación AC, basada en 3 principios: remoción mínima del suelo, cobertura del suelo y rotación de cultivos. (CIMMYT-SAGARPA, 2017)

El CIMMYT [Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y Trigo] como parte del CGIAR trabaja para incrementar de manera sustentable la productividad de los sistemas del maíz y del trigo para la seguridad alimentaria global y reducir la pobreza.

El Centro de Desarrollo Tecnológico de Villa Diego (CDT), Valle de Santiago, Guanajuato de FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura) tiene 31 años trabajando en el desarrollo e impulso de Agricultura de Conservación la cual inició como labranza de conservación. Desde sus inicios en 1985, éste centro que tiene alcance nacional se encarga de validar las tecnologías agrícolas que otras instancias investigan [Cimmyt e INIFAP] con exhaustivos análisis de costos, para posteriormente demostrarla diseñando protocolos y metodologías estables para transferirla a los productores. Lo anterior se logra con la formación de consultores y asesores técnicos. (Torres, 2019)

Diversas investigaciones han mostrado que AC es más rentable que AD; sin embargo, se han identificado factores que desincentivan la adopción de AC, como: los altos

costos iniciales, la maquinaria especializada y como usarla, la falta de capacitación y entrenamiento al productor, la pericia limitada de los técnicos que acompañan al productor, la política pública basada en la modernización a través de la mecanización y uso de agroquímicos; pero principalmente el limitado entendimiento de que AC es un sistema de producción y no solo una práctica agrícola. (Martínez, 2006); (Singh, 2012); (FAO, 2016); (Martínez-Cruz, 2019)

Los beneficios de AC no son evidentes desde el primer año de su implementación, ni en las propiedades del suelo, ni en el rendimiento del maíz (Martinez, 2014), (Báez, 2011), por lo que no tiene impacto positivo en el ingreso del productor. Los resultados se muestran a partir del 4° año de implementación (Flores, 2006) (Fregoso, 2006). En contraste, al inicio se requiere una inversión adicional para la preparación del terreno y adaptación de maquinaria, etapa conocida como año cero. (CIMMYT-SAGARPA, 2017); (Ortega, 2019)

El maíz y la cebada en México y Guanajuato

El maíz es el cultivo más representativo en México por su importancia económica, social y cultural. El maíz blanco es el que se utiliza para la alimentación humana, con un consumo per cápita de 194.4 Kg año⁻¹. El país produce entre 23.5 y 24.5 millones de toneladas (Mg) anualmente, que representan el 86.94% de la producción total de maíz, satisfaciendo la totalidad del consumo. México es autosuficiente en la producción de maíz blanco (SAGARPA, 2017); (SIAP-SADER, 2019).

El estado de Guanajuato, ubicado en la región Centro-Occidente (Figura 1), representa el 1.56% del territorio nacional. En el estado, el 43% de su superficie hacia la región norte posee clima seco y semiseco, el 33% de la superficie hacia la parte suroeste y este el clima es cálido subhúmedo y el 24% restante es templado subhúmedo. La temperatura media anual es de 18°C (30°C en mayo y junio y 5.2°C en enero) con lluvias en verano (junio a septiembre) y precipitación media de 650 mm anuales. En el estado se encuentran 18 ríos, 7 presas, 2 lagunas y otros 2 cuerpos de agua. (INEGI-Cuentáme, 2018).

Guanajuato cuenta con 127,863 ha de superficie agrícola con riego (25.14%). La disponibilidad de agua obedece a 2 distritos de riego: DR011 Alto Río Lerma y DR085 La Begoña, de los cuales dependen 13 módulos de riego y 8 presas de almacenamiento. (CONAGUA, 2018).



Figura 1. Ubicación geográfica del estado de Guanajuato. México.

Fuente: (INEGI-Cuentáme, 2018)

La disponibilidad de agua permite al estado de Guanajuato ser el 9° lugar en superficie agrícola cosechada (ha) con el 4.4% de la superficie nacional (Figura 2), aun cuando ocupa el 13° lugar en volumen producido con el 1.6% del volumen total del país, su producción es de alto valor económico por lo que ocupa el 6° lugar como el estado con mayor valor de producción agrícola (\$) en México, con una participación de 4.9% del total (SIAP-SADER, 2018).

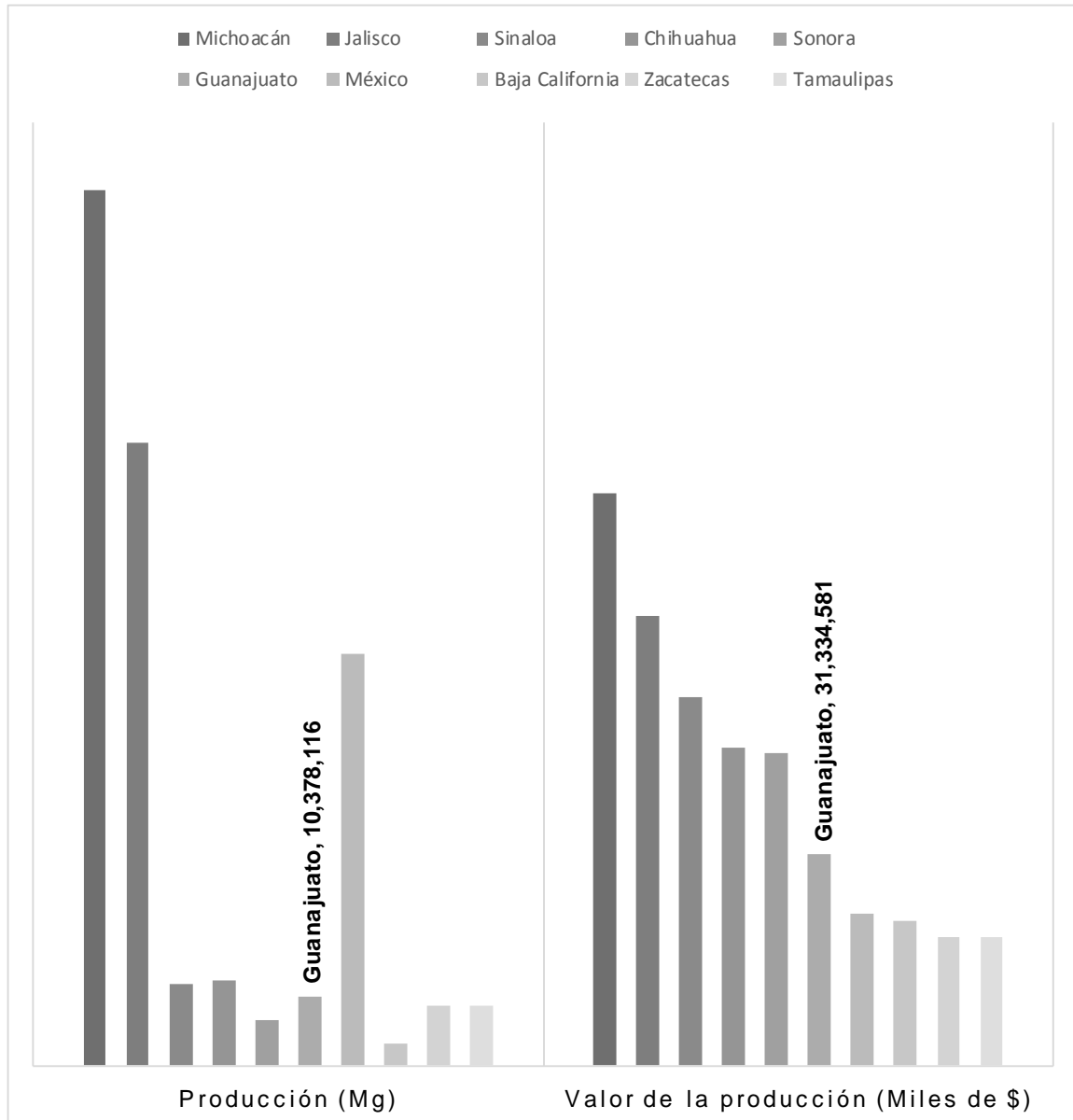


Figura 2. Volumen y valor de la producción de Guanajuato. México.

Fuente: Elaboración propia con datos de (SIAP-SADER, 2018)¹

El estado es el 5° productor de maíz (Figura 3) en el país, del total de superficie de riego, 118.9 mil ha se siembran con maíz grano blanco cosechado en el ciclo

¹ Promedio de 3 años (2016-2017-2018)

Primavera – Verano y 52.7 mil ha de cebada grano en el ciclo otoño-invierno. La producción anual de maíz blanco grano asciende a 1.7 millones de toneladas (Mg)² y la cebada a 367 mil Mg.

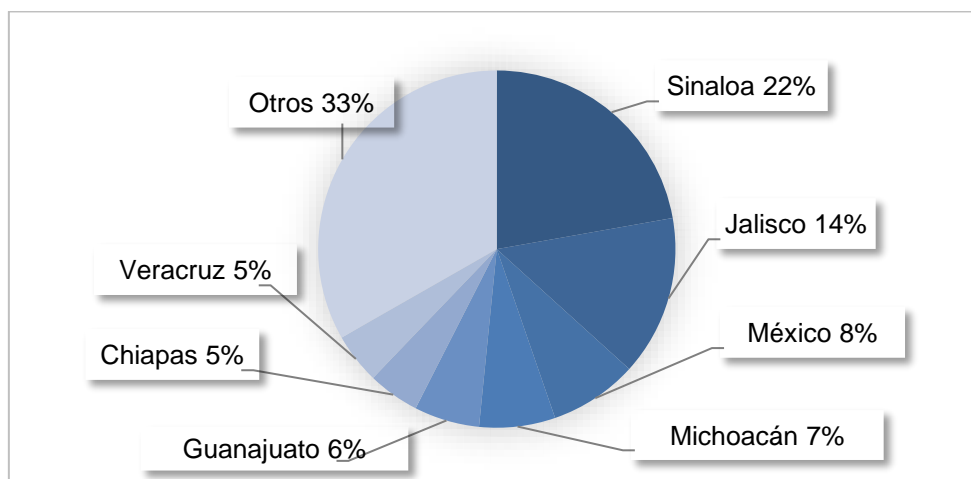


Figura 3. Principales estados productores de maíz en México.

Fuente: Elaboración propia con datos de (SIAP-SADER, 2018)²

Si bien la superficie cosechada de maíz en temporal triplica la superficie con riego (Figura 4) la mayor productividad se logra en las hectáreas con riego (de 800 a 1,400 Mg año⁻¹), con respecto al temporal (de 200-300 Mg año⁻¹). Los rendimientos en promedio van de 9 Mg ha⁻¹ en riego contra 2 Mg ha⁻¹ en temporal. (Figura 5)

² Mg son megagramos, equivale a 1x10⁶ gramos, conocido como tonelada

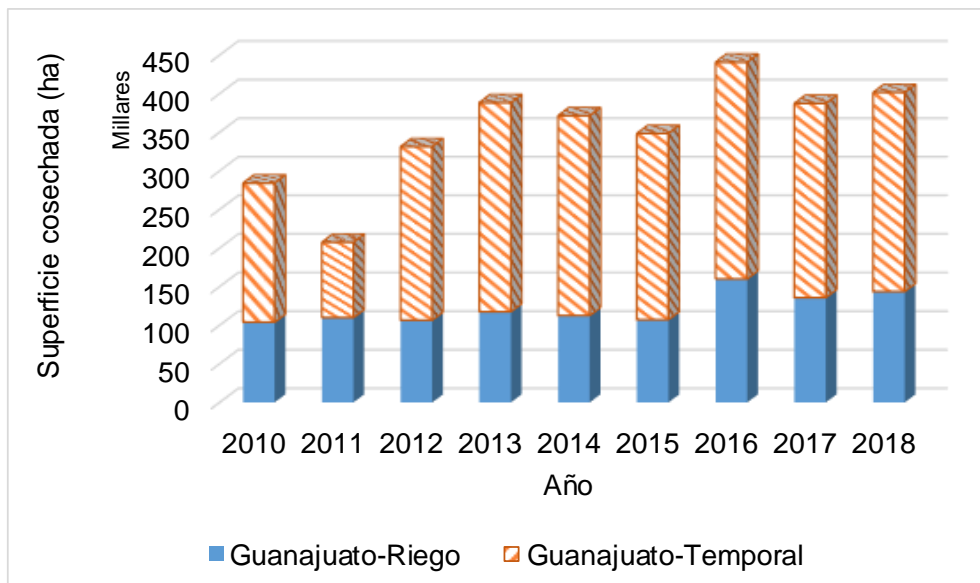


Figura 4. Superficie cosechada de maíz grano en riego y temporal, Guanajuato. México.

Fuente: Elaboración propia con datos de (SIAP-SADER, 2019)²

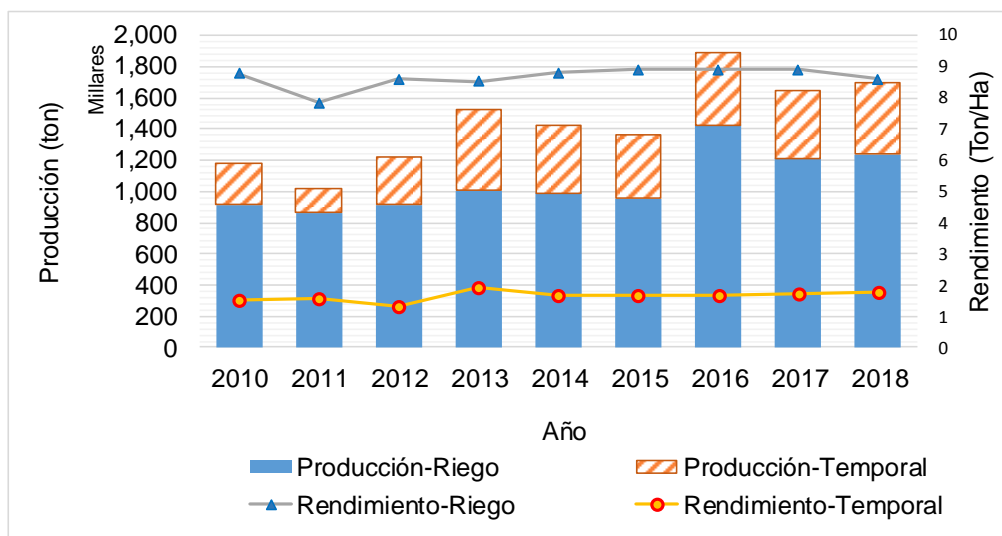


Figura 5. Producción y rendimiento de maíz grano, Guanajuato. México.

Fuente: Elaboración propia con datos de (SIAP-SADER, 2018)²

Con base en la productividad estatal promedio del cultivo de maíz, Guanajuato se consideró como una región de agricultura comercial con tecnología intermedia, es decir no tan desarrollada como Sinaloa ni incipiente como Oaxaca (Cuadro 1). En el caso de maíz grano, los rendimientos promedio del estado varían entre 8 y 9 Mg ha⁻¹ aunque el gobierno estatal reporta rendimientos de hasta 14 Mg ha⁻¹. (SDAYR, 2018)

En Guanajuato, el cultivo de granos como el maíz, trigo y cebada se lleva a cabo en 2 ciclos de cultivo: Primavera-Verano (PV) en el que la siembra se hace en la tercera semana de julio y se cosecha de noviembre a enero, y el ciclo Otoño-Invierno (OI) en el que se cultivan variedades tolerantes a bajas temperaturas y a la baja disponibilidad de agua como sorgo, trigo y cebada. En el estado, el 58% de producción de maíz grano se obtiene en el ciclo PV en riego (Figura 6) y el 86% de la producción de cebada en el ciclo OI, también en riego (Figura 7).

Cuadro 1. Rendimiento de maíz grano bajo riego (Mg ha⁻¹)

Ciclo	Cultivo	Guanajuato	Promedio Nacional	Máx	Mín
PV	Maíz Amarillo	9.42	6.22	11.18 Chihuahua	2.52 Coahuila
	Maíz grano blanco	8.59	5.93	9.86 Sinaloa	2.32 Oaxaca
OI	Maíz amarillo	---	7.87	10.49 Tamaulipas	6.5 Tamaulipas
	Maíz grano blanco	8.14	5.59	11.81 Sinaloa	1.71 Querétaro

Mg son Mega gramos 1x10⁶gramos, equivalentes a 1 tonelada.

Fuente: Elaboración propia con datos de (SIAP-SADER, 2018).

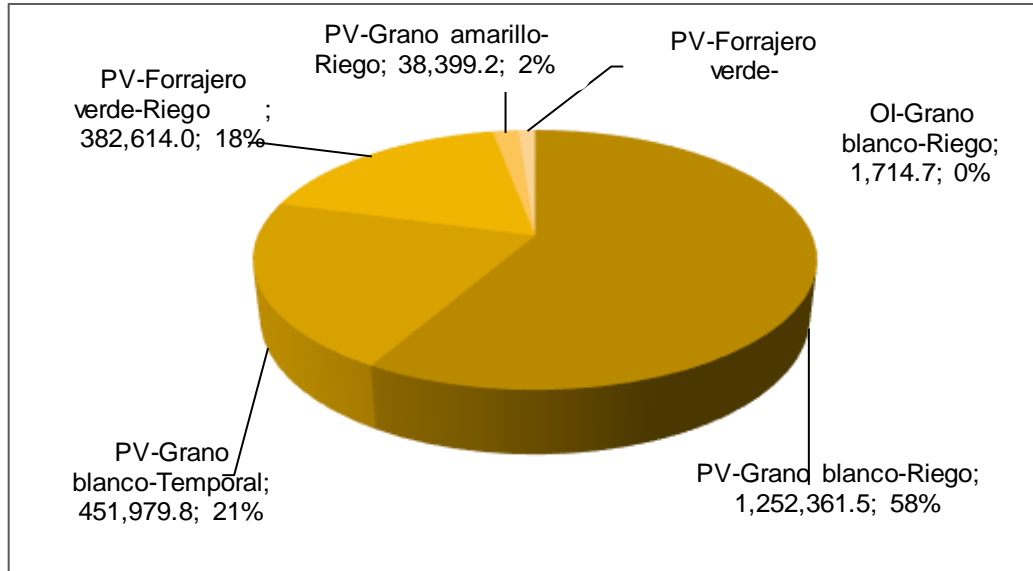


Figura 6. Producción de maíz blanco grano en PV riego, Guanajuato. México.

Fuente: Elaboración propia con datos de (SIAP-SADER, 2018)²

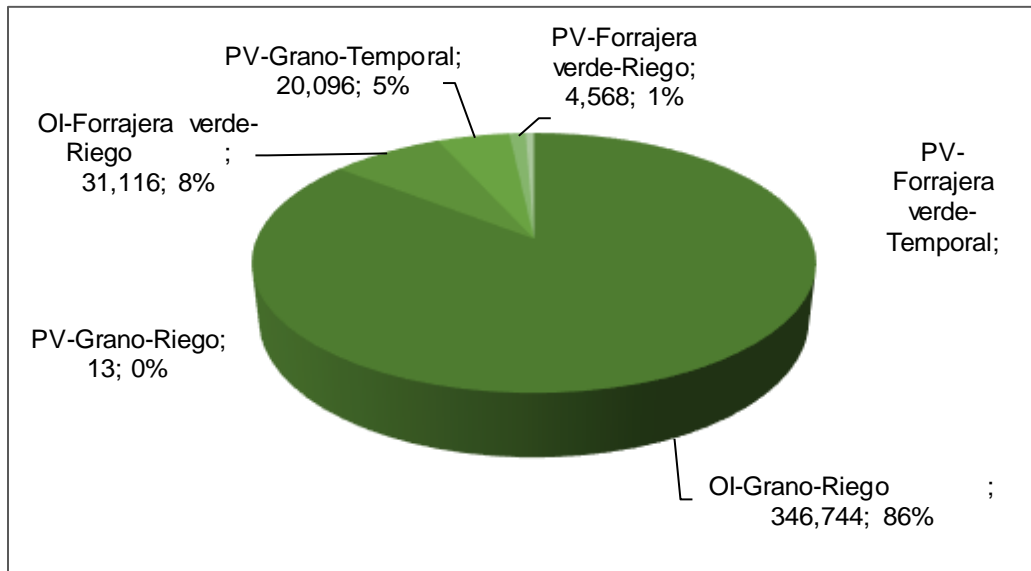


Figura 7. Producción de cebada grano, Guanajuato. México.

