



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

**POSTGRADO EN SOCIOECONOMÍA, ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA
ECONOMÍA**

FACTORES DETERMINANTES DE LA ADOPCIÓN DE SISTEMAS DE RIEGO EFICIENTES EN LA COMARCA LAGUNERA

MIRIAM TORRES MORENO

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

DOCTORA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2021

La presente tesis titulada: “**Factores determinantes de la adopción de sistemas de riego eficientes en la Comarca Lagunera**”, realizada por la alumna: **Miriam Torres Moreno**, 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

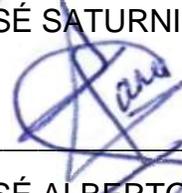
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



Dr. JOSÉ SATURNINO MORA FLORES

ASESOR



Dr. JOSÉ ALBERTO GARCÍA SALAZAR

ASESOR



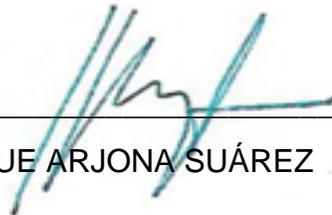
Dr. JUAN ENRIQUE RUBIÑOS PANTA

ASESOR



Dr. OSCAR ANTONIO ARANA CORONADO

ASESOR



Dr. ENRIQUE ARJONA SUÁREZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Junio del 2021

FACTORES DETERMINANTES DE LA ADOPCIÓN DE SISTEMAS DE RIEGO EFICIENTES EN LA COMARCA LAGUNERA

Miriam Torres Moreno, D.C

Colegio de Postgraduados, 2021

RESUMEN

En la actualidad los recursos hídricos en la agricultura se encuentran más presionados en términos de cantidad y calidad, debido al incremento de la demanda así como de las prácticas de riego inadecuadas. El sector agrícola, emplea la mayor parte del recurso disponible, por lo que se ha propuesto el uso de sistemas de riego tecnificado como una de las herramientas para incrementar la eficiencia, sin embargo, su adopción en México aún es baja. El objetivo de esta investigación fue determinar los factores que afectan la adopción del riego tecnificado entre los agricultores de la Comarca Lagunera. Así como determinar si un fuerte incremento en el precio del agua (rodada) de riego fomentaría la tecnificación del riego. Los datos se recopilaron mediante encuesta aplicada a 139 agricultores. El análisis estadístico se realizó en SAS 9.4. Los resultados indican una relación significativa entre la probabilidad de adopción y los siguientes factores: nivel educativo, conocimiento de programas gubernamentales, asistencia técnica y rendimiento. Se determinó que un fuerte incremento en el precio del agua induciría a 12.23% de los agricultores a adoptar sistema de riego, 30.2% cambiaría de cultivos, 50% no implementarían cambios en sus prácticas de manejo y 6.5% se sentirían alentados a perforar un pozo clandestino. Por lo tanto, se concluye que aumentar el precio del agua a una tasa alta no incrementa de forma significativa la adopción de tecnología de riego por lo que se requeriría de la implementación de políticas complementarias al incremento del precio. Asimismo, para aumentar la adopción de esta tecnología en la región se sugiere incrementar la promoción de los apoyos gubernamentales, así como la asistencia técnica y educación sobre los beneficios de adoptar esta tecnología.

Palabras clave: logístico, multinomial, efectos marginales, sistemas de riego

DETERMINANT FACTORS OF THE ADOPTION OF EFFICIENT IRRIGATION SYSTEM IN THE COMARCA LAGUNERA

Miriam Torres Moreno, D.C

Colegio de Postgraduados, 2021

ABSTRACT

At present, water resources in agriculture are under more pressure in terms of quantity and quality, due to increased demand as well as inappropriate irrigation practices. The agricultural sector uses most of the available resource, which is why the use of modernized irrigation systems has been proposed as one of the tools to increase efficiency, however, its adoption in Mexico is still low. The objective of this research was to determine the factors that affect the adoption of modernized irrigation among farmers in the Lagunera Region. As well as determining if a strong increase in the price of irrigation water (rolled) would promote the modernization of irrigation. The data were collected by means of a survey applied to 139 farmers. Statistical analysis was performed in SAS 9.4. The results indicate a significant relationship between the probability of adoption and the following factors: educational level, knowledge of government programs, technical assistance and performance. It was determined that a strong increase in the price of water would induce 12.23% of farmers to adopt an irrigation system, 30.2% would change crops, 50% would not implement changes in their management practices and 6.5% would feel encouraged to drill a well clandestine. Therefore, it is concluded that increasing the price of water at a high rate does not significantly increase the adoption of irrigation technology, which would require the implementation of policies complementary to the price increase. Likewise, to increase the adoption of this technology in the region, it is suggested to increase the promotion of government support, as well as technical assistance and education on the benefits of adopting this technology.

Key Words: logistic, multinomial, marginal effects, irrigation systems.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico brindado para la realización de mis estudios de postgrado.

Así como al Colegio de Postgraduados (COLPOS), por brindarme la oportunidad de estudiar y concluir el postgrado en Economía.

Al Dr. José Saturnino Mora Flores, por la confianza, por su orientación, y constante apoyo así como por sus comentarios para el desarrollo de este trabajo.

Agradezco a cada uno de los asesores, Dr. José Alberto García Salazar, Dr. Enrique Rubiños Panta, Dr. Oscar Arana Coronado, Dr. Enrique Arjona Suarez y Dr. José Miguel Omaña Silvestre, por el tiempo dedicado, por sus valiosos comentarios y aportaciones durante el proceso de investigación.

Agradezco a la Ing. Claudia Méndez Villareal y a la Ing. María Rosenda Ramos Pérez, por su todo el apoyo y acompañamiento brindado durante el levantamiento de las encuestas en la Comarca Lagunera.