Fuente: Elaboración propia con datos de (SIAP-SADER, 2018)²

De los granos básicos, el maíz es el de mayor rendimiento, pero no el de mayor precio (8.92 Mg ha⁻¹ y precio al productor de \$ 3,519.45 \$ Mg⁻¹); seguido por la cebada (6.16 Mg ha⁻¹ y precio de 4,296.16 \$ Mg⁻¹). El trigo grano (6.85 Mg ha⁻¹ y 3,852.87\$ Mg⁻¹) y el maíz amarillo (9.61 Mg ha⁻¹ y 3,508.71 \$ Mg⁻¹) tienen menor importancia en el estado. (SIAP-SADER, 2018)

“En el bajío, al norte del estado de Guanajuato, hay disponibles 90 mil hectáreas para sembrarse con cebada maltera en el distrito de riego 011 y sólo se siembran 70 mil, lo que significa que 20 mil hectáreas no se aprovechan para este cultivo. En el 2015 en Guanajuato se produjeron 570 mil toneladas de cebada, y las cerveceras realizaron contratos para comprar solo 450 mil toneladas, lo cual es muestra que la demanda de la industria está cubierta”, explicó. (Rosas, 2017)

Dada la importancia de Guanajuato en la producción nacional de maíz blanco y cebada grano, la presente investigación considera para su análisis maíz blanco del ciclo PV y cebada grano de OI, ambos bajo sistema de riego de bombeo.

Motivación

La necesidad de adoptar métodos de producción sostenibles es hoy de alta prioridad. Las prácticas relacionadas con la agricultura de conservación (AC) se originaron desde los años 60's y a la fecha no se ha logrado su completa adopción. Diversos investigadores han identificado factores que limitan la adopción de AC y han

demostrado sus beneficios al regenerar el suelo agrícola, mejorar la eficiencia del uso del agua y otros beneficios ambientales como evitar la quema de residuos y la captura dióxido de carbono (Baker, 2008) (AEAC, 2016).

Las ventajas económicas son el incentivo para la agricultura comercial, desde ésta óptica solo se ha demostrado el beneficio de AC a través de la reducción de costos por el laboreo y 70% menos costos por consumo de combustible (FAO, 2001), (INIFAP, 2002), en escenarios estáticos.

Pregunta de investigación

Considerando el efecto deterioro del suelo como una afectación directa en el rendimiento del cultivo y por ende en el ingreso del productor (Di Falco, 2006) (Lybbert, 2010) y bajo el contexto de Ac, se genera la pregunta ¿Cuál es el incentivo económico para adoptar AC considerando el impacto económico del deterioro del suelo, y en qué momento del horizonte de tiempo se alcanza?

Objetivos

Objetivo general

Identificar incentivos económicos generados por el proceso de producción, en el horizonte de tiempo de 13 ciclos continuos de implementación, de Agricultura de Conservación.

Objetivos específicos

- Evaluar la ganancia económica del productor, en el horizonte de tiempo, después de la implementación continua de AC
- Incluir el impacto del deterioro del suelo en la producción y su afectación económica para el productor
- Sugerir apoyos externos al proceso de producción que puedan incentivar la adopción de AC
- Analizar el ingreso neto del productor considerando el año agrícola con la alternancia de cultivos, de acuerdo con los principios de AC.

Hipótesis

Hipótesis General

La adopción de la Agricultura de Conservación no se está llevando a cabo con la rapidez que se requiere porque los productores no advierten un ingreso neto tal que justifique los primeros años de implementación. El incentivo económico de AC está relacionado con los beneficios del cuidado del sistema suelo y de la rotación de cultivos. Estos beneficios se hacen evidentes a través de la productividad y la contención de los costos de producción, en algún momento después de los primeros 3 años de implementación y prácticas continuas, de éste sistema de producción agrícola.

Hipótesis secundarias

La ganancia o ingreso neto del productor es mayor en AC que en AD, en el tiempo, posterior a la implementación de AC.

Si el productor opta por continuar produciendo mediante agricultura convencional AD, enfrentará mayores costos de producción en el futuro para mantener su productividad (*Ceteris Paribus*), con respecto a AC.

La Agricultura de Conservación implementada con rotación de cultivos como maíz y cebada grano, genera mayor ganancia al productor y puede estabilizar su ingreso anual debido a un menor riesgo de precios del mercado.

Organización de la tesis

La presente tesis está basada en la teoría de la producción y la teoría de la Agricultura de Conservación.

En la sección 2 se establecen los fundamentos teóricos de cada una de las teorías revisadas y los antecedentes para establecer la presente investigación. Se incluye información de las entrevistas a especialistas en AC que permitieron comprender la problemática que enfrenta el productor y enmarcar la investigación. En la sección 3 se muestran los fundamentos teóricos de los modelos utilizados para la evaluación empírica del problema de investigación; así como la descripción de variables y el origen de los datos. La sección 4 muestra los resultados obtenidos en el contexto de otros autores. La sección 5 se concluye y se hacen recomendaciones con base en los hallazgos.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Los incentivos económicos

Actualmente en economía los incentivos es tema extenso que incluye por ejemplo incentivos para trabajar duro, incentivos para producir bienes de buena calidad, para estudiar, para invertir, para ahorrar, etc. La tarea fundamental es el diseño de buenos incentivos que estimulen a los agentes económicos y las instituciones que los proveen.

La teoría de los incentivos inicia con el problema de delegar una tarea a un agente con información privada que puede ser de dos tipos: acciones ocultas (riesgo moral) o conocimiento oculto (selección –de decisiones -adversa). En ambos casos quien delega la tarea debe encontrar la manera de tener acceso a dicha información privada, a través de incentivos. (Laffont, 2002)

Los productores agrícolas tienen como incentivo para iniciar un proceso productivo la ganancia obtenida, la cual les permite tener ingresos y viabilidad económica, para mejorar su calidad de vida. (Sheck, 2013.)

2.2 Teoría de la producción

2.2.1 El ingreso neto del productor: la ganancia

El productor agrícola busca maximizar su ganancia económica a través del uso eficiente de los insumos de la producción. La tierra, el trabajo y el capital son los factores que afectan la producción. La representación de dicha afectación se llama función de producción. (Debertine, 2012)

2.2.2 La función de producción

El productor, como consumidor de insumos para la producción busca la mejor combinación. La representación gráfica de dos insumos basó el estudio de la función de producción durante largos años. Hasta la llegada de métodos computacionales y la incorporación de métodos estadísticos como la regresión lineal permitió estudiar la afectación de más insumos en la producción. (Debertine, 2012)

Al menos existen 20 tipos de funciones de producción cuyo uso depende de los objetivos de la investigación y de los atributos del proceso productivo (Griffin, 1987)

La función de producción neoclásica permite identificar la relación de un insumo y su efecto en la producción, ubicando las crestas que maximizar el uso de dicho insumo, para ello se identifican 3 etapas, donde la etapa II se conoce como “de eficiencia económica. (Debertine, 2012)

En agricultura, las funciones de producción que más se utilizan son las funciones lineales, para estimar el efecto de los fertilizantes, herbicidas, tipo de semilla y mano de obra en el rendimiento (Blas, 2012); y también para evaluar el efecto de la diversidad genética y el medio ambiente en el rendimiento. (Di Falco, 2006)

La función de producción tipo Cobb-Douglas ha sido ampliamente utilizada en producción agrícola, por la facilidad para estimar las elasticidades de los insumos. (Nicholson, 2004).

2.3 Producción agrícola sostenible

2.3.1 La necesidad de migrar a métodos de producción sostenibles

Desde la conferencia de Naciones Unidas para el Medio ambiente en Estocolmo (1972) se puso de manifiesto la excesiva rapidez con que se hacía uso de los recursos básicos a nivel mundial, en 1980 con la publicación de la “Estrategia Mundial de la Conservación” la IUCN, FAO, UNEP y UNESCO se promueve el desarrollo respetando la capacidad que portan los agro ecosistemas. En 1987 en el informe Bundtland “Nuestro Futuro Común” se planteó satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades. Hasta 1994 en la Cumbre sobre derechos Humanos en Viena se atribuye importancia a la dimensión social en el desarrollo sostenible. Hacia el año 2002 en la

Cumbre de Johannesburgo se dio especial énfasis a la erradicación de la pobreza y al uso más eficiente de la tierra, de la inclusión de la mujer y de inclusión de las comunidades indígenas; así, como el eficiente uso de los recursos naturales. (De la Rosa, 2008); (SEMARNAT, 2018)

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible adoptada por 193 países miembros de las Naciones Unidas ONU en 2015 establece 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS ó SDG – Sustainable Development Goals) los cuales es urgente llevar a cabo acciones en países desarrollados y en desarrollo con estrategias que permitan mejorar la salud y la educación, reducir la desigualdad y estimular el crecimiento económico, enfrentando el cambio climático y trabajando para preservar los océanos y los bosques. (United-Nations-1, 2018)

Los 17 SDG son:

1 Fin de la pobreza, 2 Hambre cero, 3 Salud y bienestar, 4 Educación de calidad, 5 Igualdad de género, 6 Agua limpia y saneamiento, 7 Energía asequible y no contaminante, 8 Trabajo decente y crecimiento económico, 9 Industria, innovación e infraestructura, 10 Reducción de las desigualdades, 11 Ciudades y comunidades sostenibles, 12 Producción y consumo responsables, 13 Acción por el clima, 14 Vida submarina, 15 Vida de ecosistemas terrestres, 16 Paz, justicia e instituciones sólidas, 17 Alianzas para lograr los objetivos.

México participó activamente en la definición de la agenda 2030 y ha presentado avances en el Foro Político de alto Nivel en las Naciones Unidas (HLPF High-Level

Political Forum). El foro se ha realizado cada año y durante 2018 se centró en “Transformación hacia sociedades sostenibles y resilientes”, enfatizando en los objetivos 6,7,11,12, 15 y 17. En el SDG2, SDG12 y SDG15 se incluyen estrategias de producción agrícola que eviten la degradación de los agroecosistemas y que permitan la reconstrucción del sistema suelo.

En específico, la meta 2.4 del SDG2 propone “asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción, contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas, fortalezcan la capacidad de adaptación al cambio climático, los fenómenos meteorológicos extremos, las sequías, las inundaciones y otros desastres, y mejoren progresivamente la calidad del suelo y la tierra” (United-Nations-1, 2018)

2.3.2 Sostenible y sustentable

El término sostenibilidad (sustainability) ha sido ampliamente utilizado durante los últimos 35 años. Según las raíces de las palabras, sustentable y sostenible no significan lo mismo, sin embargo, durante mucho tiempo hemos empleado ambas como sinónimos. Lo sustentable se aplica a la argumentación para explicar razones o defender, en tanto que lo sostenible es lo que se puede mantener durante largo tiempo sin agotar los recursos. (SEMARNAT, 2018)

La agricultura, como actividad económica, tiende a monopolizarse a nivel mundial pues la producción se está concentrando en unos cuantos productores, mucho debido a la competencia desleal (Sykuta, 2012) y a la llegada de nuevos productores provenientes de otros sectores que están entrando a este mercado a través del productor líder. (Williams, 2017)

El productor agrícola enfrenta un escenario más competitivo, Pero, la competencia incrementa el vicio de ganar generando competencia injusta o desleal como un método, aún en detrimento del medio ambiente.

Aun cuando la competencia es la base de la economía, ante la crisis económica a nivel mundial se ha impulsado una revisión de sus virtudes, tales como: costos más bajos de los bienes y servicios, mejor calidad, más opciones y variedad, innovación permanente, mayor eficiencia y productividad, mayor equidad del bienestar, mejor distribución del poder económico y un mayor bienestar al consumidor.

Por ello la competencia debe ser regulada, a través de normar precios y servicios en monopolios reales, pero no es la solución en todos los mercados. Dada la crisis económica mundial es deseable la cooperación sobre la competencia, pero solo en mercados no monopolizados cuyo impacto social sea relevante. (Struke, 2013)

2.3.3 Agricultura convencional y Agricultura de conservación

La agricultura como actividad económica productiva utiliza 3 recursos fundamentales: tierra, trabajo y capital. Históricamente estos recursos se asignan eficientemente a fin de obtener la mayor producción posible al menor costo. La tierra (o Suelo), es un factor de la producción que al no ser renovable (De la Rosa, 2008) requiere mayor conocimiento y cuidado para su aprovechamiento sostenible.

El recurso suelo

Definición

El suelo es un sistema dinámico donde interactúan microorganismos y es el medio natural para el crecimiento de las plantas. El buen manejo de los suelos asegura que los elementos minerales no se convierten deficientes o tóxicos para las plantas y que se introduzcan en la cadena alimentaria. (FAO, 2016)

La fertilidad del suelo

La fertilidad de un suelo es fundamental para el crecimiento de las plantas. Son necesarios 16 elementos de los cuales 3 [oxígeno, hidrógeno y carbono] se obtienen del aire para llevar a cabo la fotosíntesis, el resto se toman del suelo, de los cuales 6 elementos [nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre] se necesitan en grandes cantidades por lo que les llama *macroelementos* y los 7 restantes se requieren

en menos cantidades por lo que se llaman *microelementos* [manganeso, hierro, boro, zinc, cobre, molibdeno y cloro]. La mayor parte de nutrimentos existen en materiales minerales y orgánicos, y como tales son insolubles o inaprovechables por las plantas. Los nutrimentos se vuelven disponibles a través de la intemperización de minerales y descomposición de la materia orgánica y en presencia de agua, por ello el suelo no es capaz de abastecer todos los elementos esenciales durante largos periodos, en cantidades necesarias para producir altos rendimientos. La regeneración del suelo puede tomar cientos de años. (De la Rosa, 2008)

La productividad del suelo, es un concepto económico, que se define como la capacidad del suelo para producir una planta específica bajo un sistema determinado de manejo (siembra, fertilización, calendario de riego, labranza y control de plagas y malezas), se expresa en kg/ha y están implicados 2 factores: insumos y producción. El beneficio neto entre costos y precios se puede usar como base para determinar el valor de la tierra. Al menos una cuarta parte del suministro total de alimentos para el hombre se atribuía al uso de fertilizantes químicos. (Lester, 1970 y Lamer, 1957; citados por (Foth, 1981)

El deterioro de los suelos

La erosión del suelo es el proceso de eliminación parcial o total de la superficie del suelo como consecuencia de las actividades humanas. La sobreproducción de cultivos como algodón, trigo y maíz bajaron la productividad del suelo y erosión del suelo, el cual se le dio atención hasta los años 30's (Foth, 1981) y fue hasta los años 50's que

la erosión de los suelos fue oficialmente reconocida como un problema grave en E.U. (De la Rosa, 2008)

Las tierras agrícolas se vuelven inútiles para la producción cuando han perdido la mitad o más de su suelo superficial. Controlar esta erosión es el primer paso para direccionar el correcto empleo de la tierra agrícola. Al considerar el daño causado por la erosión se trata de suelo perdido por procesos superficiales o arables. La capa superficial de suelo que contiene el más alto porcentaje en condiciones de asimilabilidad de la mayoría de los elementos nutritivos esenciales para las plantas.

Resiliencia de los suelos

Desde 1941, Jenny (citado por De la Rosa, 2008) incorpora el factor tiempo como una variable adicional que determina el estado del sistema suelo. La resiliencia del suelo es la habilidad intrínseca de regenerar la productividad, es decir que un sistema suelo perturbado no regresa a su estado original, sino que recupere su comportamiento o desempeño como fue antes de ser perturbado. (Blanco-Canqui, 2010)

La recuperación de los suelos afectado por quemas para la agricultura necesita hasta 800 años (Nieto, 2019) para recuperarse, y bajo condiciones de reforestación y restauración ambiental puede tomar hasta 16 años en suelo poco resilientes (Ramírez, 2006). En México, autores reportan beneficios por acumulación de materia orgánica a partir de 3 ó 5 años de prácticas de conservación (Flores, 2006); (Cotler, 2017). En el corto plazo, menos de 4 años, la labranza intensiva no tiene influencia fuerte en la

capacidad de los ciclos de nutrientes, pero si reduce la actividad de los hongos en la capa superficial cultivable. (Reardon, 2019)

Impacto económico del deterioro del suelo agrícola

Cada centímetro de suelo fértil que se pierde tiene un costo económico, 1 centímetro de suelo perdido representa 10 T de suelo/ Ha cada año. Hay una relación real entre el suelo que se pierde y el rendimiento de los cultivos. La siembra del maíz mediante siembra directa ocasiona la pérdida de 4.6 T/Ha de suelo cada año, mientras que la siembra en labranza convencional se pierde 40 T/Ha. A largo plazo la siembra directa generó mayores contenidos de materia orgánica, estabilidad de los agregados, conductividad hidráulica y macroporosidad, mejora que se hizo evidente en condiciones de campo después de 16 años, en suelos de escasa resiliencia. (Ramírez, 2006)

La agricultura de conservación (AC) tiene beneficios en el largo plazo por lo que el productor se desmotiva en etapas tempranas de su implementación siendo necesario un impulso económico en los primeros años.

La Agricultura Convencional (AD)

En México, desde el año 2012 se reportaron 48.6% de unidades de producción agrícola con pérdidas de fertilidad de los suelos que tiene que ser reemplazada con

fertilizantes químicos lo que equivale a 38.3 – 54.5 dólares por hectárea entre gastos en nutrición vegetal y pérdida de rendimientos. (Cotler, 2017)

La agricultura convencional, se ha considerado para ésta investigación, como aquel sistema de producción que basa su productividad a partir del uso intensivo productos químicos para nutrición, combate de plagas y enfermedades relacionadas con el cultivo, en el que se hace uso excesivo de labores agrícolas que remueven el suelo con la finalidad de acceder a los nutrientes que no son alcanzables por las plantas. El monocultivo es parte también de éste sistema de producción. La consecuencia de éste sistema de producción es la contaminación de los suelos por los residuos salinos e incluso la contaminación de los cuerpos acuíferos. La consecuencia es el agotamiento del componente biótico del suelo y de los agregados naturales que disminuyen su capacidad de nutrir a los cultivos y generando mayor grado de especialización de las plagas y enfermedades asociadas al monocultivo. (De la Rosa, 2008)

Los sistemas convencionales son sistemas muy conocidos por el productor y es el modo en que lo han hecho recurrentemente, por lo que no requiere procesos de aprendizaje; y, en contraste, el recurso suelo y su mantenimiento no se cuantifica como parte del proceso de producción

La Agricultura de Conservación (AC)

Dados los trabajos en E.U sobre el agotamiento del suelo agrícola en 1964, en México inician los primeros trabajos de labranza de conservación. como una alternativa para proteger el recurso suelo, visto ahora como un sistema vivo, y renovable en el largo plazo.

Posterior a este trabajo surge la Agricultura de Conservación (AC) como un sistema de producción agrícola que propone 3 principios básicos, con la finalidad de lograr la productividad deseada en los cultivos sin el agotamiento de los sistemas agrícolas. (Nele, 2015); (FAO, 2016); (AEAC, 2016)

Los 3 principios sobre los que se construye este sistema de producción son:

- 1- Perturbación mecánica mínima del suelo, constantemente: con siembra directa.
El suelo removido debe ser menor de 15 cm de profundidad o menos de 25% de la superficie del suelo. El escaso movimiento del suelo tiene la finalidad de incorporar nutrientes y semilla. Esta práctica combate la erosión del suelo y preserva los organismos propios del sistema suelo.
- 2- Cobertura orgánica permanente en el suelo: con residuos de cosecha.
Alrededor del 30% de la superficie se cubre, inmediatamente después de la siembra directa. Esta práctica permite proteger al suelo del impacto del clima, reduce los escurrimientos de agua y evaporación, evita la compactación del

suelo y ayuda a suprimir el desarrollo de malezas; mejorando la productividad a largo plazo.

- 3- Diversificación de especies, ya sea por la alternancia (rotación) o la asociación de cultivos. Una buena rotación promueve una buena estructura del suelo y fomenta la diversidad de flora y fauna en el sistema suelo que contribuye al ciclo de nutrientes y en consecuencia a la mejor nutrición del cultivo evitando enfermedades en las plantas. Aunado, los productores pueden contar con opciones de cultivo económicamente viables que minimicen los riesgos del mercado.

Este sistema de producción ayuda mantener los suelos sanos, con la diversidad de organismos que ayudan a controlar las enfermedades en las plantas y malezas; también, recicla los nutrientes, mantiene la estructura del suelo mejorando la capacidad de retención de agua, lo que en conjunto mejora la producción y regenera la productividad de la tierra. (FAO, 2016)

La labranza de conservación trae como consecuencia la acumulación de materia orgánica en el suelo en un año su implementación, en el cultivo de maíz (Nele, 2015)

Labranza de conservación en México

La labranza de conservación que inició sus primeros trabajos en México en 1964 como una alternativa para proteger principalmente el recurso suelo, y fue clasificado como recurso renovable en el largo plazo. Posteriormente surge la Agricultura de Conservación (AC) como un sistema de producción agrícola sostenible basado en 3 principios básicos: la rotación de cultivos, la cobertura del suelo y el laboreo mínimo, con la finalidad de lograr la productividad deseada en los cultivos sin el agotamiento de los sistemas agrícolas. (Nele, 2015).

El CDT Villa Diego cuenta con 19 Ha de terreno, 17 de riego rodado y 6 con riego por goteo, las cuales el 85% se siembran con maíz blanco y el 15% con sorgo en el ciclo agrícola primavera-verano y trigo o cebada en el ciclo otoño-invierno (Torres, 2019)

La agricultura convencional (AD) de maíz se caracteriza por la producción intensiva de alta productividad, con densidades de siembra de 133 mil plantas/Ha en combinación con semilla híbrida mejorada y riego, para obtener 20 T/Ha. Actualmente en la región, con densidades de 90 mil plantas/Ha se obtienen entre 14-18 T/Ha de producción. La agricultura de conservación AD busca igualar la productividad competitiva con mayor rentabilidad a partir de la reducción de costos del 60-70% en labores agrícolas de preparación del suelo y con mayor eficiencia en el uso de insumos (Torres, 2019), tanto de nutrición por la recuperación paulatina de la capa superficial más fértil del suelo y de agroquímicos para combatir plagas y enfermedades derivado de la rotación

de cultivos y la ruptura de los ciclos biológicos de los agentes patógenos propios de cada cultivo. (Torres, B.C. 2019)

El CDT además de indicadores agronómicos considera la agricultura de conservación en 3 dimensiones: la económica, la social y la ambiental. Adicional, mantienen conexión con la industria, que puede generar un efecto de tracción³ “efecto pull” con las zonas productoras de maíz, trigo y cebada. (Torres, B.C. 2019)

El principio de cobertura del suelo tiene las siguientes ventajas (Torres, 2019):

- a) Evita la erosión hídrica del suelo reduciendo la pérdida de la capa fértil superficial al amortiguar el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo y al prevenir la formación de canales por la escorrentía que sucede durante la lluvia.

- b) Reduce la pérdida de agua por evaporación, haciendo eficiente la disponibilidad de agua. En los ejidos, los riegos se administran a los socios con base en una agenda que no necesariamente coincide en tiempo con los requerimientos del cultivo lo cual estresa a las plantas limitando la expresión de su potencial de productividad, propio de su genética.

³ Tracción: Acción y efecto de tirar de algo para moverlo o jalarlo (<https://dle.rae.es>)

- c) Permite la acumulación paulatina de materia orgánica mejorando la fertilidad del suelo. Los residuos orgánicos de los rastrojos de cobertura a partir de la descomposición microbiana se libera nitrógeno para la nutrición del cultivo.

- d) Permite una mejor aireación del sistema suelo. La materia orgánica hace más porosa la estructura del suelo, evitando la compactación permitiendo el intercambio gaseoso y la retención de agua.

- e) Reduce la agresividad de algunas plagas de la raíz del cultivo. Por ejemplo, la “gallina ciega”, larva de escarabajo *Phyllophaga spp.* se alimenta de la raíz de la planta de maíz. Al tener materia orgánica del manto de cobertura la usa como alimento reduciendo el daño al cultivo.

En contraste con la agricultura convencional (AD) que durante el barbecho se expone al ambiente los estratos inferiores del suelo y su biodiversidad microbiana. En un perfil⁴ del suelo, los primeros 8-10 cm a partir de la superficie del suelo se encuentran los microorganismos encargados de descomponer los rastrojos y la materia orgánica que da mayor aireación retención de agua.

⁴ Perfil: Un perfil de suelo se constituye por una sucesión de horizontes o capas que puede observarse al hacer un corte longitudinal del suelo, desde la superficie hasta la roca madre. (Kolmans y Vasquez, 1999)

Agricultura de conservación en Guanajuato

La adopción de AC se ha impulsado en México por diferentes instituciones como INIFAP, CIMMYT y especialmente en el Centro de Desarrollo Tecnológico (CDT) Villa Diego de FIRA, en el municipio de Valle de Santiago, Guanajuato. De acuerdo con (Ortiz, 2019) el 30% de la superficie sembrada con maíz blanco de riego en el estado se cultiva en AC, pero es necesario hacer más”.

En Guanajuato se siembran 230 mil ha en temporal y 110 mil ha en riego de las cuales en 2018 en el ciclo agrícola primavera-verano se sembraron 50mi ha en otoño-invierno 12 mil ha bajo la tecnología de Agricultura de Conservación.

Los ejidos de Guanajuato están organizados en “distritos de riego” para la administración del agua para la agricultura. Los productores pagan una cuota anual y el riego puede ser en dos modalidades, riego rodado y pozo profundo. En el primer caso la cuota de uso de agua se paga con base en el volumen usado por lámina de riego de 25 Litros/m² (ciclo PV 2018: \$650/Ha). En el segundo caso se debe reportar los volúmenes autorizados en el título de concesión. El cultivo de maíz requiere 3 riegos. (Torres, B.C. 2019)

En la agricultura convencional se requiere la quema de rastrojos para que la sembradora deposite la semilla, lo cual se puede resolver con capacitación y una adaptación de la sembradora convencional con un accesorio “disco cortador” cuyo costo de inversión es aproximado es de \$10,000 (diez mil pesos.00/100 M.N.) para un

equipo de 2 tolvas. La adaptación completa de una sembradora-surcadora con los 4 implementos (el disco cortador, la “pata de mula” para el surcado, las tolvas para semilla y las tolvas para fertilizante) puede representar una inversión de \$20,000 a \$30,000 (veinte a treinta mil pesos.00 /100 M.N.) que es menor en comparación con el costo de una sembradora convencional básica de \$45,000.00 (cuarenta y cinco mil pesos. 00/100). (Ortega, 2019)

Las sembradoras de agricultura de conservación pueden realizar al mismo tiempo el surcado, la siembra y la fertilización, utilizando combustible una sola ocasión, en vez de 3. La inversión aproximada entre una sembradora AC es de máximo \$30,000 (treinta mil pesos. 00/100 M.N.). (Ortega, 2019); (

Cuadro 2)

La nutrición no tiene diferencia entre los dos sistemas de producción, excepto en el componente nitrógeno. Este, dependiendo de los análisis de suelo iniciales se recomienda agregar un porcentaje adicional en AC, debido a que por la no remoción de la tierra y la movilidad de este nutriente hacia las capas inferiores del suelo se requiere mayor cantidad para nutrir correctamente al cultivo. (Buenrostro, 2019)

(Cuadro 3)

Cuadro 2. Actividades para preparación del suelo. Maíz. Guanajuato. AD Vs AC.

	Agricultura convencional	Agricultura de conservación
Preparación del terreno	Quema de residuos del ciclo anterior	Manejo de rastrojos
	Sobre laboreo- remoción del suelo	Solo en año cero ⁵
	Arado subsolado: remueven capas profundas del suelo (hasta 60cm), además del correspondiente uso de diésel de la maquinaria agrícola.	
	Arado de discos (barbecho): voltea la capa superficial de 20 cm de profundidad del suelo, también implica uso de diésel para la maquinaria. Induce la compactación del suelo.	
	Rastreo: expone 8-10 cm de profundidad del suelo aireándolo. Se realiza 1 o dos veces con la intención de disminuir el tamaño del terrón del suelo. Esta labor afecta negativamente la microbiología y estructura del sistema suelo.	
	Nivelación: plancha los montículos de tierra que quedaron de las otras labores de cultivo. No se trata de igualar las pendientes del suelo.	
	Surcado: Es la formación de surcos, la función es formar las camas donde se va a establecer el cultivo.	Se forman camas 1.50 a 1.60 m de ancho separadas por canales. En cada cama se siembran 2 hileras a una distancia de 75 - 80 cm entre ellas.
	Siembra: Tiene la función única de depositar la semilla en el suelo agrícola. Se usa desde una sembradora básica con un puntal metálico y un dispensador de semilla.	Sembradora especial para siembra directa, tiene de un disco cortador ondulado, seguido de un dispensador de semilla y un dispensador de fertilizante, para cada surco.
	Cultivo: remueve nuevamente el suelo para aflojarlo y las raíces puedan expandirse, así como arrancar la maleza que haya crecido.	

Fuente: Elaboración propia con datos de (Ortega, 2019)

⁵ Año cero se considera al año previo a la implantación de la agricultura de conservación, en el que después de un diagnóstico integral se hacen labores de laboreo y nivelación del suelo.

Cuadro 3. Actividades para la nutrición del suelo. Maíz. Guanajuato. AD Vs AC.

	Agricultura convencional	Agricultura de conservación
Nutrición del suelo	Para obtener 1 Mg de grano se usa 20Kg de Nitrógeno	20% adicional los primeros 3 años, después no es necesario el adicional, y la cantidad necesaria tiende a bajar debido a la acumulación de materia orgánica en el suelo (<i>Céteris Páribus</i>)

Fuente: Elaboración propia con datos (Buenrostro, 2019)

En la cosecha es muy importante contar con una trilladora que pueda desmenuzar el rastrojo y acomodarlo al centro. Dado que en AC no se mueve la tierra se utilizan las camas de siembra realizadas la primera vez en “año cero”.

Los canales de distribución de agua deben mantenerse despejados y libres de residuos para permitir la correcta distribución de agua a todas las plantas. (Ortega, 2019) (

Cuadro 4)

Cuadro 4. Actividades para la cosecha. de Maíz. Guanajuato. AD Vs AC.

	Agricultura convencional	Agricultura de conservación
Cosecha	Trillado: se cosecha con una trilladora, es mejor si cuenta con desmenuzadora	La trilladora debe incluir desmenuzadora y esparcidor.
	Retiro del rastrojo:	
	Empacado: solo se usa cuando se usará el rastrojo para hacer pacas, de uso pecuario.	Acordado de rastrojo: consiste en limpiar los canales y ubicar el rastrojo al centro de las camas, se utiliza un “rastrillo de soles”.
	Quema de rastrojo: se incendia para eliminarlo de la parcela, con los daños consecuentes a los microorganismos y materia orgánica superficial.	

Fuente: Elaboración propia con datos de (Ortega, 2019)

El proceso de adopción

La adopción de tecnologías de conservación de agua y suelo (Soil and Water Conservation: SWC) se puede subdividir en 3 fases, y existen factores determinantes que impulsan dicha adopción (Cuadro 5); sin embargo, si los productores pueden apreciar una ganancia económica en el largo plazo como incremento en la producción, reducción de costos de mano de obra, mayor ingreso no agrícola, etc. ellos se motivan más para realmente adoptar y replicar las medidas de conservación de suelo y agua, ya sea por experimentación propia en la granja o bien por entrenamiento de productor a productor. (De Graaff, 2008)

Cuadro 5. Fases de adopción de tecnologías de conservación de agua y suelo

Fase	Subdivisión de las fases	Factores determinantes
Aceptación	Percepción	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Edad del jefe de familia ✓ Participación en programas
	Decisión de adoptar	
Adopción	Menor esfuerzo	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Factores físicos (Ej. Pendiente de las parcelas, tamaño de parcela) ✓ Actitud de conservación
	Mayor esfuerzo	
Continuidad	Se mantiene y se usa	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Rentabilidad actual ✓ Cantidad de mano de obra necesaria ✓ Existencia de una estrategia de desarrollo integral en la comunidad
	Se replica en otras parcelas	
	Adopción espontánea por los demás (dispersión)	

Fuente. Elaboración propia con datos de (De Graaff, 2008).

En muchas situaciones, la adopción en el largo plazo está impulsada por programas de desarrollo que dispersan información sobre nuevas tecnologías y dan incentivos para estimular la ejecución de las medidas de conservación de suelo y agua. Se debe cuidar que el productor evalúe la rentabilidad de la adopción de dichas tecnologías ya que, en muchos casos, aun cuando exista una motivación intrínseca en los productores, la adopción de éstas medidas de conservación implica altos costos de inversión con beneficios muy lentos. En estos casos las nuevas tecnologías deberían ser promovidas por políticas públicas o beneficios como la diferenciación de productos de alto valor e impulsar el acceso a mercados. (De Graaff, 2008)

3 METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló en 4 etapas:

En la primera etapa, basado en el modelo económico del a ganancia se calculó el ingreso neto del productor de maíz en AC y en AD. La ganancia del productor se calculó en un horizonte de 13 años continuos de implementación de AC, mediante el cálculo del valor presente

En la segunda etapa se evaluó la productividad del maíz blanco en AC y en AD, usando una función de producción tipo Cobb-Douglas. En la ecuación se incluyó el impacto de la erosión de suelo como un efecto en la productividad de AD. (Griffin, 1987); (Di Falco, 2006). Se simuló la productividad futura en AD con el deterioro del suelo (*Ceteris Paribus*) si no se implementa AC; así como el incremento de capital que requiere el productor para mantener una productividad deseada (*Ceteris Paribus*)

En la tercera etapa se realizaron simulaciones de precios de maíz y de cebada para estimar el riesgo del mercado que enfrenta el productor de maíz blanco y de cebada grano, así como el impacto en su ingreso, en Guanajuato. La simulación se realizó con el modelo de Wiener simulando un movimiento browniano, con aleatoriedad según Montecarlo.

En la cuarta etapa se estimó la ganancia anual del productor, considerando la alternancia de cultivos con maíz blanco en el ciclo de cultivo primavera-verano y

cebada grano en el ciclo otoño-.invierno, como lo establece el principio de rotación de cultivos de AC

Los modelos de regresión GLM y las pruebas de bondad de ajuste a la normal de Kolmogorov-Smirnov, Cramer-von Mises y Anderson-Darlin, se realizaron para cada serie de precios (maíz y cebada), usando el programa SAS system 9.4 español-castellano, para Colegio de Posgraduados.

3.1 Marco teórico

3.1.1 Teoría de la producción

El productor agrícola de agricultura comercial, como una empresa es motivado por la obtención de dinero a partir de su proceso de producción. El dinero lo obtiene como ganancia (o ingreso neto) y es la diferencia entre los ingresos obtenidos por la venta de la producción y los costos en los que incurre por la producción de dicho bien. (Nicholson, 2004)

La función de producción tipo Cobb-Douglas

De acuerdo con Debertin (2010) y Nicholson (2004) la función Coon-Douglas fue desarrollada en 1928 por Cobb, C.W. and Douglas, P.H. apareció en su obra “Theory of Production” en la revista American Economic Review, para evaluar comparativamente la productividad del capital y de la mano de obra en la economía de E.U, con retornos constantes a escala. La función original era de la forma:

$$Y = AX_1^\alpha X_2^{(1-\alpha)} \dots\dots(ec 3.1.1 - 1)$$

Dónde

X_1 es mano de obra,

X_2 es capital

A es la tecnología de la sociedad.

Ésta función debía tener 3 características:

a) ser homogénea de grado 1 en el paquete de los factores de la producción evaluados y la producción en la sociedad debía ser con rendimientos a escala constantes.

b) exhibir rendimientos marginales decrecientes para la mano de obra o capital y A representaba la tecnología de la sociedad sobre la cual se estimaban dichos factores.

c) ser fácilmente transformable en logaritmos base 10 (log) o base e (ln), de la forma siguiente

$$\ln Y = \ln A + \alpha \ln X_1 + (1 - \alpha) \ln X_2 \dots\dots(\text{ec 3.1.1 - 2})$$

El resultado de esta ecuación es lineal y los parámetros se pueden estimar mediante una técnica estadística de regresión lineal, de la forma:

$$\ln Y = b_0 + b_1 \ln X_1 + b_2 \ln X_2 + \varepsilon \dots\dots(\text{ec 3.1.1 - 3})$$

Donde

$$A = e^{b_0}$$

$$b_1 = \alpha$$

$$b_2 = (1 - \alpha)$$

ε es el término que representa el error de la regresión

La función Cobb-Douglas tiene propiedades superiores a una función lineal donde el producto marginal de los factores se considera constante. Adicional, carece de las características de la función de producción en 3 etapas de los economistas neoclásicos. Esta función es ampliamente utilizada en economía agrícola con adaptaciones, porque permite estimar fácilmente los rendimientos marginales decrecientes de cada factor de la producción. En la actualidad la función de producción tiene la forma

$$Y = AX_1^\alpha X_2^\beta \dots (\text{ec 3.1.1 - 4})$$

Donde

$\alpha + \beta$ pueden sumar algo distinto a 1

Y también se utiliza para evaluar diversos factores que inciden en la producción, quedando de la forma:

$$Y = AX_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} X_3^{\beta_3} \dots (\text{ec 3.1.1 - 5})$$

Dado que la función original Cobb-Douglas se usa para definir una función multiplicativa de 2 factores en la que la suma de las elasticidades de los factores es 1.

El término función de producción “tipo Cobb-Douglas” define una función de producción con más de dos factores o incluso uno, donde la suma de las elasticidades parciales de cada factor de la producción suma diferente a 1. (Debertine, 2012)

Algunas de las propiedades de la función de producción tipo Cobb-Douglas explican:

Todos los factores descritos deben tener influencia en la producción, si se omite alguno la producción se subestima; aunque en funciones con pocas categorías o factores altamente agregados esto no es relevante. (Debertine, 2012)

Este tipo de función de producción solo representa una etapa para cada factor, no existen crestas y si las elasticidades de los factores son menores a 1 corresponde a la etapa II en cualquier parte. (Debertine, 2012)

No existe un máximo finito de producción cuando se usa un nivel finito de insumo o factor de la producción. La función de producción aumenta a un ritmo dependiendo del valor del coeficiente (C) de la función. El coeficiente C es la suma de las elasticidades de todos los factores de la producción. (Nicholson, 2004)

Si $C=1$ la función se expande a un ritmo constante es decir rendimientos constantes a escala

Si $C > 1$ la función se expande a un ritmo creciente, muestra rendimientos crecientes a escala

Si $C < 1$ la función aumenta a un ritmo decreciente o rendimientos decrecientes a escala. Si $C < 1$ habrá un punto de maximización de la utilidad a un nivel finito del insumo.

En agricultura generalmente $C < 1$, es decir hay rendimientos decrecientes a escala, lo que significa que al aumentar los insumos 1 unidad, la productividad aumenta menos que 1, incluso llega a bajar la producción al continuar agregando insumos. (Griffin, 1987)

La etapa II, de la función de producción neoclásica, es la zona de producción donde el productor está maximizando su ganancia. (Nicholson, 2004)

Maximización de la ganancia

De acuerdo con Debertine (2012) el productor agrícola tiene interés en maximizar su ganancia (π). La ganancia es el valor total el producto (Vtp) descontando el costo total de los factores de la producción (CTF).

$$\pi = Vtp - CTF \dots\dots(\text{ec 3.1.1 - 6})$$

Donde

π es la ganancia del producto

Vtp es el Valor total de la producción

CTF es el costo total de los factores

Para una función tipo Cobb – Douglas el valor total de la producción, asumiendo un mercado competitivo y un precio del producto (Y) constante, es:

$$Vtp = PY \dots\dots(\text{ec 3.1.1 - 7})$$

Donde

Vtp es el Valor total de la producción

P es el precio del producto Y

Y es la cantidad producida

Sustituyendo ec 3.1.1-5 en ec 3.1.1 – 7, el valor total de la producción es:

$$Vtp = P (AX_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} X_3^{\beta_3}) \dots(\text{ec 3.1.1 - 8})$$

Independientemente de los valores de la elasticidad ($\beta_1, \beta_2, \beta_3$) de los factores del a producción (X_1, X_2 y X_3), en una función de producción multiplicativa tipo Cobb Douglas, nunca se maximiza un producto con un valor finito de algún insumo, a menos que la suma de las elasticidades sea menor a 1.