A todos los profesores del Postgrado de Socioeconomía, Estadística e Informática, quienes contribuyeron a mi formación profesional.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT.....	iv
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE CUADROS	x
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 Objetivos generales.....	4
1.2.2 Objetivos específicos.....	5
1.3 Hipótesis.....	5
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
2.1 La tecnificación del riego en la Comarca Lagunera.....	6
2.2.1 Innovaciones en el uso del agua en la Comarca Lagunera.....	8
2.2 Innovación tecnológica	11
2.3 Adopción de las innovaciones	11
2.3.1 Concepto de adopción.....	11
2.3.2 Etapas del proceso de adopción	13
2.4 Factores que determinan la tecnificación del riego.....	15
2.5 Factores sociales.....	16
2.5.1 Edad.....	16
2.5.2 Género	16
2.5.3 Educación.....	16
2.5.4 Grado de asociación.....	17
2.5.5 Experiencia.....	17
2.5.6 Tenencia de la tierra.....	18
2.6 Factores económicos.....	19
2.6.1 Ingresos.....	19
2.6.2 Disponibilidad de crédito	19
2.6.3 Tamaño de parcela	20

2.6.4	Ocupación principal	20
2.6.5	Cultivo	20
2.6.7	Precio del agua	21
2.6.8	Costo de la tecnología.....	22
2.7	Factores climáticos	22
2.7.1	Precipitación.....	22
2.7.2	Temperatura.....	23
2.8	Factores institucionales	23
2.8.1	Participación gubernamental	23
2.8.2	Acceso a la información	24
2.8.3	Acceso a servicios de extensión agrícola.....	24
III.	MARCO TEÓRICO	27
3.1	Modelos de elección discreta a nivel individual	28
3.2	Modelos agregados que describen el proceso de adopción	29
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS	33
4.1	Localización del área de estudio	33
4.2	Instrumentos metodológicos	34
4.3	Tamaño de muestra.....	34
4.4	Modelo logístico de elección binaria	35
4.4.1	Prueba de bondad de ajuste	39
4.5	Modelo logístico multinomial.....	39
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45
5.1	Generalidades de los productores entrevistados.....	45
5.2	Estimación y prueba de bondad de ajuste	46
5.2.1	Resultados del modelo logístico	47
5.2.2	Escenarios.....	56
5.3	Resultados del modelo multinomial	57
5.3.1	Estimación y prueba de bondad de ajuste.....	57
5.3.2	Respuesta de los agricultores al aumento del precio del agua	58
5.3.2	Factores que influyen en la respuesta de los agricultores.....	60

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
6.1 Conclusiones	66
6.2 Recomendaciones	68
VII. LITERATURA CITADA	69
ANEXOS	82
ANEXO I. Formato de entrevista	83
ANEXO II. Programa y salida modelo logit.....	86
ANEXO III. Programa y salida modelo logístico multinomial	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Superficie cosechada de cultivos forrajeros y otros cultivos en la Comarca Lagunera, durante el periodo de 2005 a 2019.....	6
Figura 2. Etapas del proceso de adopción tecnológica	14
Figura 3. Factores que determinan la adopción del riego tecnificado	15
Figura 4. Localización geográfica de la Comarca Lagunera	33
Figura 5. Probabilidades predichas por el modelo logit para nivel educativo	53
Figura 6. Probabilidades predichas por el modelo logit para rendimiento	55
Figura 7. Respuesta de los agricultores ante un incremento en el precio del agua de riego	59

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Rango de productividad física de los cultivos de la Comarca Lagunera	9
Cuadro 2 Variables analizadas en el modelo logístico (logit)	38
Cuadro 3. Opciones que tiene un productor ante un incremento del 100% en la cuota de agua	40
Cuadro 4. Descripción de las variables analizadas en el modelo multinomial	44
Cuadro 5. Estadística descriptiva de las variables continuas incluidas en el estudio	45
Cuadro 6. Pruebas de bondad de ajuste del modelo logit	47
Cuadro 7. Estimaciones de los parámetros del modelo logit	48
Cuadro 8. Efecto marginal estimado para cada variable explicativa	51
Cuadro 9. Cambio en la variable dependiente "Y", ante un incremento del 10% en "x"	56
Cuadro 10. Pruebas de bondad de ajuste del modelo logit	57
Cuadro 11. Resultados del análisis de regresión logística multinomial	61

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los recursos hídricos están más presionados en términos de cantidad y calidad, debido a las crecientes demandas y la mala gestión. Esta presión se agudiza debido al crecimiento de la población, al aumento del área irrigada, así como a prácticas de riego inadecuadas (Aydogdu & Bilgic, 2016). Se espera que la población mundial sea de poco más de 9 mil millones de personas para el 2050, lo que se traducirá en una mayor demanda de alimentos. De acuerdo con Rosegrant et al., (2009), se espera que el consumo de agua incremente 0.7% anualmente para lograr alimentar a toda esa población.

La agricultura es el principal usuario del agua, al consumir el 70% del agua disponible a nivel mundial (Rosegrant et al., 2009). En México el sector agrícola utiliza aproximadamente el 76% del recurso (CONAGUA, 2014), y en la Comarca Lagunera aproximadamente el 86.4% del agua se emplea en la agricultura y 2.8% en la actividad pecuaria (Montemayor et al., 2010).

El sector agrícola no solo emplea la mayor parte del agua disponible, aunado a ello las pérdidas de agua durante el riego son muy altas, sobre todo en el proceso de extracción: aproximadamente 35% se desperdicia por evaporación o por fallas en la conducción (Becerra et al., 2006). La eficiencia promedio a nivel nacional es de 46%, mientras que en la Comarca Lagunera se tiene una eficiencia promedio de 37%, debido a las pérdidas en la red de conducción y distribución del agua, así como a la baja eficiencia de aplicación del riego a nivel parcelario. Ante este problema, el gobierno busca la forma de hacer un uso más eficiente del agua a través de la tecnificación del riego (García et al., 2006).

La gestión sostenible de los recursos hídricos se puede lograr mediante diferentes estrategias: reducción de la demanda, aumento de la disponibilidad o mayor eficiencia de uso. Aun cuando las tres opciones contribuyen con el objetivo, mejorar la eficiencia del agua es socialmente menos problemática y se considera como una

de las opciones recomendadas para lograr la gestión sostenible del agua (Skaggs, 2001).

Algunos estudios han demostrado que los sistemas de riego tecnificado además de promover el ahorro de agua, incrementan los rendimientos obtenidos en comparación con el riego rodado. i.e, en el cultivo de maíz en la Comarca Lagunera se obtuvieron 20.19 toneladas por hectárea (ton/ha) en riego tecnificado vs 8.08 ton/ha en riego por goteo (Montemayor et al., 2007). Asimismo, algunos experimentos en alfalfa han determinado rendimientos de 24.08 ton/ha en riego por aspersión vs 18.46 ton/ha en riego rodado, lo que sugiere un aumento en rendimiento del 30%, con un menor uso de agua, ya que de acuerdo con ese mismo estudio la productividad del agua en el caso del alfalfa fue 2.04 kg/m³ contra 1.33 kg/m³.