El coeficiente total de la función de producción, es decir la suma de $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ indica la sensibilidad de la respuesta del producto a cambios en la cantidad de la mezcla de insumos, es decir, es el cambio porcentual en el producto dividido entre el cambio porcentual de la cantidad de la mezcla de insumos. En términos del Valor total de la producción, es el cambio porcentual en el valor total de la producción dividido entre el cambio porcentual en la cantidad de la mezcla de insumos.

(Debertine, 2012)

Con el precio de los insumos constantes (P_s), el costo marginal para adquirir una unidad adicional de insumo, a lo largo de la senda de expansión, es también constante. Si el coeficiente de la función fuera mayor a 1 cada unidad adicional de la mezcla de insumos produciría cada vez más producto y aumentaría el V_{tp} ; así, el productor tendría más ingresos y pudiera comprar más insumos y obtener más producción, de forma indefinida. El productor tendría tanta producción que ya no pudiera venderla en el mercado al mismo precio, o estaría comprando tanto insumo que no pudiera continuar comprando al mismo precio.

Si cada elasticidad de los insumos es menor a 1 pero la suma de todas ellas es igual a 1, una unidad porcentual de incremento de la mezcla de insumos equivale a 1 unidad porcentual de incremento del ingreso. El costo marginal de una unidad adicional de la mezcla de insumos es una constante (CMG_i). La unidad adicional del ingreso (IMG) es producida por una unidad adicional de producto (Y). El productor deberá igual el (CMG_i) con el IMG para producir una unidad adicional de Y.

Si $IMG > CMG_i$ el productor estará generando mayores ganancias por utilizar una unidad más de la mezcla de insumos. La ganancia total es :

$$\pi = (IMG - CMG_i) Y \dots\dots(ec 3.1.1 - 9)$$

Donde

π es la ganancia del producto

IMG es el ingreso marginal

CMG_i es el costo marginal de la mezcla de insumos

Y es la cantidad de unidades producidas

Si $IMG < CMG_i$, el productor debe detener la producción; pues, cada unidad adicional de la mezcla de insumos le cuesta más que el ingreso que obtiene por la producción generada al emplear dicha unidad adicional de insumo.

Si $IMG = CMG_i$, el productor puede continuar la producción o parar, indistintamente pues no tiene beneficios ni pérdidas económica, de continuar la producción.

Si el coeficiente de la función de producción es menor a 1, considerando el precio de los insumos constantes, entonces el valor total de la producción (V_{tp}) va en decadencia. La ganancia del productor se puede maximizar para un nivel finito de la mezcla de insumos, asumiendo que los costos totales por dicha mezcla no sean mayores que el valor total de la producción (V_{tp}). (Debertine, 2012)

3.1.2 Valor presente

El valor presente es el importe de un capital en un cierto momento. Por ejemplo, el valor hoy de una cantidad de dinero que se recibirá en el futuro. Para obtener dicho valor es necesario establecer la cantidad de años o periodos que transcurren desde dicho momento en el futuro hasta el momento en que se quiere saber el valor. También es necesario contar con una tasa de descuento, que puede ser una tasa de interés. El valor presente con acumulación de la tasa de interés cada ciclo, se expresa (Varian, 2010):

$$VP = \frac{VF}{(1+r)^t} \dots\dots(\text{ec 3.1.2 - 1})$$

Donde

r es la tasa de descuento

VF es el monto de dinero en el futuro

n es el número de periodos involucrados.

El cálculo del valor presente con la tasa $1+r$ mide lapsos de cada ciclo (de forma discreta). Para evaluar el movimiento de forma continua se usa el número de Euler cuyo comportamiento se vuelve asintótico en el valor aproximado 2.71828 (Brambila, 2011).

$$e = \left(1 + \frac{1}{h}\right)^h = 2.7183 \dots \dots (\text{ec 3.1.2 - 2})$$

Donde h es el número de periodos

Al sustituir “ $1+r$ ” por “ e ”, el valor presente se expresa:

$$VP = \frac{VF}{(e)^{\check{r}n}} ; \dots \dots (\text{ec 3.1.2 - 3})$$

despejando VF:

$$VF = VP (e)^{\check{r}n} \dots \dots (\text{ec 3.1.2 - 4})$$

renombrando las variables

$$Y = A (e)^{\check{r} t} \dots\dots(\text{ec 3.1.2 - 5})$$

Donde

Y es valor final

A es valor inicial

\check{r} es tasa continua o logarítmica (ln), también llamada “retornos logarítmicos” (Willmott, 2006)

t es tiempo (t= 1 en cada periodo)

Esta ecuación de valor presente continuo se utilizó para evaluar los flujos de la ganancia del productor en los 13 años de implementación de AC, y compararlos con AD.

3.1.3 Método de simulación Montecarlo

La simulación Montecarlo apareció formalmente en 1949 con una contribución de Nicholas Metropolis y Ulam S. como un método de aproximación estadística para el estudio de ecuaciones integro-diferenciales (Metropolis, 1949). En 1951 Von Newman incorporó a éste método el uso de números aleatorios, lo cual limitó su uso hasta la aparición de herramientas computacionales.

El método Montecarlo es un método de simulación estática, es decir en un momento determinado, de una sola variable que proporciona un valor de entre muchos posibles del resultado. Consiste en generar valores artificiales de una variable probabilística con ayuda de un generador de números aleatorios que se distribuyen entre [0,1]

usando una función de distribución acumulada asociada a dicha variable. (Metropolis, 1949); (Platon, 2014)

En economía y finanzas la simulación Montecarlo es la generación de retornos (tasas de crecimiento logarítmicas) con base en un patrón probabilístico de distribución o un patrón de precios fijos (Willmott, 2006). Esta herramienta ha tenido diversas aplicaciones, por ejemplo: para el análisis de riesgo en acciones de alta o baja bursatilidad (Vergara, 2019), en el análisis de riesgo económico (Arnold, 2015) y en la simulación de precios de opciones (Ahmad, 2017). En la presente investigación se utilizó la distribución normal como patrón probabilístico, con valores de (-3,3) desviaciones estándar.

3.1.3 Movimiento Browniano geométrico

El movimiento Browniano fue descubierto por el botánico Robert Brown en 1827 al observar el movimiento aleatorio de partículas del interior de un grano de polen al dispersarse en un líquido. La adaptación de éste proceso a las matemáticas, en tiempo continuo fue desarrollado por Norbert Wiener en 1948.

Un movimiento browniano unidimensional con parámetro σ^2 es un proceso B_t , en un tiempo t mayor o igual a cero $\{ B_t: t \geq 0 \}$ con valores t en el conjunto de los números reales \mathbb{R} , que cumple:

1. $B_0=0$
2. Tiene trayectorias continuas
3. Tiene incrementos independientes (propiedad de los procesos estocásticos)
4. Para cualesquiera tiempos s mayor o igual a cero y menor o igual a t , los incrementos $[B_t-B_s]$ tiene una distribución normal con media $\mu=0$ y varianza= σ^2 multiplicada por $(t-s)$. Es decir, para $0 \leq s \leq t$, con $s \leq t$, $B_t-B_s \sim N(0, \sigma^2 (t-s))$.

Entonces, cada variable aleatoria B_t tiene distribución $N(0,t)$ y por lo tanto $E(B_t)=0$ y $\text{Var}(B_t) = E(B_t^2) = t$, en particular para $0 \leq s \leq t$ se cumple $E[B_t - B_s]^2 = t-s$ y $E[B_t - B_s]^4 = 3(t-s)^2$.

Este modelo browniano o de Wiener es un proceso estocástico que se usa para representar la aleatoriedad en modelos de ingeniería, economía y finanzas. También es llamado “proceso de Wiener” gracias a Norbert Wiener, matemático estadounidense, quien en 1948 adaptó el movimiento browniano de la física a un modelo matemático. (Willmott, 2006) (Brambila, 2011)

La ecuación estocástica del movimiento browniano geométrico se expresa

$$dX_t = \mu X_t dt + \sigma X_t dB_t \dots\dots(\text{ec 3.1.3 - 1})$$

Con condición inicial $X_t = x_0 > 0$, donde $\mu, \sigma > 0$ y son constantes; por lo tanto, la solución de la ecuación es:

$$X_t = x_0 e^{\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)t + \sigma B_t} \dots\dots(\text{ec 3.1.3 - 2})$$

Donde

X_0 es una variable aleatoria

μ es el coeficiente de tendencia, también llamado promedio de los retornos, o promedio de los incrementos (o decrementos) logarítmicos entre cada tiempo t

σ es el coeficiente de difusión, también llamado volatilidad, que es la desviación estándar de los retornos.

t es el intervalo de tiempo entre cada incremento, usualmente $t=1$

B_t es una constante

e es el número de Euler (aprox. = 2.7183)

Esta aproximación de Z a la normal permite calcular la probabilidad de ocurrencia de un evento de hasta el 99.73% en el rango de -3 a 3 desviaciones estándar (Spiegel (2009) y Gujarati (2010))

3.2 Descripción de variables

Variable dependiente de la función de producción

Y: rendimiento del cultivo (Mg ha^{-1})

Variables independientes de la función de producción

CTF: Costo de producción

Unidades de medida

\$: pesos mexicanos, reales base año 2018

Mg: Mega gramos, equivalente a 1 tonelada

ha⁻¹ por cada hectárea

Literales

M: Maíz blanco

C: Cebada grano

AC: Agricultura de conservación

AD: Agricultura convencional

Nomenclatura de variables

P_{MAC} es el precio al productor de maíz blanco, producido en AC

P_{MAD} es el precio al productor de maíz blanco, producido en AD

π_{MAD} es la ganancia de agricultor con agricultura convencional

π_{MAC} es la ganancia de agricultor con agricultura de conservación

Y_{MAD} es el rendimiento promedio obtenido de maíz blanco en AD

CTF_{MAD} es el costo total de los factores de la producción en AD, incluido el costo de los fertilizantes, agroquímicos, mano de obra y maquinaria contratada. Se asume tierra propia por lo que se excluye el costo de la renta de la tierra.

CTF_{MAC} es el costo total de los factores de la producción en AC, incluido el costo de los fertilizantes, agroquímicos, mano de obra y maquinaria contratada. Se asume tierra propia por lo que se excluye el costo de la renta de la tierra.

π_{MADt} es la ganancia de agricultor con agricultura convencional, en el tiempo t

e es el número de Euler (aprox. = 2.7183)

r es la tasa de descuento (0.08 = 8%)

t es el tiempo

$P_{MADt}Y_{MADt}$ es el ingreso, conformado por el precio al productor del maíz y el rendimiento, en AD, cada tiempo t .

$\pi_{PromMAD}$ es el flujo de efectivo promedio anual del productor en AD

$\pi_{PromMAC}$ es el flujo de efectivo promedio anual del productor en AC

$VP\pi_{perpMAD}$ es el valor presente de la ganancia a perpetuidad, del productor en AD

$VP\pi_{perpMAC}$ es el valor presente de la ganancia a perpetuidad, del productor en AC

CE_{AC} . son los costos escondidos

Y_{MAD} es la Productividad del maíz en AD

Y_{MAC} es la Productividad del maíz en AC

SE_{AC} es el subsidio económico por cada ciclo de cultivo

ΔP es el premio al precio, porcentual del precio al productor del mercado genérico

$Y_{MADnsim1}$ es el efecto del deterioro del suelo en el rendimiento del maíz en AD permanece constante cada ciclo agrícola

$Y_{MADnsim2}$ es el efecto del deterioro del suelo en el rendimiento del maíz se acumula cada ciclo agrícola

$Y_{MADnsim3}$ es el efecto del deterioro del suelo en el rendimiento del maíz aumenta la raíz cuadrada de cada ciclo

$VP\pi_{PAC}$ es el valor presente de la ganancia anual del productor en AC, con alternancia de cultivos

3.3 Origen de los datos

Los datos de producción, rendimientos y costos de producción se obtuvieron de fuentes primarias. De maíz blanco híbrido, bajo riego con bombeo, del ciclo agrícola primavera-verano (PV), y de cebada maltera híbrida bajo riego con bombeo del ciclo otoño-invierno (OI). Estos se obtuvieron del CDT Villa Diego de FIRA del campo experimental ubicado en Valle de Santiago, Guanajuato, México, de predios con una superficie promedio de 3 ha. Se recabaron datos del año 2006 al 2018, de 13 años continuos de implementación de AC; así como del testigo AD. (Torres, 2019) (Osornio, 2019).

Los datos de costos de producción de AD se obtuvieron del sistema Agrocostos de FIRA (FIRA, 2018) y de las oficinas de FIRA Guanajuato (Mendoza, 2019).

Se realizaron 12 entrevistas, 6 a especialistas de instituciones que fomentan AC como 4 en CIMMYT Hub Bajío (Celaya Guanajuato) y 2 en FIRA Villadiego. También se entrevistó a 6 productores involucrados en AC, usando un muestreo no probabilístico bola de nieve (Naderifar, 2017).

De fuentes secundarias se recabaron los precios al productor de maíz blanco (SIAP-SADER, 2018), específicamente para el municipio de Valle de Santiago, Guanajuato, del mismo periodo de tiempo (2006-2018). Dichos precios se utilizaron indistintamente para calcular los ingresos al productor en AC y AD, dado que no hay diferencia de precios en el mercado.

Los datos se usaron exclusivamente de maíz blanco híbrido en sistema de riego de bombeo, del ciclo PV, y cebada maltera híbrida del ciclo OI, también bajo riego.

Los datos de precios y costos se deflactaron usando el INPC julio 2018. La tasa de descuento del 8% se asignó a partir de la tasa de interés bancaria real más un factor de riesgo. La tasa de interés real se calculó con la tasa de interés nominal del 8% al 29 de noviembre de 2018 (BANXICO, 2019) menos la inflación en México al cierre de año 2018 de 4.83% (INEGI, 2019). Se agregó un factor de riesgo del 3.17% para actividades agrícolas. Todos los costos y precios se transformaron a reales base año 2018.

Los análisis se realizaron con medidas unitarias, es decir por 1 hectárea o por 1 Mg, para estandarizar los modelos, por lo que puede replicarse para superficies o cantidades de producción mayores.

3.4 Especificación del modelo

3.4.1 Supuestos del modelo

El productor agrícola toma la decisión de cambiar de tecnología de agricultura convencional (AD) a la tecnología de agricultura de conservación (AC) con una visión

de 13 años, de éste modo la ganancia de usar “AC” es superior a continuar usando “AD”; es decir $\frac{\pi_{AC}}{\pi_{AD}} > 1$. (Figura 8)

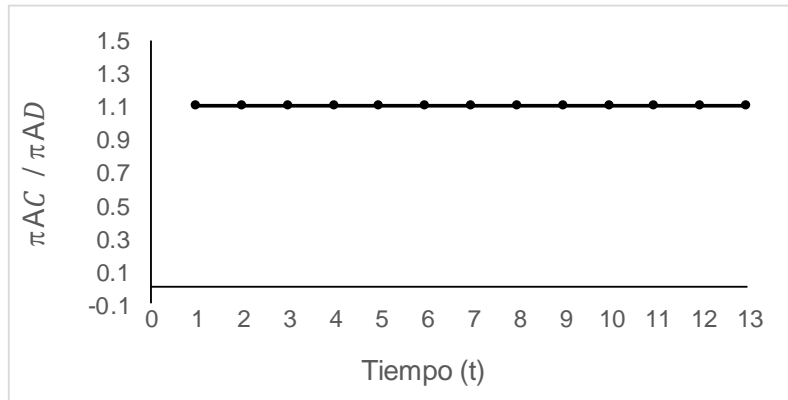
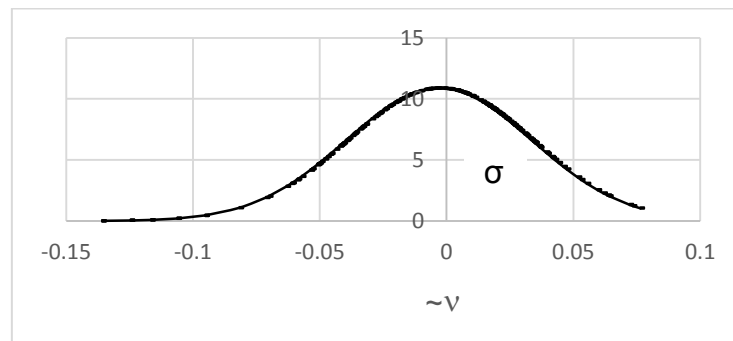


Figura 8. Supuesto de la ganancia del productor en AC y AD

Fuente: Elaboración propia. Supuestos.

El productor sabe que la producción varía año con año dependiendo del clima y otros factores, por lo que su estimación del rendimiento conlleva cierta volatilidad (varianza σ). (Figura 9)



$\sim v$: promedio de tasa de crecimiento de la producción, σ : Varianza

Figura 9. Supuesto de la volatilidad de la tasa de crecimiento de la producción

Fuente: Elaboración propia

El precio del maíz blanco y de la cebada grano obtenidos mediante AC o AD, al ser granos se consideran materias primas genéricas, por lo que no tienen precios diferentes en el mercado.

$$P_{MAC} = P_{MAD} \dots\dots\dots (\text{ec 3.4.1 - 1})$$

Donde

P_{MAC} es el precio al productor de maíz blanco, producido en AC

P_{MAD} es el precio al productor de maíz blanco, producido en AD

El productor sabe que los rendimientos, los costos de los insumos y de mano de obra, entre otros; son volátiles lo que se incluye en el cálculo del valor presente, basado en el movimiento Browniano o de Wiener.

$$dP_t = (\sim v + \sigma dZ) P_{t-1} \dots\dots\dots (\text{ec 3.4.1 - 2})$$

$$P_t = P_{t-1} + dP_t \dots\dots\dots (\text{ec 3.4.1 - 3})$$

Donde

dP_t es la derivada de precio de maíz al productor en el tiempo t

$\sim v$ es el promedio de la tasa de crecimiento de la producción de maíz

P_{t-1} es el precio del ciclo anterior

3.4.2 Modelo del ingreso neto del productor (ganancia π)

El productor en AC o en AD funciona como una empresa que enfrentan una función de producción y buscan maximizar su ganancia. La ganancia o ingreso neto se define como la diferencia entre los ingresos por la venta del producto y los costos en lo que incurre por el proceso de producción. (Debertine, 2012)

$$\pi_{MAD} = P_{MAD}Y_{MAD} - CTF_{MAD} \dots\dots\dots(\text{ec 3.4.2 - 1})$$

$$\pi_{MAC} = P_{MAC}Y_{MAC} - CTF_{MAC} \dots\dots\dots(\text{ec 3.4.2 - 2})$$

Donde:

π_{MAD} es la ganancia de agricultor con tecnología convencional

P_{MAD} es el precio promedio al productor, obtenido del maíz blanco

Y_{MAD} es el rendimiento promedio obtenido de maíz blanco

CTF_{MAD} es el costo total de los factores de la producción, incluido el costo de los fertilizantes, agroquímicos, mano de obra y maquinaria contratada. Se asume tierra propia por lo que se excluye el costo de la renta de la tierra.

3.4.3 Modelo del valor presente de la ganancia (VP π)

El valor presente (VP) es el valor económico de determinado flujo de dinero que se tendrá en el futuro, a una tasa de descuento o de interés (Varian, 2010). Para éste

análisis se consideró 8% que incluye un riesgo bajo dado que se trata de cultivos bajo riego.

El Valor presente de la ganancia ($VP\pi$) de un productor de maíz en AD y AC durante 13 años se puede obtener mediante un modelo continuo o discreto.

Modelo continuo:

$$VP\pi_{MAD} = \int_1^{13} \pi_{MADt} e^{-rt} dt = \int_1^{13} P_{MADt} Y_{MADt} e^{-rt} dt - \int_1^{13} (CTF_{MADt}) e^{-rt} dt$$

.....(ec 3.4.3 - 1)

$$VP\pi_{MAC} = \int_1^{13} \pi_{MACt} e^{-rt} dt = \int_1^{13} P_{MACt} Y_{MACt} e^{-rt} dt - \int_1^{13} (CTF_{MACt}) e^{-rt} dt$$

.....(ec 3.4.3 - 2)

Donde:

π_{MADt} es la ganancia de agricultor con agricultura convencional, en el tiempo t

e es el número de Euler (aprox. = 2.7183)

r es el número es la tasa de descuento o tasa de interés (8%)

t es el tiempo

$P_{MADt} Y_{MADt}$ es el ingreso, conformado por el precio al productor del maíz y el rendimiento, en AD, cada tiempo t.

CTF_{MAD} es el costo total de los factores de la producción, incluido el costo de los fertilizantes, agroquímicos, mano de obra y maquinaria contratada. Se asume tierra propia por lo que se excluye el costo de la renta de la tierra.

*el subíndice MAC representa Maíz en agricultura de conservación

Modelo discreto:

$$VP\pi_{MAD} = \sum_1^{13} \pi_{MADt} e^{-rt} dt = \sum_1^{13} P_{MADt} Y_{MADt} e^{-rt} dt - \sum_1^{13} (CTF_{MADt}) e^{-rt} dt$$

.....(ec 3.4.3 - 3)

$$VP\pi_{MAC} = \sum_1^{13} \pi_{MACt} e^{-rt} dt = \sum_1^{13} P_{MACt} Y_{MACt} e^{-rt} dt - \sum_1^{13} (CTF_{MACt}) e^{-rt} dt$$

.....(ec 3.4.3 - 4)

Dado que no existe un precio diferenciado de maíz cultivado por el sistema de producción AC y AD, entonces se considera:

$$P_{yAC} = P_{yAD} \dots\dots(\text{ec 3.4.3 - 5})$$

Donde:

P_{yAC} es el precio al productor de maíz blanco grano producido mediante AC

P_{yAD} es el precio al productor de maíz blanco grano producido mediante AD

El flujo de efectivo promedio del productor (π_{prom}) para AC y AD, se expresan:

$$\pi_{promMAD} = \frac{VP\pi_{MAD}}{n} \dots\dots (\text{ec 3.4.3 - 6})$$

$$\pi_{promMAC} = \frac{VP\pi_{MAC}}{n} \dots\dots(\text{ec 3.4.3 - 7})$$

Donde n es el número de periodos evaluados. n=13

Ahora bien, el flujo de efectivo promedio de la producción de maíz blanco en AC y en AD, divididos por una tasa de descuento anual, nos da el valor presente de una perpetuidad, de cada uno.

$$VP\pi_{perpMAD} = \frac{\pi_{PromMAD}}{(r)} \dots\dots\dots(\text{ec 3.4.3 - 8})$$

$$VP\pi_{perpMAC} = \frac{\pi_{PromMAC}}{(r)} \dots\dots\dots(\text{ec 3.4.3 - 9})$$

Dónde

r es la tasa de descuento (r=0.08)

Si el Valor presente de la utilidad a perpetuidad de AC es mayor al de AD, entonces se puede asumir la presencia de un incentivo económico en el sistema de producción AC, con respecto a AD, que ocurre en algún momento del horizonte de los 13 años evaluados, es decir, si:

$$[VP\pi_{perpMAC} - VP\pi_{perpMAD}] > 0 \dots\dots(\text{ ec 3.4.3 - 10})$$

Si esto se cumple, entonces aun cuando el valor presente de la ganancia de 13 ciclos de cultivo en AC es mayor que en AD, los productores no están dispuestos a adoptarla. Esto hace suponer que existen costos escondidos (CE_{AC}), de al menos la diferencia entre $VP\pi_{perpMAC}$ y $VP\pi_{perpMAD}$.

$$CE_{MAC} \geq [VP\pi_{perpMAC} - VP\pi_{perpMAD}] \dots\dots (\text{ec 3.4.3 - 11})$$

3.4.4 Modelo del efecto del deterioro del suelo en la función de producción

Si los productores no cuentan con alternativas para hacerse cargo de los CE_{AC}, se espera que continúen en AD enfrentando una pérdida de productividad en el tiempo (Y_{MAD}), en relación directa con el deterioro del suelo agrícola. La afectación a la productividad del maíz blanco se consideró como 0.467, que representa la pérdida de rendimiento ($Mg\ ha^{-1}$)⁶, en condiciones de baja erosión. (González, 2007)

La función de producción con el impacto de la erosión para AD se expresa:

$$Y_{MAD} = Z CTF_{MAD}^{\alpha} e^{mt} e^{-.467} \dots(\text{ec 3.4.4 - 1})$$

Para AC no se incluye el impacto del deterioro porque se asume que a partir del año cero empiezan las enmiendas y paulatinamente la recuperación de las propiedades del suelo tales como la acumulación de materia orgánica y el mejoramiento de su estructura, no afectando la productividad del cultivo. (Ramírez, 2006)((Nele, 2015) La función de producción para AC queda expresada:

$$Y_{MAC} = W CTF_{MAC}^{\beta} e^{gt} \dots(\text{ec 3.4.4 - 2})$$

Donde:

Z y W son variables independientes

⁶ Mg.son Mega gramos en el Sistema Internacional de Unidades. Equivale a 1 Tonelada.

CTF es el costo total de los factores de la producción, incluido el costo de los fertilizantes, agroquímicos, agua, mano de obra y maquinaria contratada. Se asume tierra propia por lo que se excluye costos de renta de la tierra.

α es la elasticidad de los costos de producción en AD

β es la elasticidad de los costos de producción en AC

MAD y MAC corresponden a maíz en AD y maíz en AC

mt y gt son representan aprendizaje del productor en cada sistema de producción cada ciclo

Las elasticidades α, β, m y g se obtuvieron a partir de los estimadores de un modelo de regresión lineal generalizado GLM, para el cual la máxima verosimilitud no exige estrictos supuestos de los datos. (Gujarati, 2010)

La función linealizada para Maíz en AD queda expresada como:

$$[Y_{MAD} - .467 t] = \ln Z + \alpha \ln (CTF_{MAD}) + m t \dots (\text{ec 3.4.4 - 3})$$

Y la función de producción para AC queda:

$$[Y_{MAC}] = \ln W + \beta \ln (CTF_{MAC}) + g t \dots (\text{ec 3.4.4 - 4})$$

Las elasticidades estimadas de las funciones de producción obtenidas se presentan en el

Cuadro 6.

Cuadro 6. Elasticidades de la función de producción de AC y AD

						Pr>F	R ²	
Maíz AD	Z=	-4.2988	α=	1.3511	m=	-0.1242	<.0001	0.8491
Maíz AC	W=	12.0722	β=	-0.3016	g=	0.0346	0.0009	0.756

Fuente: elaboración propia

3.4.5 Modelo de implementación de incentivos externos para AC

Los (CE_{MAC}) se pueden amortizados mediante incentivos externos que apoyen al proceso de adopción de AC sin afectar el ingreso del productor. Estos incentivos se pueden proporcionar al productor mediante una política pública (FAO, 2001), o mediante un premio adicional al precio del grano, en que se reconozca el producto obtenido mediante AC como un producto diferenciado (Williams, 2017).

El incentivo de política pública se puede implementar mediante un subsidio económico (SE_{AC}) diferido en el tiempo $t+n$, que sea equivalente a los costos escondidos CE_{MAC} .

$$SE_{AC} = \frac{CE_{MAC}}{\frac{1-(1+r)^{-n}}{r}} \dots\dots\dots \text{(ec 3.4.5 - 1)}$$

El incentivo mediante un premio al precio (Δp) se puede asignar en los primeros años de implementación de AC. El premio al precio al productor es una parte proporcional del precio del mercado de genéricos, que se adiciona al ingreso del productor. Ese incentivo se puede otorgar en un periodo de tiempo “Q”, donde $Q < n$. El premio al precio tiene una relación inversa con el número de años que se implementa.

El diferencial de precios (Δp) se suma al ingreso del productor hasta que su ganancia (ecuación 3.4.3 – 2) sea mayor o igual al valor presente de la ganancia a perpetuidad de AC ($VP\pi_{perpMAC}$), sumado a los costos escondidos (CE) (ecuación 3.4.3 – 11).

Combinando las ecuaciones 3.4.3 – 2 y 3.4.3 – 11, se puede obtener Δp en función del número de ciclos Q en que se desea dispersar el incentivo al productor.

$$\left[\int_1^Q P_{MAC} (1 + \Delta p) (Y_{MACt} e^{-rt}) dt + \int_Q^{13} P_{MAC} Y_{MACt} e^{-rt} dt - \int_1^{13} (CTF_{MACt}) e^{-rt} dt \right] \geq [VP\pi_{perpMAC} + CE_{MAC}]$$

.....(ec 3.4.5 - 2)

Donde:

P_{MAC} es el precio al productor, del maíz blanco

Y_{MACt} es la productividad o rendimiento del maíz en AC

Δp es el premio al precio, proporcional al precio del mercado de genéricos

CTF_{MACt} son los costos totales de producción

$VP\pi_{perpMAC}$ es el valor presente de la ganancia del productor en AC, a perpetuidad

CE_{MAC} son los costos escondidos

Q es el número de periodos en el que se debe aplica Δp

r es una tasa de descuento $r=0.08=8\%$

n es el número de periodos totales, $n=13$.

3.4.6 Simulación de la productividad y costos de largo plazo en AD

Bajo el supuesto de que el productor, adverso al riesgo (Di Falco, 2006) evitará los costos escondidos (CE_{MAC}), decidirá continuar en AD y enfrentará una caída en la productividad medible como rendimiento del cultivo, a causa del deterioro del suelo (*Ceteris Paribus*). Dicha caída de la productividad se simuló para 13 ciclos de cultivo a partir del último año evaluado 2018, con 3 diferentes modelos (Brambila, 2011):

Simulación 1 de la productividad:

El efecto del deterioro del suelo en el rendimiento del maíz en AD permanece constante cada ciclo agrícola [$e^{-.467}$]

$$Y_{MADnsim1} = e^{\left[\frac{Z + \alpha \ln CTF_{MAD}^{-0.467 + mn}}{\alpha}\right]} \dots\dots(3.4.6.- 1)$$

Simulación 2 de la productividad:

El efecto del deterioro del suelo en el rendimiento del maíz se acumula cada ciclo agrícola. [$e^{-.467n}$]

$$Y_{MADnsim2} = e^{\left[\frac{Z + \alpha \ln CTF_{MAD}^{-0.467 + mn}}{\alpha}\right]} \dots\dots(3.4.6.- 2)$$

Simulación 3 de la productividad:

El efecto del deterioro del suelo en el rendimiento del maíz aumenta la raíz cuadrada de cada ciclo [$e^{-.467\sqrt{n}}$]:

$$Y_{MADnsim3} = e^{\left[\frac{Z + \alpha \ln CTF_{MAD} - .467\sqrt{n} + mn}{\alpha}\right]} \dots\dots(3.4.6. - 3)$$

Donde:

Z es una variable independiente de la función de producción de AD

CTF es el costo de producción de AD

α es la elasticidad de los costos de producción en AD

MAD es maíz en AD

m representa el aprendizaje de productor en AD

n es el número de ciclos proyectados

e= es el número de Euler (aprox. 2.7183)

La caída en la productividad (*Ceteris paribus*) implica que el productor deberá utilizar más insumos agrícolas para mantener el rendimiento, lo cual aumentará su costo de producción en el futuro, partiendo del último costo registrado (CTF_{MAC13}). Despejando CTF de las ecuaciones 3.4.6-1, 3.4.6-2 y 3.4.6-3 y manteniendo un rendimiento constante deseable de 12Mg ha⁻¹ para Guanajuato (FIRA, 2018), los costos simulados ($CTF_{MADt-sim1}$) para los 13 ciclos se estimaron en 3 modelos:

Simulación 1 de los costos de producción

Los costos de producción aumentan suponiendo que el deterioro del suelo afecta el rendimiento de manera constante cada ciclo agrícola.

$$CTF_{MADnsim1} = e^{\left[\frac{\ln Y_{MAD} - .467 + m n - Z}{\alpha} \right]} \dots\dots(3.4.6. - 4)$$

Simulación 2 de los costos de producción

Los costos de producción aumentan suponiendo que el deterioro del suelo se acumula cada ciclo agrícola.

$$CTF_{MADnsim2} = e^{\left[\frac{\ln Y_{MAD} - .467n + m n - Z}{\alpha} \right]} \dots\dots(3.4.6. - 5)$$

Simulación 3 de los costos de producción

Los costos de producción aumentan suponiendo que el deterioro del suelo afecta la productividad la raíz cuadrada cada ciclo.

$$CTF_{MADnsim3} = e^{\left[\frac{\ln Y_{MAD} - .467\sqrt{n} + m n - Z}{\alpha} \right]} \dots\dots(3.4.6. - 6)$$

Donde:

Z es una variable independiente de la función de producción de AD

CTF es el costo de producción de AD

α es la elasticidad de los costos de producción en AD

M_{AD} es maíz en AD

m representa el aprendizaje de productor en AD

n es el número de ciclos proyectados

e es el número de Euler (aprox. 2.7183)

3.4.7 Simulación del precio de maíz y cebada en el largo plazo

Se realizaron 4 simulaciones del precio de maíz y 4 para cebada, con proyección al largo plazo al año 2050. Las simulaciones se llevaron a cabo con base en proceso estocástico de Wiener, originado del movimiento browniano (Wilmott,2007; Brambila, 2011).

A partir de ecuación estocástica del movimiento browniano geométrico se proyectaron los precios del siguiente periodo $\hat{P}_{(n+1)}$, agregando una simulación de Montecarlo “z” que afecta la volatilidad del precio, de la siguiente manera:

$$\hat{P}_{n+1} = P_0 e^{\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)T + \sigma(Z\sqrt{T})} \dots\dots(\text{ec 3.4.7 - 1})$$

Donde

\hat{P}_{t+1} es el precio proyectado en el siguiente periodo

P_0 es el último precio de la serie de datos, que es donde inicial la simulación y es constante

e es el número de Euler (aprox. = 2.7183)

μ es el promedio de los incrementos (o decrementos) logarítmicos entre cada tiempo t , de los precios del periodo de anual de 2006-2018, llamado riesgo

σ es el coeficiente la desviación estándar de los incrementos logarítmicos, de los precios anuales del periodo 2006-2018, llamado volatilidad

Z representada por una simulación aleatoria de tipo Montecarlo [-3,3]

T son los incrementos de tiempo $T=1$

Con:

$$P_{M0} = 3,914.28 \$ Mg^{-1} \text{ y } P_{C0} = 4,625.00 \$ Mg^{-1}$$

El coeficiente de tendencia μ se calculó para precios al productor de maíz y cebada, de 16 años, del periodo 2003 al 2018, siendo 15 intervalos anuales (dado que el primero se pierde).

Para maíz:

$$\mu_M = \frac{\sum_1^{15} (\ln \frac{P_{Mt}}{P_{Mt-1}})}{15} \dots\dots\dots(\text{ec 3.4.7 -2})$$

Para cebada:

$$\mu_C = \frac{\sum_1^{15} (\ln \frac{P_{Ct}}{P_{Ct-1}})}{15} \dots\dots\dots(\text{ec 3.4.7 -3})$$

El coeficiente de volatilidad σ se calculó para los mismos precios que μ , obteniendo la desviación estándar de los mismos incrementos logarítmicos, como sigue:

Para maíz

$$\sigma_M = \sqrt{\frac{\sum_1^{15} \left(\ln \frac{P_{Mt}}{P_{Mt-1}} - \mu_M \right)^2}{15}} \dots\dots\dots (\text{ec 3.4.7 - 4})$$

Para cebada

$$\sigma_C = \sqrt{\frac{\sum_1^{15} \left(\ln \frac{P_{Ct}}{P_{Ct-1}} - \mu_C \right)^2}{15}} \dots\dots\dots (\text{ec 3.4.7 - 5})$$

Donde:

P_t es el precio el año en turno

P_{t-1} es el precio del año anterior

M: es el subíndice usado para indicar Maíz

C: es el subíndice usado para indicar Cebada

La simulación Montecarlo Z se obtuvo de la función inversa de la normal con media ($m=0$) y Varianza ($v = 1$), el cual genera números aleatorios en un rango de $[-3,3]$ de acuerdo con la distribución normal.

3.4.8 Modelo de la ganancia del productor con rotación de cultivos en AC

El tercer principio de la Agricultura de Conservación establece la rotación o alternancia de cultivos con la finalidad de erradicar plagas y malezas, mejorar la fijación de nitrógeno si se utiliza una leguminosa y contribuir a mejorar el ingreso del productor con cultivos de potencial comercial. (CIMMYT-SAGARPA, 2017)

El Valor presente de la ganancia del productor se puede estimar en un modelo continuo y en un modelo discreto, alternando maíz blanco en el ciclo PV y cebada grano en el ciclo OI, para obtener el ciclo agrícola total anual (π_{PAC}).

Modelo continuo

$$\begin{aligned}
 VP\pi_{PAC} &= \int_1^{13} \pi_{PACt} e^{-rt} dt \\
 &= \int_1^{13} P_{MAct} Y_{MAct} e^{-rt} dt + \int_1^{13} P_{CAct} Y_{CAct} e^{-rt} dt - \int_1^{13} (CTF_{MAct}) e^{-rt} dt \\
 &\quad - \int_1^{13} (CTF_{CAct}) e^{-rt} dt \\
 &\quad \dots\dots\dots(\text{ec 3.4.8 - 1})
 \end{aligned}$$

Donde:

π_{PAC} es la ganancia de agricultor bajo el principio de AC, en el tiempo t

e es el número de Euler (aprox. = 2.7183)

r es el número es la tasa de descuento o tasa de interés (8%)

t es el tiempo

$P_{MAct} Y_{MAct}$ es el ingreso, conformado por el precio al productor del maíz y su rendimiento, en AC, cada tiempo t.

$P_{CAct} Y_{CAct}$ es el ingreso, conformado por el precio al productor de la cebada y su rendimiento, en AC, cada tiempo t.

Modelo discreto

$$\begin{aligned}
 VP\pi_{PAC} &= \sum_1^{13} \pi_{PACT} e^{-rt} dt \\
 &= \sum_1^{13} P_{MACT} Y_{MACT} e^{-rt} dt + \sum P_{CACT} Y_{CACT} e^{-rt} dt - \sum_1^{13} (CTF_{MACT}) e^{-rt} dt \\
 &\quad - \sum_1^{13} (CTF_{CACT}) e^{-rt} dt
 \end{aligned}$$

.....(ec 3.4.8 - 2)

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 La ganancia del productor en el horizonte de tiempo

En concordancia con diversos autores e instituciones involucradas en AC, éste sistema de producción agrícola es más rentable que AD. (Kurkalova, 2001), (Martínez, 2006); (Singh, 2012), (FAO, 2016), (Martínez-Cruz, 2019). El valor presente neto de la ganancia de 13 periodos de implementación de Agricultura de Conservación ($VP\pi_{AC}$) es 23.7% mayor que el de agricultura convencional ($VP\pi_{AD}$) en la producción de maíz blanco, de riego, en primavera-verano en Guanajuato, México. (

Cuadro 7)

Cuadro 7. Valor presente de la ganancia del productor de maíz blanco en AD y AC

Año	t	MAD	MAC
2006	1	\$ 2,397	\$ 5,619
2007	2	\$ 5,839	\$ 8,730
2008	3	\$ 13,324	\$ 12,148
2009	4	\$ 5,467	\$ 9,029
2010	5	\$ 7,444	\$ 4,231
2011	6	\$ 17,323	\$ 18,497
2012	7	\$ 13,406	\$ 9,720
2013	8	\$ 3,187	\$ 2,957
2014	9	\$ 1,292	-\$ 291
2015	10	\$ 4,068	\$ 8,153
2016	11	\$ 2,630	\$ 6,978
2017	12	\$ 177	\$ 4,414
2018	13	\$ 1,405	\$ 6,234
VP		\$ 77,961	\$ 96,418

Fuente: Elaboración propia

Al acumular el valor presente de la ganancia ($VP\pi$) cada año, el comportamiento de AC y AD sigue un comportamiento muy cercano donde AC es ligeramente superior a AD; sin embargo, en el noveno ciclo de implementación el $VP\pi$ en ambos se iguala y a partir del ciclo 10 AC supera a AD en 210% con respecto al valor presente de AD en el ciclo 1 (Figura 10).