En términos económicos, el productor adopta tecnologías de conservación de recursos naturales en la medida en que su rentabilidad esperada es aceptable (De Graaff et al., 2008). Los productores adoptan una tecnología cuando creen que una práctica los ayuda a conseguir sus metas, las cuales pueden ser económicas, sociales y ambientales (Greiner et al., 2009). Aunque los costos iniciales para adquirir sistemas de riego tecnificados son altos, se requieren menos insumos para la producción y menos mano de obra. Un estudio basado en los costos de la producción en maíz, indicó que el sistema presurizado produce un 22% más ganancias por hectárea (Kaltu & Gunes, 2010). No obstante, existen factores socioeconómicos, culturales y ambientales, que condicionan la adopción, por lo que el análisis difiere según el país o región y el tipo de tecnología que se emplee.

1.1 Planteamiento del problema

México se ubica geográficamente en la franja de los grandes desiertos del mundo, al igual que Argelia, Libia, Egipto y Arabia Saudita. Debido a la ubicación geográfica del país, las sequías son recurrentes sobre todo en la parte norte del país, donde la producción agrícola está sujeta a la disponibilidad de agua (Arreguin-Cortez et al., 2019). A nivel nacional se cuenta con una precipitación pluvial media anual de 772 mm. Sin embargo, las precipitaciones no se distribuyen homogéneamente en el

territorio nacional; existen amplias regiones con precipitaciones inferiores a 200 mm en el noroeste y zonas con 3,000 mm en el sureste (Palacios-Vélez & Escobar-Villagrán, 2016).

En La Laguna, la escasez de agua siempre ha sido uno de los principales problemas del desarrollo económico. La precipitación anual promedio es de aproximadamente 258 mm (García 1973). El período de lluvia comprende de mayo a septiembre donde ocurre 70% de la precipitación. De acuerdo con cifras del SIAP (2019), 89% de la superficie requiere del riego, lo que representa aproximadamente 140,000 hectáreas.

En estas condiciones, los métodos de riego tradicionales con eficiencia de 37% a nivel parcelario han interrumpido el equilibrio entre la extracción y la recarga del acuífero. De acuerdo con la CONAGUA (2015), en La Laguna, la extracción anual es del orden de 1,221.8 millones de metros cúbicos (Mm^3), mientras la recarga media es de 518.9 Mm^3 , lo que implica un abatimiento del acuífero de 1.25 m por año. Teniendo en cuenta que el sector agrícola depende más del recurso y que es el más vulnerable ante la escasez, es inevitable utilizar los recursos hídricos de forma eficiente (Feizabadi & Gorji, 2018). En este sentido, se ha propuesto la tecnificación del riego como herramienta para incrementar la eficiencia (Wang et al., 2019), así como el uso de instrumentos económicos, especialmente el precio del agua, como estrategia para condicionar la demanda de agua (Ohab-Yazdi et al., 2015).

Los gobiernos de distintos países buscan resaltar la importancia de reducir el consumo de agua en la agricultura y motivar a los agricultores a mejorar sus técnicas de riego utilizando sistemas de riego tecnificados (Pino et al., 2017). Sin embargo, en muchos países, incluyendo México, la tasa de adopción de este tipo de tecnologías sigue siendo baja (Alcon et al., 2011). De acuerdo con las cifras del AQUASTAT (2021), para el año 2017 en México el sistema predominante de riego es el tradicional o rodado el cual se emplea en 91.7% de la superficie de riego, el

riego por aspersión se emplea en el 5.7% de la superficie agrícola de riego, mientras que el riego por goteo o focalizado cubre el 2.6% de la superficie.

El gobierno de México, a través del Programa Nacional Hídrico (PNH) para el periodo 2019-2024 estableció como objetivos “promover el uso eficiente del agua para aumentar la productividad en el campo...”, estableciendo dentro de las estrategias a implementar “mejorar la eficiencia en el uso del agua”, al respecto, la FAO-AQUASTAT, (2009), indicó que en México el riego rodado o por inundación es la técnica que predomina en 93% de la superficie irrigada y, solo 7% emplea el riego por aspersión o focalizado.

Considerando la panorámica anterior, la pregunta relevante es cómo lograr la sensibilidad de los agricultores al ahorro del recurso y cómo motivarlos a adoptar sistemas de riego eficientes. Por ello, se hace necesario investigar los factores que pueden tener mayor impacto en las intenciones de adopción de estas tecnologías, que permitirán el desarrollo de políticas más efectivas de ahorro de agua. A pesar de que existe literatura internacional abundante que analiza cuantitativamente los determinantes de la adopción de la tecnología moderna de riego en el mundo (Nejadrezaei et al., 2018; Dung et al., 2018; Pokhrel et al., 2018; Huang et al., 2017; Chuchird et al., 2017; Tang et al., 2016; Afrakhteh 2015; Olen, et al., 2015; Cremades et al., 2015; Kiruthika, 2014), no existen estudios previos en La Laguna.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos generales

Determinar los factores que inciden en la adopción de tecnologías de riego eficientes en la Comarca Lagunera.

Determinar si un fuerte incremento en el precio del agua de riego fomentaría la tecnificación del riego

1.2.2 Objetivos específicos

Identificar los efectos de los factores género, edad, educación, número de dependientes económicos, agricultura como actividad principal, experiencia, ingreso, grado de asociación, asistencia técnica, superficie en producción, cultivo, ingreso neto por m³, conocimiento de programas gubernamentales sobre la adopción de riego tecnificado en la Comarca Lagunera.

1.3 Hipótesis

El tamaño de la unidad productiva, el nivel de educación y la asistencia técnica, influyen positivamente en la adopción de tecnología.

La adopción se ve influenciada negativamente por la duración de la experiencia agrícola, edad del agricultor y el no tener a la agricultura como actividad principal.

El conocimiento de los programas gubernamentales que fomentan la adopción de tecnologías de riego incrementa la probabilidad de adopción

El ingreso obtenido por metro cúbico así como el rendimiento de los cultivos influye positivamente sobre la adopción de tecnología.

Un fuerte incremento en el precio del agua de riego fomentará la adopción de tecnologías de riego eficientes en la Comarca Lagunera.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 La tecnificación del riego en la Comarca Lagunera

En la Comarca Lagunera el 86% del agua disponible se destina a actividades agropecuarias, fundamentalmente para la producción de forrajes (Montemayor et al., 2010), empleados para alimentar a la mayor cuenca lechera de México, en la cual se tiene un promedio de 428,000 cabezas de ganado bovino, las cuales representan el 20 % del hato nacional (SAGARPA, 2011). Durante los últimos años el patrón agrícola de la región se ha caracterizado por el incremento en la superficie forrajera y la disminución de la superficie dedicada a otros cultivos. De acuerdo con las cifras del SIAP (2019) durante el periodo 2005-2019 la superficie establecida con forrajes paso de 76,065 hectáreas (has) lo que representó el 58% del total de la superficie de riego a 115,432 has, las cuales representaron el 79% de la superficie total (Figura, 1).