Lo anterior es congruente con las investigaciones de Sorensen en Paraguay, donde tras 10 años de implementación de AC, el ingreso neto del productor aumenta 200 - 300 %. (FAO, 2001).

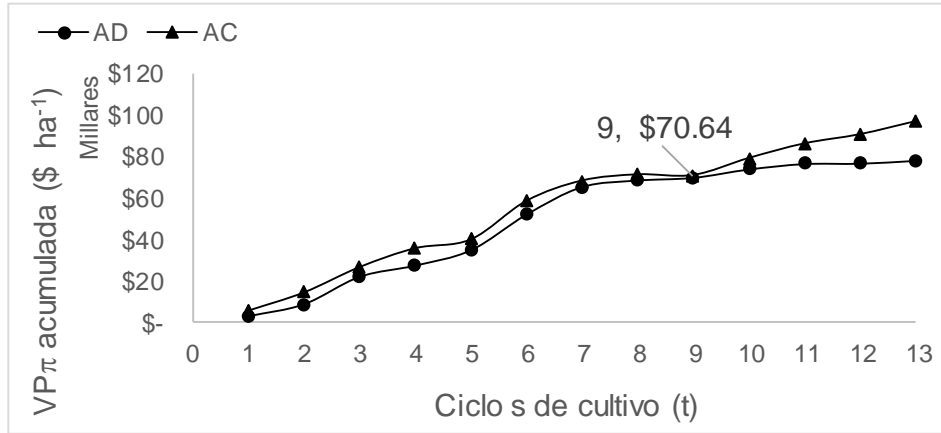


Figura 10. Valor presente de la ganancia, maíz blanco PV (2006-2018)

Fuente: Elaboración propia

Aunado al incentivo económico intrínseco de la producción encontrado en AC, otros autores han demostrado desde otras áreas del conocimiento más beneficios en la implementación de AC, por ejemplo: 80% menor evaporación de agua del suelo, 9% mayor capacidad de retención de agua evitando el estrés hídrico del cultivo, menor compactación del suelo 5% a 20 cm y 28% a 34 cm de profundidad, captión de dióxido de carbono, evita la quema de residuos (práctica recurrente en Guanajuato) y reduce la emisión de otros gases de efecto invernadero por la maquinaria agrícola (Flores, 2006; Galván, 2006; Fregoso, 2006; Nele, 2015).

Aun cuando los beneficios de AC se han demostrado en diversas investigaciones en todo el mundo, por instituciones de investigación, existen diversos factores que limitan que el productor adopte AC. FAO indica 5 grupos de factores que estadísticamente afectan la adopción de AC, estas son: las características del productor (edad, educación, conciencia ambiental, acceso a crédito, etc), las características de la

parcela (tamaño, tenencia de la tierra, objetivo de la producción, etc) , factores de acceso a la información (extensionistas capacitados, parcelas demostrativas, etc.), factores técnicos (y biológicos de la región de cultivo (intensidad de uso del suelo, erosión, tipo de suelo, clima, etc.) y factores sociales (Capital social – redes de cooperación y vinculación) (FAO, 2001).

Al iniciar la implementación de AC el productor se enfrenta no percibir beneficios desde el primer ciclo de cultivo (Martinez, 2014), sino al menos a partir del 4° año consecutivo de producción bajo éste sistema continuo (Reardon, 2019) lo que puede explicar el desinterés del productor.

4.2 Incentivos para impulsar la adopción de AC

Diversos autores han indicado que existe alguna diferencia de costos en el largo plazo, que no son cuantificables, como la aversión del productor al riesgo, los prolongados periodos de gestación de beneficios y los costos escondidos (Preston, 2004), entre otros costos (FAO, 2001), (Kurkalova, 2001).

Comparando el valor presente neto de la perpetuidad de AC [$VP\pi_{perpMAC} = 96,418.27$ \$ ha⁻¹] y el de AD [$VP\pi_{perpMD} = 77,960.27$ \$ ha⁻¹], la diferencia es de 17,747.62 \$ ha⁻¹, es decir, que ésta diferencia representa los costos escondidos (CE_{AC}) de la implementación de AC. Los CE_{AC} son los que no son cuantificables pero el productor percibe y los desalienta a iniciar o dar continuidad a AC. Estos costos se pueden atribuir al aprendizaje del productor quien por “ensayo y error” enfrenta costos para

controlar los sucesos no esperados en el cultivo, por ejemplo: afectaciones en el rendimiento del cultivo o en la incidencia de plagas o enfermedades en los primeros años; así como costos para pertenecer a este nuevo sector productivo (Preston, 2004).

Estos costos pueden incluir los costos de transacción que el productor también enfrenta como los que derivan de la negociación de la renta de maquinaria cuyo precio y disponibilidad también se regula en un mercado aún de pocos oferentes, y otros costos de transacción como los que se generan al tener acceso a la capacitación. (Coase, 1937); (Kikuchi, 2018)

Durante el primer año de implementación de AC llamado “año cero”, se suma un costo adicional estimado en 11,975 \$ ha⁻¹ (con precios reales base año 2018) que consiste en el acondicionamiento del terreno, como: nivelación especializada, análisis de suelo, rastreo, formación de camas y algún tipo de enmienda si el suelo lo requiere como la aplicación de yeso agrícola. (FAO, 2001), (Ortiz, 2019)

Los costos escondidos totales (CE_{AC}) que enfrenta el productor ascienden a 29,722.62 \$ ha⁻¹. Si estos costos se pudieran asumir mediante apoyos económicos que incentiven al productor, pudiera alentar la adopción de AC. Este incentivo se sugiere puedan ser de dos formas:

Incentivo mediante una política pública

Mediante un subsidio económico anual por hectárea (SE_{AC}) entregado al productor por cada hectárea de terreno que inicie en el sistema AC y que sea comprobable su permanencia al menos durante 9 años de implementación continua. En el Cuadro 8 se indica el incentivo anual SE_{AC} que cubre al productor, dependiendo el número de años en que se difiera dicho apoyo. Por ejemplo: 7,445 \$ $ha^{-1} año^{-1}$ durante los primeros 5 años. Cabe aclarar que éste incentivo está calculado para una inflación de 4.83% anual, que de ser mayor el subsidio deberá ajustarse a fin de mantener su valor el tiempo.

Cuadro 8. Incentivo de política pública al productor para la adopción de AC

Años (n)	Subsidio (SE_{AC}) (\$ $ha^{-1} año^{-1}$)
3	11,533
4	8,974
5	7,444
6	6,429
7	5,709
8	5,172
9	4,758
10	4,430

Fuente: Elaboración propia

Incentivo del mercado – premio al precio

El otro incentivo que se ha estimado para esta investigación es un premio al precio del grano cultivado en AC (Δp), como una fracción porcentual del precio. Este premio al precio (Δp) tiene un comportamiento inverso al número de años en que otorga al productor

El valor presente de la ganancia del productor $VP\pi_{MAC}$ durante 13 ciclos de cultivo continuos, con ya con el premio al precio (Δp), debe ser mayor que la suma del valor presente de la ganancia a perpetuidad en AC ($VP\pi_{perpMAC} = 96,418 \$ ha^{-1}$) y los costos escondidos ($CE_{AC} = 29,723 \$ ha^{-1}$), que en total es $\$126,141\$ ha^{-1}$.

El premio al precio (Δp) es menor a medida que aumenta el número de años que se implementa. Por ejemplo, si el premio al precio por producir en AC es de 15% adicional al precio del mercado, éste deberá pagarse al productor durante 7 ciclos de cultivo. O bien:

15% durante 7 ciclos

25%, durante 5 ciclos

35% durante 3 ciclos

50% durante 2 ciclos

El detalle de simulación de precios con los diferentes Δp y el valor presente de la ganancia del productor $VP\pi_{AC}$ se pueden observar en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Incentivos por diferenciación de precios para la adopción de AC

Ciclo	$P_{MAC}=P_{MAD}$ \$ Mg ⁻¹	Δp_1 (15%)	$VP_{\pi_{MAC1}}$ \$ ha-1	Δp_2 (25%)	$VP_{\pi_{MAC2}}$ \$ ha-1	Δp_3 (35%)	$VP_{\pi_{MAC3}}$ \$ ha-1	Δp_4 (50%)	$VP_{\pi_{MAC4}}$ \$ ha-1
1	3,233	3,718	9,678	4,042	12,372	4,365	15,066	5,626	19,108
2	3,386	3,893	12,702	4,232	15,314	4,570	17,926	5,891	21,845
3	3,895	4,479	16,897	4,868	19,988	5,258	23,080		12,259
4	3,699	4,253	13,014	4,623	15,596		9,140		9,140
5	3,756	4,319	7,976	4,695	10,430		4,295		4,295
6	6,364	7,319	24,672		18,837		18,837		18,837
7	5,141	5,913	14,249		9,929		9,929		9,929
8	4,033		3,030		3,030		3,030		3,030
9	3,254		-299		-299		-299		-299
10	4,003		8,404		8,404		8,404		8,404
11	3,958		7,215		7,215		7,215		7,215
12	3,645		4,578		4,578		4,578		4,578
13	3,914		6,485		6,485		6,485		6,485

Fuente: Elaboración propia

Con el incentivo externo del premio al precio, el productor podrá garantizar el incentivo el valor presente de su ganancia durante 13 ciclos de cultivo (empleados para ésta investigación), y el podrá un mayor ingreso por migrar a AC; aunque, en realidad se estarán cubriendo los costos escondidos.

El incentivo de premio al precio por producir en AC puede asumir los costos escondidos desde el segundo año de implementación aumentando 50% los precios; sin embargo, dado de AC es un cambio general en el sistema de producción con beneficios en la fertilidad del suelo al 4° año y beneficios económicos al 9° año, lo recomendable es

extender el premio al precio durante al menos 5 años de implementación continua (Figura 11).

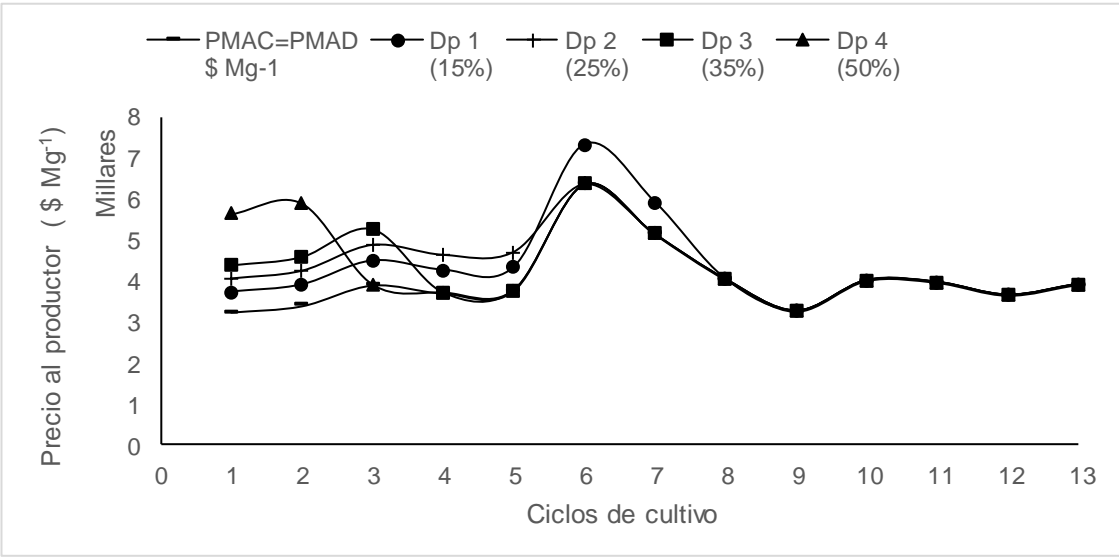


Figura 11. Comportamiento de los precios de maíz blanco simulando premio al precio

Fuente: Elaboración propia

Figura 1. Aun cuando el incremento del 50% al precio del producto cultivado en AC puede parecer muy alto dado que se trata de un grano básico, existen mercados para productos diferenciados por su método de producción como son los productos orgánicos. En estas categorías el diferencial de precios convencional oscila del 12% al 201%, con promedio de 74% por encima del convencional y es aceptado por el consumidor. (

Cuadro 10)

Cuadro 10. Diferencial de precios de productos agrícolas orgánicos

	Orgánico		Convencional		Diferencial de precio Diferencial de precio (Org/conv) (\$ Mg ⁻¹)
	Rendimiento (Mg ⁻¹ ha)	Precio productor (\$ Mg ⁻¹)	Rendimiento (Mg ⁻¹ ha)	Precio productor (\$ Mg ⁻¹)	
Invernadero					
Tomate rojo (jitomate)	240	\$ 15,950	189	\$ 8,680	84%
Cielo abierto					
Arroz palay	5	\$ 4,990	7	\$ 4,469	12%
Aguacate	12	\$ 28,681	11	\$ 18,533	55%
Frambuesa	14	\$ 91,045	16	\$ 54,000	69%
Limón	32	\$ 7,238	16	\$ 5,697	27%
Mango	6	\$ 6,711	11	\$ 4,969	35%
Papaya	48	\$ 10,173	62	\$ 6,006	69%
Plátano	32	\$ 6,880	40	\$ 3,331	107%
Zarzamora	18	\$ 69,926	23	\$ 36,975	89%
Brócoli	16	\$ 13,968	45	\$ 4,645	201%
Lechuga	17	\$ 9,503	91	\$ 4,004	137%
Tomate rojo (jitomate)	43	\$ 9,746	42	\$ 6,358	53%
Tomate verde	19	\$ 5,705	20	\$ 4,662	22%
Promedio					74%

*Precio medio rural y rendimientos promedio/año 2018 /nacional/año agrícola/ anual+perene/riego

Fuente: Elaboración propia con datos de (SIAP-SADER, 2018)

Los mercados diferenciadores en el que se incluyen los productos orgánicos y de comercio justo reconocen el esfuerzo del cuidado al medio ambiente y a la sociedad a través de un sobreprecio. La disposición del consumidor a pagar por éstos productos responde a un cambio en sus preferencias vinculadas a la conciencia ecológica o al estatus social, más allá de la funcionalidad propia de producto y su precio en un mercado competitivo. Por lo tanto, dado que la utilidad del consumidor por ambos tipos de productos (diferenciados y convencionales) es distinta, no se pueden considerar bienes sustitutos sino complementarios. (Naspetti, 2007)

Es recomendable que los productos obtenidos mediante AC se puedan diferenciar de los convencionales, como una categoría propia para poder diferenciar el precio durante los primeros años de implementación de AC o de manera permanente.

Actualmente el maíz producido mediante AC y AD en Guanajuato no están reconocidos como productos diferentes en el mercado, por lo que solo algunas empresas están haciendo programas piloto de compras con “bono de sustentabilidad” a productores que tienen prácticas sustentables durante el proceso de producción de maíz blanco. (Ortiz, 2019)

Sin embargo, el consumidor está transfiriendo su necesidad de contribuir al ambiente y a la sociedad directo a la industria de alimentos o a la industria del retail. (Jiang, 2016). Por esta razón, estos actores directos de la cadena de valor de maíz también desean complementar su consumo de productos AD con productos AC a fin de satisfacer las expectativas del consumidor y permanecer en el mercado.

4.3 La productividad de AD afectada por el deterioro del suelo

El productor que decida continuar en AD tendrá que enfrentar una disminución paulatina de la productividad de su tierra, que puede tener un comportamiento acelerado dependiendo de cómo impacte el deterioro del suelo en el tiempo (Figura 12).

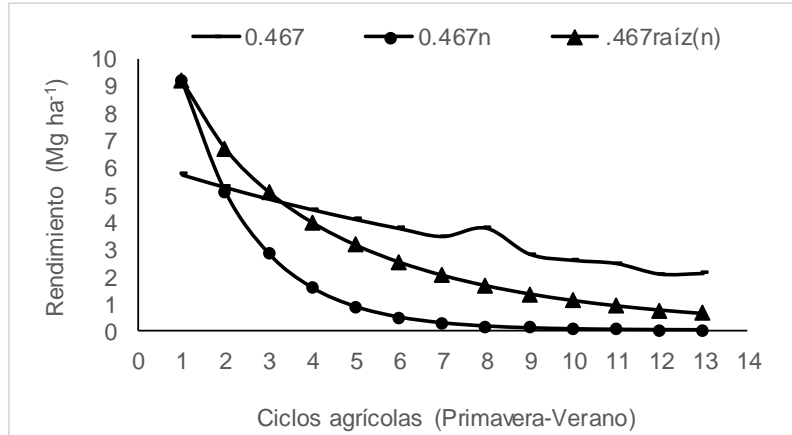


Figura 12. Simulación del efecto del deterioro del suelo en la productividad de AD, durante los próximos 13 ciclos de cultivo

Fuente: Elaboración propia

Si el deterioro del suelo permaneciera constante afectando $.467 \text{ Mg ha}^{-1}$ el rendimiento del maíz blanco cada ciclo de cultivo, la productividad descenderá 30.7% anualmente. Si la afectación se acumulara cada año, se espera que en 5 años se haya perdido el 90% del rendimiento por efecto del deterioro del suelo.

Si el efecto fuera intermedio ($.467\sqrt{n}$) el productor perderá el 60% del rendimiento del cultivo en el mismo periodo de 5 ciclos agrícolas. Pimentel (1995) citado por (Nele, 2015) estimó una caída de 8% anual en el rendimiento, para E.U.

Para mantener el rendimiento⁷ constante a través del tiempo, de 12 Mg ha^{-1} , el productor deberá asumir el incremento de los costos de producción a causa de

⁷ Mg es Mega-gramos equivalente a 1×10^6 gramos, conocido como 1 tonelada

suministrar al cultivo mayor cantidad de fertilizantes u otros insumos más costosos como semillas especializadas, para compensar la caída de la productividad.

Los costos al igual que el rendimiento pueden simularse bajo los mismo 3 escenarios de afectación del rendimiento por efecto del deterioro del suelo (Figura 13). Si el efecto del deterioro se mantiene constante cada ciclo, los costos de producción aumentarán 64.4% cada ciclo de cultivo y dentro de 9 años se duplicarán. Este dato coincide con el año en que el productor en AD iguala el valor presente de su ingreso neto. Si el deterioro del suelo fuera acumulable los costos se dispararían exponencialmente.

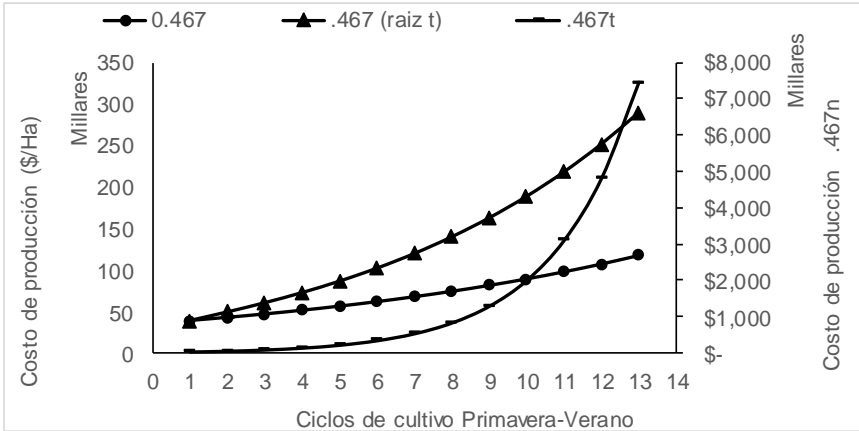


Figura 13. Simulación del Costo de producción en AD afectado por el deterioro del suelo.