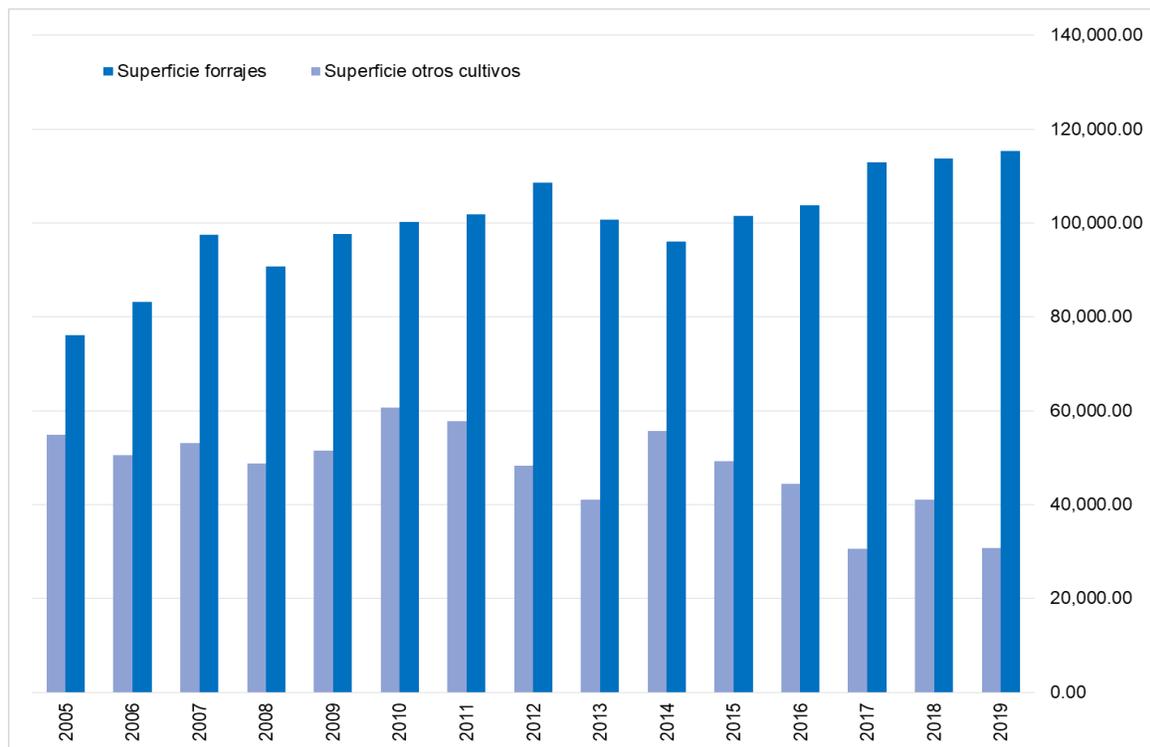


Figura 1. Superficie cosechada de cultivos forrajeros y otros cultivos en la Comarca Lagunera, durante el periodo de 2005 a 2019.

Fuente: Elaboración con cifras del SIAP (2019).

Conforme la superficie forrajera ha ido incrementándose las extracciones para riego por bombeo también han aumentado, Cruz & Levine (1998) en el periodo 1992-1995 indican que la extracción fue de 918.5 Mm³, mientras que en el período 2001-2003 fue de 1.013,4 Mm³ (García et al., 2006). Más recientemente la CONAGUA (2015) indico que la extracción anual es del orden de 1,221.8 Mm³ mientras la recarga anual para este último periodo fue 518.9 Mm³, lo que coloca al acuífero principal de la región en estatus de sobreexplotado.

En la Comarca lagunera el problema no solo es el aumento en las extracciones, de acuerdo con Godínez-Montoya et al, (2007), los cultivos forrajeros presentan una baja eficiencia en el uso del agua, particularmente el cultivo de alfalfa es uno de los más ineficientes ya que el volumen de agua aplicado al cultivo es de 2.9 m aun cuando los requerimientos son de 1.8m para el ciclo anual de producción.

El aprovechamiento del agua en esta región es deficiente, debido principalmente a que la aplicación del riego se realiza de acuerdo al criterio que el agricultor ha adquirido como experiencia (Flores-Gallardo et al., 2014), así como a la falta de conocimiento por parte de los agricultores de las nuevas tecnologías de riego, ya que no tienen una percepción clara de la problemática que representa la escasez de agua, lo que explica la ausencia de una cultura de ahorro y uso ineficiente (Fortis et al., 2002).

Tradicionalmente el riego en la región se realiza mediante métodos de riego tradicional o rodado, el cual se realiza en el 75% de la superficie agrícola y 25% de la superficie cuenta con sistemas de riego por aspersión y riego por goteo o focalizado (SAGARPA 2017; Canedo 2013), por lo que, es importante resaltar la importancia de reducir el consumo de agua en la agricultura y motivar a los agricultores a mejorar las técnicas de riego utilizando sistemas de riego tecnificados (Pino et al., 2017), como herramienta para incrementar la eficiencia (Wang et al., 2019).

De acuerdo con López & Crispin (2010), si se generalizara la utilización de las innovaciones tecnológicas, particularmente la tecnificación del riego, la fertirrigación

y otras técnicas probadas experimentalmente en la Comarca Lagunera podría disminuir hasta en 30% el volumen de agua que actualmente utiliza la agricultura.

2.2.1 Innovaciones en el uso del agua en la Comarca Lagunera

Muchos investigadores han propuesto la necesidad de evaluar y adoptar innovaciones tecnológicas, particularmente nuevas tecnologías de riego en la Comarca Lagunera con el objetivo de aplicar una menor cantidad de agua al cultivo, sin afectar el rendimiento, es decir; incrementar la productividad del agua (WP por sus siglas en inglés), el cual ha sido el argumento central de muchos autores para evitar las crisis del agua en el mundo (Kijne, Barker, & Molden, 2003; Molden 2007; Rosegrant, Cai, & Cline, 2002).

La productividad del agua es definida también como el producto que se obtiene por unidad de agua consumida en la producción, donde el producto puede ser medido como: biomasa, grano, leche, carne, ingreso, y empleo (Kijne, Barker, & Molden, 2003). En el cuadro 1 se resumen los resultados obtenidos en productividad del agua a través de la utilización de sistemas de riego tecnificados en la Comarca Lagunera.

Montemayor-Trejo (2012), evaluaron la producción de maíz forrajero producido bajo tres sistemas de riego: goteo sub superficial, pivote central y riego rodado. Sus resultados indican que la productividad del agua en riego por goteo sub superficial fue de 4.07 kg m^{-3} , lo cual fue 57% mayor al comparar con pivote central y 42% mayor con respecto a gravedad (Cuadro 1).

Asimismo, Godoy-Ávila et al., (2003), compararon el sistema de riego por goteo sub superficial, con respecto al riego rodado para determinar la productividad en alfalfa, encontrando que en riego por goteo sub superficial se obtuvieron en promedio 2.17 kg m^{-3} , mientras en riego rodado se produjeron 1.03 kg m^{-3} , indicando las ventajas del riego por goteo.

Montemayor-Trejo et al., (2012), analizaron la eficiencia en el uso del agua con el sistema de riego por goteo sub superficial y rodado en el cultivo de alfalfa, determinando que el rendimiento bajo riego por goteo fue 43.5 % mayor en comparación al de gravedad. La productividad del agua obtenida fue de 2.3 kg m⁻³ contra 1.33 kg m⁻³ respectivamente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Rango de productividad física de los cultivos de la Comarca Lagunera

Cultivo	Sistema de riego	Productividad	Fuente
Maíz forrajero	Goteo sub-superficial	4.04 kg m ⁻³	Montemayor-Trejo et al., (2012)
Maíz forrajero	Pivote central	2.35 kg m ⁻³	Montemayor-Trejo et al., (2012)
Maíz forrajero	Gravedad	1.74 kg m ⁻³	Montemayor-Trejo et al., (2012)
Alfalfa	Goteo sub-superficial	2.17 kg m ⁻³	Godoy-Ávila et al., (2003)
Alfalfa	Superficial	1.03 kg m ⁻³	Godoy-Ávila et al., (2003)
Alfalfa	Goteo sub-superficial	2.3 kg m ⁻³	Montemayor-Trejo et al., (2010)
Alfalfa	Superficial	1.33 kg m ⁻³	Montemayor-Trejo et al., (2010)
Sandía	Goteo con acolchado	7.82 kg m ⁻³	Pérez-González et al., (2003)
Sandía	Goteo sin acolchado	4.73 kg m ⁻³	Pérez-González et al., (2003)
Chile verde	Goteo sub-superficial	4.85 kg m ⁻³	Ramírez et al., (2014)
Chile verde	Superficial	4.43 kg m ⁻³	Ramírez et al., (2014)
Algodón	Goteo sub-superficial -var NuCOTN	1.23 kg m ⁻³	Sánchez et al., (2007)
Algodón	Goteo sub-superficial -var Delta	0.66 kg m ⁻³	Sánchez et al., (2007)
Nogal	Goteo sub-superficial	4.63 grs m ⁻³	Godoy-Ávila et al., (2005)
Nogal	Superficial	3.18 grs m ⁻³	Godoy-Ávila et al., (2005)

Fuente: Elaboración propia con base en resultados publicados por las fuentes señaladas.

En la Comarca Lagunera no solo se han realizado investigaciones sobre la productividad del agua en forrajes, también se han realizado investigaciones en cultivos hortícolas. Pérez-González (2003), al analizar la respuesta del rendimiento bajo acolchado plástico en riego por goteo determinaron que en promedio la productividad del agua con acolchado fue de 7.82 kg m⁻³, mientras que la productividad sin acolchado fue de 4.73 kg m⁻³, indicando que además del sistema

de riego se pueden emplear otras tecnologías para incrementar la productividad del agua (Cuadro, 1).

Godoy et al (2005), analizaron el efecto del riego por goteo sub superficial en el cultivo de nogal pecanero, aunque no reportan directamente la productividad, señalan la producción obtenida así como la lámina de riego aplicada al cultivo. De acuerdo con las cifras se calcula que la productividad del agua bajo riego por goteo sub superficial fue 4.63 grs m^{-3} , mientras en rodado se obtuvieron 3.18 grs m^{-3} , lo que implica que el riego por goteo sub superficial fue 45% más productivo en relación al riego por inundación.

En cultivo de algodón también se han logrado avances en cuanto a la tecnificación y los beneficios que se obtienen sobre el rendimiento y el ahorro de agua con la utilización de diferentes variedades bajo riego por goteo. De acuerdo con Sánchez et al., (2007), determinaron que la variedad transgénica de ciclo intermedio NuCOTN mostró ser más eficiente al obtener un índice de 1.23 kg m^{-3} de agua consumida durante el ciclo del cultivo, mientras que la variedad Delta Pine 5690 obtuvo 0.66 kg m^{-3} de agua consumida, indicando un efecto de la variedad y sistema de riego sobre la productividad del agua.

Ramírez et al., (2014), evaluaron distintas variedades de chile verde bajo distintos sistemas de riego en la Comarca Lagunera. Este estudio reporta que la productividad de las variedades Camino Real, Montero y Arista fueron 4.85 kg m^{-3} , 3.89 kg m^{-3} , y 5.16 kg m^{-3} , respectivamente. En ese mismo estudio se indica que la productividad obtenida bajo riego superficial fue de 4.43 kg m^{-3} .

La adopción de innovaciones tecnológicas de riego que aumenten la eficiencia del uso del agua y reduzcan los requerimientos de insumos, manteniendo los niveles de producción, podrían ser la clave para mejorar el uso de los escasos recursos hídricos (Cason, & Uhlaner, 1991).

2.2 Innovación tecnológica

En economía, la innovación ha sido definida como “cambio histórico e irreversible en el proceso de producción” (Schumpeter, 1939). Esto supone la alteración en la combinación de los factores de producción y la modificación del sistema productivo, generando un nuevo proceso y una nueva función de producción. Por lo tanto, la innovación se define como el establecimiento de una nueva función de producción, que se conseguirá con la fabricación de nuevos bienes ó con la introducción de un nuevo método de producción.

La innovación, también llamada “cambio técnico” y desde la perspectiva del consumidor es la ofrecida por Rogers (2010), para quien una innovación es una idea, proceso u objeto percibido como nuevo por un individuo. Un cambio tecnológico hace referencia al acto de producir nuevo conocimiento, mientras que el cambio técnico sería la incorporación de este nuevo conocimiento al proceso de producción de las empresas. De acuerdo con Robertson (1967), las innovaciones de empresa o tecnológicas, en agricultura se pueden agrupar en mecánicas (maquinaria, sistemas de riego, etc.) y biológicas (nuevos cultivos, nuevas variedades, productos fitosanitarios, etc.).

2.3 Adopción de las innovaciones

En la literatura los términos adopción y difusión de innovaciones son frecuentemente utilizados de forma indistinta, y aunque son muy similares, la adopción hace referencia a un proceso de decisión individual sobre la aceptación de una innovación, mientras que la difusión se refiere al proceso de aceptación de esa innovación por un conjunto de individuos en el tiempo.