Fuente: Elaboración propia

El deterioro del suelo no se considera externalidad

Una externalidad está presente cuando la función de utilidad o función de producción de cualquier individuo (A) incluye variables reales no monetarias cuyo valor es elegido por otro (B), sin prestar atención al bienestar de A. De éste modo A no compensa, es decir no recibe compensación de B con una cantidad igual en valor al beneficio resultante, que es un costo para A. (Baumol & Oates 1988), citados por (Gupta, 1993)).

También, una externalidad surge cuando A, incurriendo en costos, brinda un beneficio a B en un evento. Además A no es consciente de ello y no es tomada en cuenta en la toma de decisiones para llevar a cabo el evento en cuestión (Meade, 1973), citado por (Gupta, 1993). Es por esto que las externalidades causan divergencia entre los costos privados y los costos sociales.

En el caso de la producción agrícola de maíz y cebada para ésta investigación, se consideró que el suelo es propiedad del productor y que es un factor de la producción, por lo cual, el deterioro no es una externalidad, aun cuando la tierra sea rentada pues el propietario está siendo participe de un beneficio económico y ha sido tomado en cuenta en las decisiones.

Uno de los factores más complejos que limitan la adopción de la agricultura de conservación es la tenencia de la tierra, la cual tiene un efecto positivo en la inversión y el mejoramiento del suelo agrícola. (FAO, 2001)

4.4 La estabilidad del ingreso del productor en AC, el horizonte de tiempo

La simulación de precios de maíz blanco permite predecir dos posibles trayectorias a dos con tendencia al incremento de precios y dos con tendencia a decaer (Figura 14).

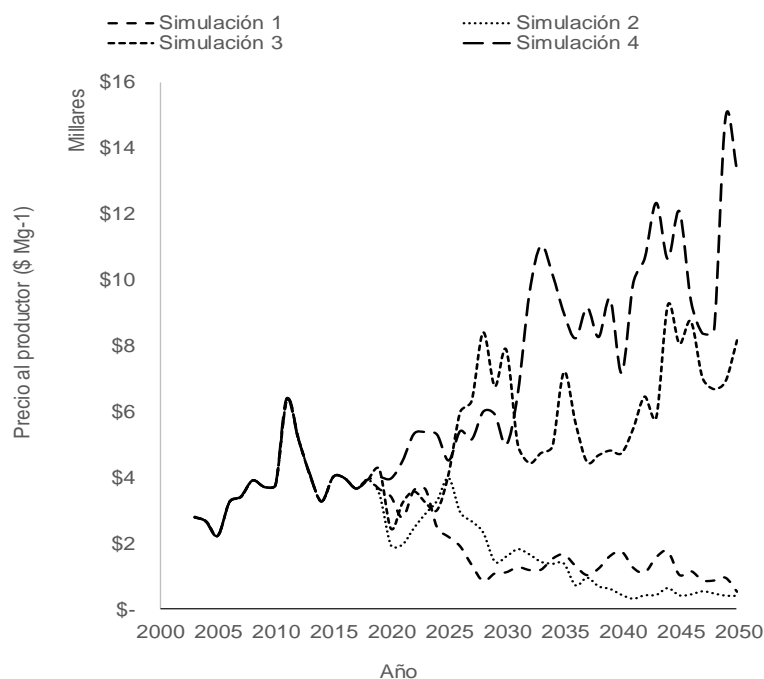


Figura 14. Simulaciones de precio de maíz blanco, al año 2050.

Fuente: Elaboración propia

Bajo un escenario de mayor tendencia a un incremento de precio y menor volatilidad para el maíz blanco la simulación 4 fue la mejor. Para cebada, la simulación 4 también fue la que prevé un mayor crecimiento del precio, aunque con una mayor volatilidad. El precio del maíz tiene mayor riesgo de caer hasta un 6 y 7% (simulación 2 y 3) en promedio mientras el precio de la cebada se prevé más estable con una caída máxima de 2% en promedio (ver simulación 3 en Cuadro 11 y Figura 15).

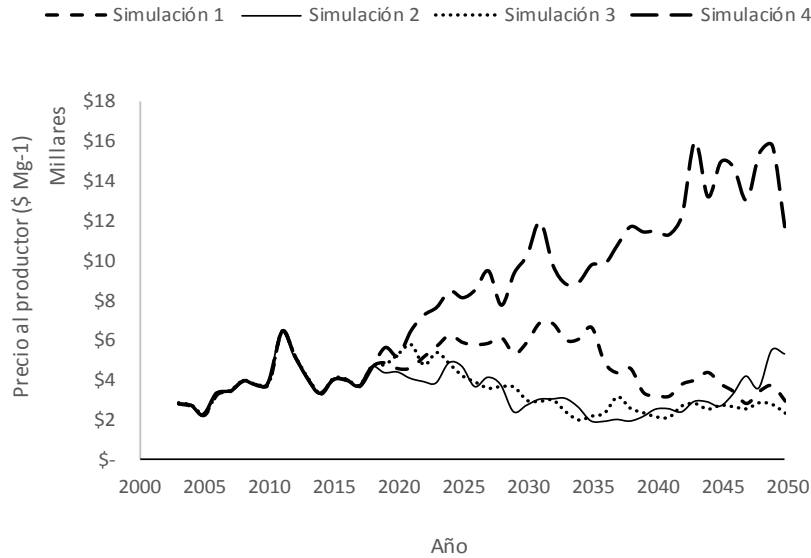


Figura 15. Simulaciones de precio de cebada grano, al año 2050.

Fuente: elaboración propia

Cuadro 11. Medidas de tendencia central de las simulaciones de precio de maíz blanco y cebada grano, al año 2050.

		Simulación 1	Simulación 2	Simulación 3	Simulación 4
Maíz	Precios				
	Media	\$ 1,711	\$ 1,516	\$ 5,640	\$ 7,962
	Desviación estándar	948	1137	1813	2975
	Mínimo	\$ 517	\$ 301	\$ 2,424	\$ 3,914
	Máximo	\$ 3,914	\$ 3,967	\$ 9,239	\$ 14,933
Coeficientes	Tendencia	-6%	-7%	2%	4%
	Volatilidad	25%	26%	23%	19%
Cebada	Precios				
	Media	\$ 4,772	\$ 3,314	\$ 3,205	\$ 10,339
	Desviación estándar	\$ 1,200	\$ 1,027	\$ 1,082	\$ 3,033
	Mínimo	\$ 2,794	\$ 1,860	\$ 1,904	\$ 4,625
	Máximo	\$ 6,810	\$ 5,448	\$ 5,688	\$ 15,990
Coeficientes	Riesgo	-1%	0%	-2%	3%
	Volatilidad	13%	17%	13%	14% ^g

Fuente: elaboración propia

El análisis de la tasa logarítmica de crecimiento de los precios de las series simuladas (simulación 4 en ambos productos) permite observar que los precios de cebada son más estables que los precios de maíz, tienen menor volatilidad de los precios. (Figura 16)

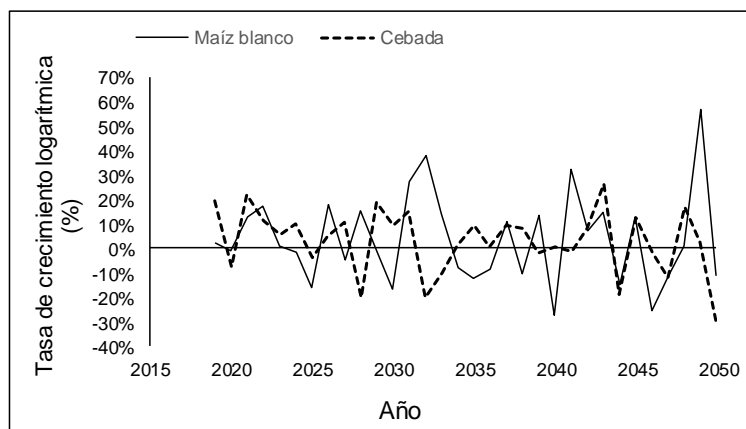


Figura 16. Tasas de crecimiento logarítmica de precios proyectados de maíz y cebada (simulación 4)

Fuente: Elaboración propia

La cebada grano como cultivo rotación, tiene la ventaja económica de un escenario de mayor estabilidad de precios al productor (\$ Mg⁻¹) en el largo plazo. El maíz es un producto con mayor tendencia al incremento de precio, 4% pero con el riesgo de variar hasta un 19%.

La agricultura de conservación mejora la productividad de los sistemas agrícolas, los cuales son principalmente la tierra, el trabajo y el capital. AC incrementa en un 40% la productividad, a través de un manejo eficiente del recurso tierra permitiendo elevar de 3 a 6 ciclos de cultivo en 2 años, en el cultivo de granos (INIFAP,2002)

4.5 Modelo de la ganancia total del productor bajo el principio de alternancia de cultivos de AC

Para la producción de maíz blanco, el ciclo agrícola primavera-verano es el más importante. Bajo el principio de rotación de cultivos de AC, el ciclo agrícola otoño-invierno puede ser aprovechado con el cultivo de la cebada grano.

Agregando ambos cultivos para cerrar el año agrícola del productor el valor presente de la ganancia de AC asciende a \$176,130 \$ ha⁻¹ mientras que produciendo únicamente en AD es de 79,305 \$ ha⁻¹. (Figura 17)

Actualmente los productores de maíz de Guanajuato que ya se encuentran en AC están produciendo en un sistema híbrido, es decir que solo aprovechan el ciclo PV. Pero aún hace falta impulsar la ejecución completa con el cultivo de rotación en el ciclo OI. (Ortiz, 2019)

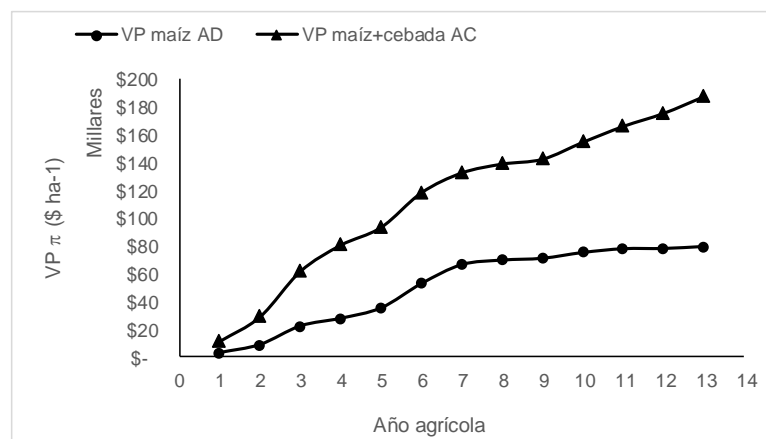


Figura 17. Valor presente de la ganancia en AC, del año agrícola

Fuente: Elaboración propia

De llevar a cabo AC en su totalidad el productor de maíz blanco tiene el incentivo de incrementar 2.2 veces su ganancia, en un horizonte de 13 años de ejecución continua.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La agricultura de conservación AC sí tiene un incentivo económico propio producto del proceso de producción el cual genera mayor ganancia para el productor, acumulable en el tiempo. Sin apoyo el productor tardará al menos 9 años en percibir mayor ganancia que en la agricultura convencional AD.

Los beneficios de AC se hacen notar después de los primeros 4 años de implementación. Desde el punto de vista económico el productor enfrenta costos escondidos que no pueden ser transparentados pues se atribuyen al proceso mismo de aprendizaje e implementación del nuevo de sistema de producción.

Se recomienda acelerar la adopción de AC a través de incentivos externos, otorgados al productor. Ya sea mediante una política pública que provea de recursos económicos al productor durante los primeros 5 años de implementación de AC, o bien mediante un incentivo del mercado que diferencie el producto obtenido por AC de AD con un premio al precio 25%, sobre el precio del mercado durante los primeros 5 años.

El maíz blanco producido en AC no debería ser un sustituto del maíz blanco AD, sino un complemento que satisfaga la necesidad de migrar a métodos de producción sostenibles como se ha planteado en la agenda 2030 de la ONU.

Los productores involucrados en AC tienen el potencial de incrementar 2.2 veces el valor presente de su ingreso neto, si llevaran a cabo el principio 3 de AC de alternancia de cultivos, incorporando un cultivo como la cebada durante el ciclo OI. Adicional, el incorporar otro cultivo de menor riesgo de precios en el mercado tiene el beneficio de estabilizar el ingreso anual del productor.

6. SIGUIENTES PASOS EN LA INVESTIGACIÓN

En una siguiente etapa de la investigación se sugiere profundizar en desagregar los costos de producción para tener un análisis específico por cada insumo de la producción. Para ello se requiere localizar datos históricos, por ejemplo, de centros de investigación o asociaciones de productores, que hayan implementado AC disciplinadamente y tengan un periodo de ejecución continuo mínimo de 5 años.

Dado que el maíz blanco y la cebada se mueven en un mercado de materias primas genéricas (commodities), en tanto no se logre diferenciar el producto de AC y de AD es recomendable generar un modelo que tome en consideración las predicciones de precios del mercado de futuro internacional de granos con la finalidad de impulsar la implementación de AC en los periodos de precios más convenientes para el productor.

Es conveniente analizar la factibilidad de un modelo intermedio que combine las prácticas de AC y AD en los diferentes ciclos de cultivo para identificar si existe la posibilidad de acortar el periodo de incubación de los beneficios económicos de Ac en menos de los 9 años de implementación continua.

7. LITERATURA CITADA

- AEAC. (2016). *Beneficios de la agricultura de conservación en un entorno de cambio climático*. Recuperado el 2 de Julio de 2019, de Asociación Española de Agricultura de Conservación Suelos Vivos: http://www.agriculturadeconservacion.org/Estudio_AEAC.pdf
- Ahmad, A. D. (2017). Option pricing using montecarlo simulation. *British Journal of Economics, Finance and Management Sciences*, 13(2), 53-81.
- Arnold, U. Y. (2015). Economic risk analysis of decentralized renewable energy infrastructures - A Monte Carlo Simulation Aproach. *Renewable energy*, 77, 227-239. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.059>
- Báez, M. A. (2011). Efecto de la labranza de conservación sobre las propiedades del suelo. *Terra Latinoamericana*, 29(2), 113-121.
- Baker, C. J. (2008). *Siembra con labranza cero en la agricultura de conservación* (Segunda ed.). FAO, España: Editorial Acribia, S.A.
- BANXICO. (30 de Noviembre de 2019). *Tasas de interés representativas* . Obtenido de Sistema de información económica: <https://www.banxico.org.mx/SielInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?sector=18&accion=consultarCuadroAnalitico&idCuadro=CA51&locale=es>
- Blanco-Canqui, H. L. (2010). Soil Resilience and Conservation. In: . En D. Springer, *Principles of Soil Conservation and Management*. (págs. 425-447 pp). Springer. Obtenido de <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4020-8709-7>
- Blas, C. J. (2012). *Análisis de la función de producción de maíz en el Estado de México*. Texcoco, Edo.México: Universidad Autónoma Chapingo - Tesis de Maestría.
- Brambila, P. J. (2011). *Bioeconomía, instrumentos para su análisis económico* (Primera ed.). Texcoco, Estado de Méxic: Sagarpa Colegio de Posgraduados.
- Buenrostro, R. J. (20 de 06 de 2019). Nutrición del cultivo en Agricultura de Conservación. (M. López- Soto, Entrevistador)
- CIMMYT-SAGARPA. (2017). *La agricultura de conservación un sistema sustentable*. Recuperado el 20 de Junio de 2019, de Agricultura de conservación, preparar el terreno para el desarrollo integral y sustentable del cmapo en México: http://conservacion.cimmyt.org/es/component/docman/doc_download/29-2-la-agricultura-de-conservacion-un-sistema-sustentable.
- Coase, R. H. (1937). The nature of the firm. *Economica, New Series*, 4(16), 386-405.
- CONAGUA. (2018). *Estadísticas del agua en México 2018*. Obtenido de http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf

- Cotler, A. H. (2017). *Estrategias de conservación de suelos en agroecosistemas de México*. (Primera ed.). México: Fundación Río Arronte, L.A.P.
- De Graaff, A. A. (2008). Factors influencing adoption and continued use of long-term soil and. *Applied Geography*, 28, 271– 280.
- De la Rosa, D. (2008). *Evaluación agro-ecológica de suelos para un desarrollo rural sostenible*. Madrid, España: Ediciones Mundiprensa.
- Debertine, D. L. (2012). *Agricultural production economics*. USA: Pearson Education Corporate Editorial Offices.
- Di Falco, S. a. (2006). Crop genetic diversity, farm productivity and the management of environmental risk in rainfed agriculture. *European Review of Agricultural Economics*, 33(3), 289-314. doi:10.1093/erae/jb1016
- FAO. (2001). *The economic of conservation agriculture*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/y2781e/y2781e00.htm>
- FAO. (2016). *Conservation Agriculture*. Recuperado el 18 de Octubre de 2018, de Plant production and protection division: <http://www.fao.org/3/a-i6169e.pdf>.
- FIRA. (2018). *Agrocostos 2019*. Recuperado el 12 de Enero de 2019, de <https://www.fira.gob.mx/Nd/Agrocostos.jsp> y <https://www.fira.gob.mx/agrocostosApp/AgroApp.jsp>
- Flores, G. A. (2006). El cultivo de maíz en temporal en labranza de conservación y el suelo comportamiento de cracterísticas físicas y mecánicas del suelo. *Ideas Concyteg* 1(15): 1-7., 1(15), 1-7.
- Foth, H. T. (1981). *Fundamentos de la ciencia del suelo* (Quinta reimpresión ed.). México: Continental.
- Fregoso, L. T. (2006). La constancia paga: mejoramiento de la calidad del suelo por efecto de la adopción de la labranza de conservación en el bajío guanajuatense. *Ideas Consyteg*, 1(15), 13-16.
- González, M. R. (2007). Efecto de la erosión del suelo sobre el rendimiento del maíz de temporal. . *Terra Latinoamericana*, 25(4), 399-408.
- Griffin, R. C. (1987). Selecting functional form in production function analysis. *Western Journal of Agricultural Economics*, 12(2), 216-227.
- Gupta, A. K.-0.-0. (1993). On Internalization of Externalities. IIMA Working Papers. *Indian Institute of Management Ahmedabad, Research and Publication Department* . doi:WP1993-08-01_01202
- INEGI-Cuentáme. (16 de 02 de 2018). *Información por entidad. Resumen Guanajuato*. Obtenido de <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/gto/default.aspx?tema=me&e=11>

- INIFAP. (2002). *Reducción de costos en granos y forrajes con labranza de conservación. Ficha tecnológica por sistema producto*. Recuperado el 8 de Enero de 2019, de Dirección General Noreste. México.: [http://www.agronuevoleon.gob.mx/oeidrus/FICHAS%20TECNOLOGICAS/forrajes%20\(pastos%20y%20praderas\)/Reduccion%20de%20costos%20en%20granos%20y%20forrajes%20con%20labranza%20de%20conservacion.pdf](http://www.agronuevoleon.gob.mx/oeidrus/FICHAS%20TECNOLOGICAS/forrajes%20(pastos%20y%20praderas)/Reduccion%20de%20costos%20en%20granos%20y%20forrajes%20con%20labranza%20de%20conservacion.pdf)
- Jiang, B. S. (2016). Pricing and persuasive advertising in a differentiated market. *Mark Lett* 27, 579–588 (2016) doi:10.1007/s11002-015-9370-1. *Mark Lett* 27, , 579–588. doi:doi:10.1007/s11002-015-9370-1
- Kikuchi, T. N. (2018). Span of control, transaction costs, and the structure of production chains. *Theoretical Economics*, 13, 729-760.
- Kurkalova, L. A. (2001). The Subsidy For Adopting Conservation Tillage: Estimation From Observed Behavior. (A. 5.-8. 2001 Annual meeting, Ed.) *American Agricultural Economics Association (New Name*. doi:10.22004/ag.econ.20542
- Laffont, J. &. (2002). *The Theory of Incentives*. USA: Princeton University Press.
- Lybbert, T. a. (2010). Stochastic Benefit Streams, Learning, and Technology Diffusion: why drought is not the new Bt. *AgBioForum*, 13(1), 13-24.
- Martinez, G. M. (2014). Efecto del fertirriego labranza de conservación en las propiedades del suelo y el rendimiento de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(6), 937-949.
- Martínez, R. A.-1. (2006). Evolución y perspectivas de la labranza de conservación en México. *Ideas Concyteg*, 1(15), 8-12.
- Martínez-Cruz, T. E.-V. (2019). Collaborative research on Conservation Agriculture in Bajío, Mexico: continuities and discontinuities of partnerships. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 1-14. doi:DOI: 10.1080/14735903.2019.1625593
- Mendoza, E. M. (21 de Marzo de 2019). Agrocostos de maíz y cebada, Guanajuato. (M. López-Soto, Entrevistador)
- Metropolis, N. U. (1949). The Monte Carlo Method. *Journal of the American Statistical Association*, 44(247), 335-314.
- Montanarella, L. P. (Agosto de 2015). *Estado mundial del recurso suelo*. Obtenido de Resumen técnico FAO: <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>
- Nele, V. F. (15 de 09 de 2015). *Agricultura de conservación, ¿mejora la calidad del suelo a fin de obtener sistemas de producción sustentables?* México: CIMMYT - Masagro. Obtenido de CIMMYT- Masagro.
- Nicholson, W. (2004). *Microeconomía intermedia y sus aplicaciones* (Novena ed.). Editorial Cengage Learnig.