2.3.1 Concepto de adopción

Adopción es un proceso basado en una secuencia de decisiones que los individuos toman para decidir si adoptan o rechazan una innovación (Robertson & Kassarijan,

1991). Esta decisión supondrá la aceptación de una innovación por los potenciales adoptantes de la innovación.

Para Rogers (2010), la adopción es un proceso mental por el que pasa un individuo desde que tiene conocimiento por primera vez de la existencia de una innovación hasta que toma la decisión final de adoptar. En la misma línea, Lindner (1987), señala que el término adopción indica el proceso mediante el cual debe pasar un productor individual para decidir si usa o no una nueva técnica de producción.

Desde el punto de vista de las tecnologías agrarias, Sidibé (2005) definen la adopción como la extensión en la cual una nueva tecnología es utilizada de forma equilibrada con otras actividades, en un largo periodo de tiempo y suponiendo que los agricultores tienen información completa sobre la tecnología y su potencial. De acuerdo con Feder & Umali, (1993), la adopción de tecnología puede ser vista desde dos perspectivas o niveles;

- Nivel micro: cada individuo debe decidir si adopta o no una innovación y la intensidad de su uso, existiendo una serie de factores intrínsecos y externos que afectan a la decisión, pudiendo ésta ser vista desde una perspectiva estática o dinámica.
- Nivel macro: el patrón de adopción de todos los individuos de la población objetivo de estudio es examinado en el tiempo para identificar la tendencia específica dentro del ciclo de difusión, partiendo de un momento en el tiempo donde la innovación está ya en uso.

Esta clasificación establecida por Feder & Umali (1993) resulta ser muy esclarecedora ya que diferencia entre los conceptos de adopción y difusión, enlaza con los términos expuestos, es decir, la adopción se identificará con el nivel micro mientras que la difusión lo hará con el nivel macro.

Aparentemente, los términos adopción y difusión serían sinónimos, pero existe una distorsión causada por el periodo de adopción, o tiempo que transcurre desde que un individuo conoce la innovación hasta que la adopta. Por ello, la difusión puede

ser interpretada como la adopción agregada, estando ligada al tiempo, mientras que la adopción está relacionada al comportamiento adoptante de un individuo (Sunding & Zilberman, 2001).

De acuerdo con Lindner (1987), la adopción es un proceso simple, que implica dos componentes universales: una elección con riesgo y la adquisición de conocimiento. La elección de adoptar es arriesgada porque existe incertidumbre en torno a la innovación que se irá reduciendo con la adquisición de conocimiento. Por lo tanto, la decisión dependerá del conocimiento de los distintos parámetros, y estará envuelta en un proceso de aprendizaje dinámico de los adoptantes (Alcon et al., 2009).

2.3.2 Etapas del proceso de adopción

Como anteriormente se señaló, el proceso de adopción de una innovación hace referencia al conjunto de etapas por las que pasa un potencial adoptante desde que tiene conocimiento de la existencia de la innovación hasta que toma la decisión de adoptarla o rechazarla. Este proceso consiste en una serie de elecciones y acciones en el tiempo a través de las cuales el individuo evaluará una nueva idea y decidirá si incorporar la innovación a sus prácticas habituales (Rogers, 2010).

Claramente, una tecnología que se está adoptando tiene una ventaja sobre las prácticas convencionales. Por lo general, una innovación tecnológica abarca al menos algún grado de beneficio para sus potenciales adoptantes (Rogers, 2010). En este estudio, una tecnología, en lo que respecta a la tecnificación del riego, es un conjunto de prácticas integradas que tiene como objetivo disminuir el consumo de agua, mejorar la eficiencia en el uso de agua y fertilizantes, y obtener mayores rendimientos en comparación a los medios convencionales.

Varias etapas preceden a la adopción. Rogers (2010), conceptualiza cinco pasos principales en el proceso de adopción; i) Conocimiento, ii) Persuasión, iii) Decisión, iv) Implementación y v) Confirmación (Figura, 2).



Figura 2. Etapas del proceso de adopción tecnológica.

Fuente: Adaptado de Rogers (2010).

El conocimiento se produce cuando un individuo se entera de la existencia de la innovación y obtiene cierta comprensión acerca de su funcionamiento. La persuasión ocurre cuando el individuo forma una actitud favorable o desfavorable hacia la innovación. La decisión ocurre cuando el individuo se involucra en actividades que conducen a la elección de adoptar o rechazar la innovación. La implementación ocurre cuando se pone en uso la innovación. Es especialmente probable que la reinversión ocurra en la etapa de implementación. La confirmación ocurre cuando el individuo busca el refuerzo de una decisión de innovación que ya se ha tomado, pero el individuo puede revertir esta decisión previa si se expone a mensajes contradictorios sobre la innovación (Rogers, 2010).

El análisis de Lionberger (1960), también señala que estas etapas ocurren como una secuencia continua de eventos, acciones e influencias que intervienen entre el conocimiento inicial sobre una idea, producto o práctica, y la adopción real de la misma. Sin embargo, no todas las decisiones implican una secuencia clara. De hecho, la literatura más reciente sugiere que estas etapas pueden ocurrir simultáneamente y algunas pueden ocurrir o no en los procesos de decisión de adopción.

Según Cameron (1999), el proceso dinámico de adopción implica aprender sobre una tecnología a lo largo del tiempo. De hecho, muchas innovaciones requieren de un periodo de tiempo prolongado desde el momento en que están disponibles hasta el momento en que son ampliamente adoptadas por los usuarios (Rogers, 2010). El tiempo medio entre la información inicial y la adopción final varía considerablemente según se trate de la persona, el lugar y la práctica, por lo que resulta importante determinar qué factores influyen en la decisión de adoptar una nueva tecnología.

2.4 Factores que determinan la tecnificación del riego

A nivel mundial muchos investigadores han intentado realizar una clasificación de los factores que determinan la adopción de tecnologías. Rogers (2010), a partir de su teoría de la difusión, clasifico los factores determinantes en tres grupos: características socioeconómicas, personalidad y comportamiento comunicativo o social. Posteriormente, Feder et al., (1985), establecieron que la adopción de tecnología en la agricultura era determinada por el tamaño de la explotación, el riesgo y la incertidumbre, el capital humano, la disponibilidad de trabajo, las restricciones de crédito, la estructura de tenencia de la tierra así como las restricciones de la oferta tecnológica. Abadi Ghadim & Pannell (1999), propusieron clasificarlos en factores sociales, económicos y demográficos. Esta última clasificación es la más utilizada para analizar los factores que determinan la adopción de tecnología. En años recientes la adopción de tecnología ha sido estudiada por diferentes disciplinas, por lo que los factores considerados en los diferentes trabajos de investigación son muchos. Sin embargo, dada la importancia que tienen algunos de estos factores para la agricultura y la economía, serán estos campos en los que se centraran los factores que a continuación se detallaran teniendo un tratamiento especial aquellos trabajos referentes a la adopción de tecnologías de riego (Figura, 3).