- Nieto, E. J. (22 de Abril de 2019). *Instituto Geográfico Agustín Codazzi*. Recuperado el 18 de 06 de 2019, de “Cientos de años tarda en recuperarse un centímetro de suelo afectado por la mala mano del hombre”: <https://www.igac.gov.co/es/noticias/cientos-de-anos-tarda-en-recuperarse-un-ce>
- Ortega, V. M. (18 de Junio de 2019). Preparación del terreno para la agricultura de conservación y la maquinaria . (M. López-Soto, Entrevistador)
- Ortiz, H. (19 de Junio de 2019). El estado actual de la Agricultura de Conservación en Guanajuato. (M. López-Soto, Entrevistador)
- Osornio, M. J. (1 de Julio de 2019). Producción en labranza de conservación, Campo experimental Villadiego. (M. López-Soto, Entrevistador)
- Platon, V. C. (2014). Montecarlo Method in risk análisis for investment proyect. *Procedia Economics and Finance*, 15, 393- 400.
- Preston, M. R. (2004). What is a barrier to entry? *American Economic Review*, 94(2), 461-465.
- Ramírez, P. R. (2006). Efecto a largo plazo de la labranza convencional y siembra directa sobre las propiedades físicas de un arguidol típico de la pampa ondulada argentina. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 59(1), 3237-3256.
- Reardon, C. L. (2019). 2019. Soil Microbial and Chemical Properties of a Minimum and Conventionally Tilled Wheat–Fallow System. *Soil Sci. Soc. Am. J. 0.* . doi:doi:10.2136/sssaj2018.09.0
- Rosas, M. J. (27 de 01 de 2017). *La cebada maltera debería pagarse en \$6,000 por tonelada*. (Agrosíntesis, Editor) Recuperado el 30 de 09 de 2018, de <https://www.agrosintesis.com/la-cebada-maltera-deberia-pagarse-6000-tonelada/#.XZPwkkZKjIU>
- SAGARPA. (2017). *Planeación Agrícola Nacional 2017-2030*. Obtenido de Maíz grano blanco y amarillo mexicano: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256429/B_sico-Ma_z_Grano_Blanco_y_Amarillo.pdf
- SDAYR. (2018). *Monitoreo de precios pagados al productor cosecha de maíz y sorgo ciclo PV 2018 en Guanajuato*. Recuperado el 17 de 08 de 2019, de Secretaría de Desarrollo Agroalimentario y Rural: http://sdayr.guanajuato.gob.mx/contenido/adjuntos/publicaciones/2018/MONITOREO_18_10_18.pdf.
- SEMARNAT. (24 de 7 de 2018). *Diferencia entre sustentable y sostenible*. Obtenido de <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/diferencia-entre-sustentable-y-sostenible>
- Sheck, R. D. (2013.). *Evaluación de impactos de desarrollo de cadenas de valor sobre la pobreza. Estudios de caso basados en la herramienta 5 capitales*. CATIE.

- SIAP-SADER. (2018). *Servicio de información agroalimentaria y pesquera*. Recuperado el 20 de 07 de 2019, de <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- SIAP-SADER. (18 de 03 de 2019). *Expectativas agroalimentarias 2019*. Obtenido de <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/Brochure%20Expectativas%202019.pdf>
- Singh, K. M. (2012). Economics of conservation agriculture: An Overview. *SSRN Electronic Journal*, 1-18.
- Struke, E. M. (2013). Is competition always good? *Journal of Antitrust Enforcement*, 1(1), 162-197.
- Sykuta, M. E. (2012). The fallacy of competition in agriculture. *The Ethics and Economics of Agrifood Competition*. doi:DOI: 10.1007/978-94-007-6274-9_
- Torres, B. C. (19 de Junio de 2019). CDT Villadiego de FIRA, impulsor de la labranza de conservación en México. (M. López-Soto, Entrevistador)
- United-Nations-1. (17 de 09 de 2018). *Sustainable Development Goals*. Obtenido de <https://sustainabledevelopment.un.org/?menu=1300>
- United-Nations-2. (10 de 08 de 2018). *Sustainable Deveopment Goals. Knowledge Plataform. SDG12*. Obtenido de <https://sustainabledevelopment.un.org/topics/sustainableconsumptionandproduction>
- Varian, H. R. (2010). *Intermediate Microeconomics. A modern aproach* (Eighth ed.). United States: W. W. Norton & Company.
- Vergara, C. M. (2019). Montecarlo estructurado. Estimación del valor en riesgo, en portafolio accionario en Colombia. *ADMINISTER Universidad EAFIT. Medellín*(15), 68-88.
- Williams, F. (2017). Barriers facing new entrant to farming. An emphasis on policy. *Land Economy Research. Working paper* (17).
- Willmott, P. (2006). *Quantitative finance* (Second ed.). , USA: John Wiley & Sons. Ltd.

ANEXOS

A.1. Prueba de normalidad

A.1.1 Precios de maíz blanco

Input

```
Data normalM;  
Title normalidad en precios de maíz blanco;  
      title2 '(Valle de Santiago Gto)';  
Input Pm ;  
Cards;  
  
      2770.38  
      2646.31  
      2205.51  
      3233.32  
      3385.52  
      3894.53  
      3698.60  
      3755.86  
      6364.08  
      5141.39  
      4032.65  
      3253.59  
      4003.15  
      3957.82  
      3645.37  
      3914.28  
;  
ods select ParameterEstimates GoodnessOfFit FitQuantiles MyHist;  
proc univariate data=normalM;  
  var Pm;  
  histogram /normal;  
  inset n mean(5.3) std='Std Dev'(5.3) skewness(5.3)  
        / pos = ne header = 'Summary Statistics';  
  axis1 label=(a=90 r=0);  
run;
```

Output

normalidad en precios de maíz blanco
(Valle de Santiago Gto)

Procedimiento UNIVARIATE
Distribución normal ajustada para Pm

Parámetros para distribución
Normal

Parámetro	Símbolo	Estimador
Media	Mu	3743.898
Desv std	Sigma	973.8896

Tests de bondad de ajuste para la distribución Normal

Test	Estadístico	p valor
Kolmogorov-Smirnov D	0.25842639	Pr > D < 0.010
Cramer-von Mises W-Sq	0.12808692	Pr > W-Sq 0.043
Anderson-Darling A-Sq	0.71848810	Pr > A-Sq 0.049

Cuantiles para distribución
Normal

Porcentaje	Cuantil	
	Observado	Estimado
1.0	2205.51	1478.29
5.0	2205.51	2141.99
10.0	2646.31	2495.81
25.0	3243.46	3087.02
50.0	3727.23	3743.90
75.0	3980.49	4400.78
90.0	5141.39	4991.99
95.0	6364.08	5345.80
99.0	6364.08	6009.50

Nota: Con Ho: los datos tienen distribución normal y Ha: los datos no tienen distribución normal. Con nivel de significancia ($\alpha=0.05$) rechazar Ho si Pvalue < α . En las 3 pruebas de normalidad no se rechaza Ho y se acepta que los datos tienen distribución normal.

A.1.2 Precios de cebada grano

Input

```
Data normalC;  
Title normalidad en precios de cebada grano;  
      title2 '(Valle de Santiago Gto)';  
Input Pc ;  
Cards;  
  
      3006.78  
      3087.36  
      3350.68  
      2864.97  
      3542.99  
      4943.05  
      4651.70  
      4466.06  
      5150.98  
      4972.93  
      3966.11  
      4112.06  
      4231.90  
      4704.14  
      4510.03  
      4625.00  
;  
ods select ParameterEstimates GoodnessOfFit FitQuantiles MyHist;  
proc univariate data=normalC;  
  var Pc;  
  histogram /normal;  
  inset n mean(5.3) std='Std Dev'(5.3) skewness(5.3)  
    / pos = ne header = 'Summary Statistics';  
  axis1 label=(a=90 r=0);  
run;
```

Output

normalidad en precios de cebada grano (Valle de Santiago Gto)
--

Procedimiento UNIVARIATE
Distribución normal ajustada para Pc

Parámetros para distribución Normal

Parámetro	Símbolo	Estimador
Media	Mu	4136.671
Desv std	Sigma	750.8204

Tests de bondad de ajuste para la distribución Normal

Test	Estadístico	p valor
Kolmogorov-Smirnov D	0.16956239	Pr > D >0.150
Cramer-von Mises W-Sq	0.08105620	Pr > W-Sq 0.194
Anderson-Darling A-Sq	0.49753509	Pr > A-Sq 0.189

Cuantiles para distribución Normal

Porcentaje	Cuantil	
	Observado	Estimado
1.0	2864.97	2390.00
5.0	2864.97	2901.68
10.0	3006.78	3174.46
25.0	3446.84	3630.25
50.0	4348.98	4136.67
75.0	4677.92	4643.09
90.0	4972.93	5098.89
95.0	5150.98	5371.66
99.0	5150.98	5883.34

Nota: Con Ho: los datos tienen distribución normal y Ha: los datos no tienen distribución normal. Con nivel de significancia ($\alpha=0.05$) rechazar Ho si Pvalue < α . En las 3 pruebas de normalidad no se rechaza Ho y se acepta que los datos tienen distribución normal.

A.2. Modelo para maíz en agricultura convencional AD

$$\ln(Y-.467t)=\ln A + B_1 \ln(\text{costo total}) + B_2 (t)$$

A.2.1 Input maíz MAD

DATA maiz AD;

Title MAIZ AD $\ln(Y-.467t)=\ln A + B_1 \ln(\text{costo total}) + B_2 (t)$ en GLM;

title2 '(datos convertidos a ln)';

INPUT LnY LnLab LnKtot t;

CARDS;

8.90	7.12	10.03	1
8.98	7.12	10.06	2
9.12	7.11	10.08	3
8.83	7.11	10.11	4
8.91	7.11	10.14	5
8.65	7.12	10.17	6
8.78	7.12	10.20	7
8.62	7.12	10.36	8
8.54	7.12	10.23	9
8.46	7.16	10.26	10
8.31	7.20	10.31	11
7.81	7.18	10.27	12
8.05	7.17	10.37	13

;

PROC GLM;

MODEL LnY= LnKtot t;

PROG MEANS;

RUN;

A.2.1 Output maíz AD

MAIZ AD $\ln(Y-.467t)=\ln A + B_1 \ln(\text{costo total}) + B_2 (t)$ en GLM
(datos convertidos a ln)

Procedimiento GLM

Número de observaciones leídas 13

Número de observaciones usadas 13

MAIZ AD $\ln(Y-.467t)=\ln A + B_1 \ln(\text{costo total}) + B_2 (t)$ en GLM
(datos convertidos a ln)

Procedimiento GLM

Variable dependiente: LnY

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	1.46148239	0.73074119	28.15	<.0001
Error	10	0.25954838	0.02595484		
Total corregido	12	1.72103077			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	LnY Media
0.849190	1.870637	0.161105	8.612308

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LnKtot	1	1.02979994	1.02979994	39.68	<.0001
T	1	0.43168244	0.43168244	16.63	0.0022

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LnKtot	1	0.04255436	0.04255436	1.64	0.2293
T	1	0.43168244	0.43168244	16.63	0.0022

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr > t
T. indepen	-4.298775018	10.56636002	-0.41	0.6927
LnKtot	1.351097179	1.05517306	1.28	0.2293
T	-0.124152744	0.03044271	-4.08	0.0022

A.3. Modelo para maíz en agricultura de conservación MAC

$$\text{Ln}(Y) = \ln A + B_1 \ln(\text{costo total}) + B_2 (t)$$

A.3.1 Input maíz AC

DATA maiz Labranza;

Title MAIZ LABRANZA AC Ln(Y)=ln A + B₁ ln(costo total) + B₂ (t) en GLM;

 title2 '(datos convertidos a ln)';

INPUT LnY LnLab LnKtot t;

CARDS;

9.10	7.12	10.04	1
9.10	7.12	9.91	2
9.21	7.11	10.06	3

9.16	7.11	10.03	4
9.17	7.11	10.30	5
9.18	7.12	10.37	6
9.17	7.12	10.38	7
9.13	7.12	10.36	8
9.16	7.12	10.36	9
9.39	7.16	10.31	10
9.39	7.20	10.33	11
9.39	7.18	10.38	12
9.39	7.17	10.29	13

;

PROC GLM;

MODEL LnY= LnKtot t;

PROG MEANS;

RUN;

A.3.3 Input maíz AC

MAIZ LABRANZA AC $\text{Ln}(Y)=\ln A + B1 \ln(\text{costo total}) + B2 (t)$ en GLM
(datos convertidos a ln)

Procedimiento GLM

Número de observaciones leídas 13

Número de observaciones usadas 13

MAIZ LABRANZA AC $\text{Ln}(Y)=\ln A + B1 \ln(\text{costo total}) + B2 (t)$ en GLM
(datos convertidos a ln)

Procedimiento GLM

Variable dependiente: LnY

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	0.12543610	0.06271805	15.50	0.0009
Error	10	0.04047159	0.00404716		
Total corregido	12	0.16590769			

R-cuadrado 0.756060 Coef Var 0.689532 Raíz MSE 0.063617 LnY Media 9.226154

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LnKtot	1	0.03302517	0.03302517	8.16	0.0171
t	1	0.09241093	0.09241093	22.83	0.0007

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LnKtot	1	0.01268390	0.01268390	3.13	0.1071
t	1	0.09241093	0.09241093	22.83	0.0007

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr > t
T. indepen	12.07220868	1.70648018	7.07	<.0001
LnKtot	-0.30161095	0.17037107	-1.77	0.1071
T	0.03463446	0.00724806	4.78	0.0007

MAIZ LABRANZA AC $\ln(Y)=\ln A + B1 \ln(\text{costo total}) + B2 (t)$ en GLM
(datos convertidos a ln)

edimiento MEANS					
Variable	N	Media	Dev std	Mínimo	Máximo
LnY	13	9.2261538	0.1175825	9.1000000	9.3900000
LnLab	13	7.1353846	0.0307179	7.1100000	7.2000000
LnKtot	13	10.2400000	0.1656804	9.9100000	10.3800000
T	13	7.0000000	3.8944405	1.0000000	13.0000000

MAIZ AD $\ln(Y-.467t)=\ln A + B1 \ln(\text{costo total}) + B2 (t)$ en GLM
(datos convertidos a ln)

Procedimiento MEANS					
Variable	N	Media	Dev std	Mínimo	Máximo
LnY	13	8.6123077	0.3787073	7.8100000	9.1200000
LnLab	13	7.1353846	0.0307179	7.1100000	7.2000000
LnKtot	13	10.1992308	0.1123582	10.0300000	10.3700000
t	13	7.0000000	3.8944405	1.0000000	13.0000000

A.4. Modelo para cebada en agricultura convencional CAD

$$\ln(Y) = \ln A + B_1 \ln(\text{costo total}) + B_2 (t)$$

A.4.1 Input cebada AD

DATA cebada AD;

 Title Cebada Agricultura Convencional AD;

 title2 '(datos convertidos a ln)';

INPUT LnYcebD LnKcebD t;

CARDS;

8.58	9.82	1
8.65	9.84	2
8.70	9.87	3
8.67	9.92	4
8.69	9.99	5
8.73	10.09	6
8.71	10.04	7
8.19	9.99	8
8.66	10.06	9
8.64	10.07	10
8.73	10.07	11
8.72	10.01	12
8.70	10.04	13

;

PROG GLM;

MODEL LnYcebD= LnKcebD t;

PROG MEANS;

RUN;

A.4.2 Output cebada AD

Cebada Agricultura Convencional AD (datos convertidos a ln)
--

Procedimiento GLM

Variable dependiente: LnYcebD

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	17.46501002	8.73250501	2.15	0.1674
Error	10	40.63795921	4.06379592		
Total corregido	12	58.10296923			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	LnYcebD Media
0.300587	25.10924	2.015886	8.028462

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LnKcebD	1	0.28441890	0.28441890	0.07	0.7967
t	1	17.18059112	17.18059112	4.23	0.0668

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LnKcebD	1	8.89220782	8.89220782	2.19	0.1699
t	1	17.18059112	17.18059112	4.23	0.0668

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr > t
T. indepen	-141.6735278	102.2358253	-1.39	0.1959
LnKcebD	15.3488122	10.3761422	1.48	0.1699
t	-0.5088291	0.2474679	-2.06	0.0668

Cebada Agricultura Convencional AD
(datos convertidos a ln)

Variable	N	Procedimiento MEANS			
		Media	Dev std	Mínimo	Máximo
LnYcebD	13	8.0284615	2.2004350	0.7200000	8.7300000
LnKcebD	13	9.9853846	0.0928812	9.8200000	10.0900000
t	13	7.0000000	3.8944405	1.0000000	13.0000000

A.5. Modelo para cebada en agricultura de conservación CAC

$$\ln(Y) = \ln A + B_1 \ln(\text{costo total}) + B_2 (t)$$

A.5.1 Input cebada AC

DATA Cebada AC;

Title Cebada Agricultura de Conservación AC;

title2 '(datos convertidos a ln)';

INPUT LnYcebC LnKcebC t;

CARDS;

8.78	9.45	1
8.82	9.47	2
9.04	9.68	3
8.92	9.97	4
8.87	9.85	5
8.70	9.95	6
8.76	10.07	7
8.76	9.89	8
8.76	9.84	9
8.63	9.63	10
8.56	9.60	11
8.73	9.66	12
8.87	9.75	13

;

PROC GLM;

MODEL LnYcebC= LnKcebC t;

PROC MEANS;

RUN;

A.5.2 Output cebada AC

Cebada Agricultura de Conservación AC

(datos convertidos a ln)

Procedimiento GLM

Número de observaciones leídas 13

Número de observaciones usadas 13

Cebada Agricultura de Conservación AC

(datos convertidos a ln)

Procedimiento GLM

Variable dependiente: LnYcebC

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	0.05305404	0.02652702	2.00	0.1860
Error	10	0.13266904	0.01326690		
Total corregido	12	0.18572308			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	LnYcebC Media
0.285662	1.311179	0.115182	8.784615

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LnKcebC	1	0.00334080	0.00334080	0.25	0.6267
t	1	0.04971325	0.04971325	3.75	0.0817

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LnKcebC	1	0.00811118	0.00811118	0.61	0.4524
t	1	0.04971325	0.04971325	3.75	0.0817

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr > t
T. indepen	7.572328750	1.69245321	4.47	0.0012
LnKcebC	0.136269581	0.17427760	0.78	0.4524
T	-0.016710102	0.00863233	-1.94	0.0817

Cebada Agricultura de Conservación AC
(datos convertidos a ln)

Procedimiento MEANS

Variable	N	Media	Dev std	Mínimo	Máximo
LnYcebC	13	8.7846154	0.1244063	8.5600000	9.0400000

Variable	N	Media	Dev std	Mínimo	Máximo
LnKcebC	13	9.7546154	0.1928996	9.4500000	10.0700000
t	13	7.0000000	3.8944405	1.0000000	13.0000000