Figura 3. Factores que determinan la adopción del riego tecnificado

Fuente: Elaboración propia con base en la revisión de literatura citada

2.5 Factores sociales

2.5.1 Edad

El capital humano ha sido intensamente analizado en los estudios de adopción, mostrándose su efecto significativo en la mayoría de ellos, aunque no siempre ha quedado claro su sentido. Variables como la edad han respondido tanto positiva (Pokhrel et al., 2018) como negativamente (Nejadrezaei et al., 2018) a la variable adopción, y aunque en un principio se pensaba que los agricultores más jóvenes presentaban una mayor atracción por las nuevas tecnologías, los numerosos trabajos analizados demuestran que la influencia no siempre es positiva (Afrakhteh et al., 2015; Chuchird et al., 2017; Nonvide et al., 2017; Salazar & Rand, 2016).

2.5.2 Género

La relación del género en la producción agrícola y la adopción de tecnología se han investigado durante mucho tiempo. La mayoría de los estudios muestra evidencia mixta con respecto a los diferentes roles que juegan hombres y mujeres en la adopción de tecnología. Doss & Morris (2000), en su estudio sobre los factores que influyen en la adopción de la tecnología mejorada del maíz en Ghana, así como Overfield & Fleming (2001), que estudian la producción de café en Nueva Guinea muestran efectos poco significativos del género en la adopción. Mientras Obisesan (2014), en su estudio sobre la adopción de tecnología encontró que el género masculino tenía una influencia significativa y positiva en la adopción de una producción mejorada de yuca. Su resultado coincide con el de Lavison (2013), quien indicó que los agricultores varones tenían más probabilidades de adoptar innovaciones en comparación a las mujeres en Ghana.

2.5.3 Educación

La educación del agricultor que toma las decisiones en la explotación, se ha relacionado con la adopción de innovaciones. De acuerdo con Vatta et al., (2018), los individuos que presentan mayor nivel de estudios suelen adoptar con mayor

rapidez. Una gran número de trabajos han encontrado una influencia significativa del nivel educativo (Cremades et al., 2015). Aunque algunos autores como Marsh et al., (2006), demostraron que en cuanto a tecnologías complejas se refiere, los individuos con alto nivel de educación retrasan la adopción debido al reconocimiento de las limitaciones que puede tener la tecnología, mientras Pannell et al., (2011), argumentan que más que el nivel educativo lo importante es la participación en cursos de formación relevantes.

2.5.4 Grado de asociación

El grado de asociación también ha sido objeto de estudio, Zhang et al., (2020), destacaron la importancia de las cooperativas en la adopción de tecnologías. Esto probablemente se deba a la naturaleza de las tecnologías en sí mismas, que necesitan distintos canales de difusión y exigen una mayor competencia organizativa. Al reunir a agricultores individuales, las cooperativas presumiblemente estimulan los procesos de aprendizaje colectivo, tal como demostraron Dinar & Yaron (1990), en tecnologías de riego. Por lo que se ha sugerido que la pertenencia a asociaciones pertinentes mejora las técnicas de conservación del agua, ya que proporciona varios servicios que contribuyen a la actividad empresarial y la educación de los agricultores (Sidibé, 2005).

2.5.5 Experiencia

La antigüedad, o experiencia como agricultor es otra variable que se ha considerado un factor determinante. Sin embargo, aún no queda claro si la experiencia agrícola favorece o desalienta la adopción de tecnología agrícola (Knowler & Bradshaw, 2007). Inicialmente se creía que los agricultores más expertos poseían más habilidades y más capacidad para percibir si una innovación es buena y adoptarla; sin embargo, muchos de ellos se muestran reacios a todo aquello que es ajeno al sistema de producción que ellos conocen. Por ello, la experiencia puede tener tanto influencia positiva como negativa sobre la adopción. Owusu et al., (2013) determinaron que la variable de experiencia sugiere una disminución del 9% en la

probabilidad de adoptar tecnología de riego a medida que aumenta el número de años en la agricultura.

Por el contrario Ainembabazi & Mugisha (2014), encontraron evidencia de que la relación entre la adopción de tecnologías agrícolas y la experiencia en la adopción de tecnología toma la forma de una U invertida. Este hallazgo sugiere que la experiencia agrícola es muy útil en las primeras etapas de adopción de una tecnología determinada para algunos cultivos, cuando los agricultores aún están probando sus beneficios potenciales. Entonces, los agricultores pueden abandonar la tecnología si los beneficios son menores que los esfuerzos utilizados, especialmente si la tecnología requiere mano de obra y una expansión de la unidad de producción. Esto implica que, además de los avances graduales en las mejoras tecnológicas, la capacitación continua de los agricultores experimentados es esencial para que sigan actualizando sus experiencias agrícolas y aumenten la adopción de tecnologías agrícolas mejoradas.

2.5.6 Tenencia de la tierra

Algunas tecnologías no se pueden transportar, i.e, si el terreno donde se establece la innovación o tecnología no es propiedad del agricultor posiblemente éste no se decida a realizarlo. Por ello, la estructura de tenencia de la tierra en algunas tecnologías ha marcado la pauta del patrón de difusión. De acuerdo con el análisis de Schuck et al., (2005), la prevalencia de la tecnología de riego por aspersión se vio afectada de manera más significativa por la tenencia de la tierra. El modelo estimado reveló que una mayor proporción de tierra alquilada condujo a una menor proporción de riego por aspersión. Esta relación no debería sorprender, ya que el incentivo para invertir en bienes de capital se reduce si los beneficios se comparten. En estas circunstancias, se esperaría una menor tasa de adopción ante la decisión de invertir en tecnología de riego a largo plazo en situaciones de arrendamiento de tierras.

Arellanes & Lee (2003), estudiaron los factores que influyen sobre la utilización de labranza mínima, en ese trabajo se determinó que las parcelas propias tienen más

de cuatro veces más probabilidades de emplear técnicas de labranza mínima, muy probablemente porque la seguridad del acceso a la tierra es necesaria para inducir a los agricultores a realizar las inversiones en sus tierras.

2.6 Factores económicos

2.6.1 Ingresos

Negatu & Parikh (1999), determinaron que los ingresos de las explotaciones favorecieron la adopción de forma significativa, estos resultados concuerdan con Wheeler et al., (2010), quienes al analizar la adopción de tecnología en Alberta, Canadá encontraron que los ingresos agrícolas incrementan la probabilidad de adoptar algunas tecnologías. Namara et al., (2007), en un estudio sobre adopción de micro riego en la India, determinaron que a medida que incrementa el ingreso agrícola y no agrícola aumenta la probabilidad de adoptar tecnologías de microrriego, pero solo hasta cierto punto. Sin embargo, a niveles más altos de ingreso determinaron que es menos probable que los agricultores adopten tecnologías de microrriego, porque la agricultura pierde importancia debido a que no es la principal fuente de sustento.

2.6.2 Disponibilidad de crédito

Entre los factores económicos que afectan el proceso de adopción son el tamaño de la empresa y la disponibilidad de crédito. Por lo general, los agricultores con un tamaño de negocio más grande han sido más innovadores debido a su capacidad para asumir los costos de inversión y obtener crédito con mayor facilidad. En la medida en que los agricultores tienen acceso a fuentes de ingresos no agrícolas también puede influir en la adopción de tecnología: ya sea positivamente a través de una mayor seguridad de los ingresos o negativamente en términos de reducir la necesidad de mejorar los ingresos, especialmente si la tecnología implica mayores demandas de gestión (Alcon et al., 2011).

2.6.3 Tamaño de parcela

De acuerdo con Zhang et al., (2019), el tamaño de la parcela tiene un efecto positivo sobre la adopción de tecnología de riego. Los efectos marginales indicaron que una unidad (ha) de aumento en el tamaño de la unidad de producción aumentó la probabilidad de que los agricultores adopten tecnología de riego un 2%. Como señalaron Wang et al., (2015), los agricultores con granjas más grandes tienen más probabilidades de adoptar nuevas tecnologías agrícolas, en comparación con aquellos con granjas más pequeñas. La razón de esto podría ser que los agricultores con granjas más grandes tienen más probabilidades de tener un mejor capital financiero y humano y es más probable que se beneficien de las economías de escala.

2.6.4 Ocupación principal

La ocupación del jefe de hogar es otra variable que se piensa influye en la adopción de la agricultura de riego a pequeña escala. En términos de las subcategorías de la naturaleza del empleo, se encontró que el empleo formal tiene un impacto negativo significativo en la adopción de tecnología. Una explicación probable es que para los hogares con empleo formal, el tiempo será el principal factor limitante para concentrarse en las actividades agrícolas. Los jefes de hogar tenderán a centrarse más en su trabajo y, como resultado, la adopción de tecnología de riego se vuelve más difícil (Mango et al., 2018).

2.6.5 Cultivo

Pronti et al., (2020), determinaron que la variable tipo de cultivo, para aquellos productores que producen frutales y hortalizas, resultaron tener un efecto positivo y altamente significativo sobre la adopción de tecnologías de conservación y ahorro de agua en la agricultura en comparación con los que producían aceitunas, oleaginosas y producción mixta. Así mismo determinaron que los productores que se dedicaban a la producción de ganado especializado tienen menos propensión a adoptar este tipo de tecnologías.

2.6.7 Precio del agua

Si atendemos al precio del agua, como factor económico determinante de adopción de tecnologías de riego, se ha propuesto que al aumentar el precio del agua la adopción de tecnología ahorradora de agua será más rápida en comparación con las zonas donde los agricultores tienen que pagar menos por el agua (Dinar & Yaron, 1990). Esto ha sido corroborado con Alcon et al., (2011), quienes al analizar la adopción del riego por goteo en España determinaron que aumentos en el precio real del agua son los mayores incentivos para la adopción del riego por goteo.

En ese mismo sentido, se ha demostrado que los cambios en los precios de los insumos y productos afectarán la adopción de innovaciones agrícolas (Caswell, lichtenberg & Zilberman, 1990). En el caso de las tecnologías de riego, se ha encontrado que el precio del agua es particularmente relevante (Caswell, lichtenberg & Zilberman, 1990), con precios más altos que fomentan una adopción más temprana.

En muchas partes del mundo, el agua es un bien público y su disponibilidad depende de la política hídrica del país. Las variables de política más utilizadas en los estudios de tecnología de riego son el precio del agua y las asignaciones de agua a la finca. Dinar & Yaron (1990), demostraron que las asignaciones de agua más bajas y los precios más altos del agua promovieron la conversión de áreas de cítricos a tecnologías de riego modernas en Israel. El valor del agua ahorrada también puede proporcionar un incentivo para adoptar tecnologías, aunque los ahorros dependerán del sitio y las condiciones locales. Hayami et al., (1971), sugieren que la escasez de recursos naturales provoca un aumento de su precio sombra, promoviendo la aplicación de tecnologías de ahorro. Esta hipótesis sugiere que las nuevas tecnologías se extenderán a un ritmo que depende de la escasez y los precios relativos del recurso que ahorra.

2.6.8 Costo de la tecnología

La decisión de adoptar suele ser una decisión de inversión. Caswell et al., (2001), señalan que esta decisión presenta un cambio en las opciones de inversión de los agricultores. Por lo tanto, se puede esperar que la adopción dependa del costo de la tecnología y de si los agricultores poseen los recursos necesarios. Las tecnologías que son intensivas en capital solo son asequibles para los agricultores con mayores ingresos (El Oster & Morehart, 1999) y, por lo tanto, la adopción de tales tecnologías se limita (Khanna, 2001). Además, los cambios que cuestan poco se adoptan más rápidamente que los que requieren mayor inversión, por lo que tanto el alcance como la tasa de adopción pueden depender del costo de una tecnología.

En este sentido, Zhang et al., (2019), confirmaron que el costo de los equipos de riego en China disminuyen significativamente la probabilidad de adopción un 8.8%. Sin embargo, Mzoughi (2011) sugiere que la adopción de este tipo de tecnología reduce los costos de producción una vez que se utiliza la tecnología. Este resultado implica que es importante reducir el costo de la inversión inicial de un agricultor para que este tenga la posibilidad de adoptar tecnologías ahorradoras de agua, y así promover su uso en una región.

2.7 Factores climáticos

2.7.1 Precipitación

Algunos trabajos han buscado determinar los efectos de las variables climáticas sobre la adopción de tecnología. Los resultados de Negri & Brooks (1990), así como de Mendelsohn & Dinar (2003), encontraron tasas más altas de adopción de aspersores en áreas con mayor precipitación. Por otro lado, Dinar et al., (1992), no encontraron un efecto de lluvia significativo, pero este análisis se limitó al Valle de San Joaquín de California, que tiene menos variación en la lluvia que los otros dos estudios. Negri & Brooks (1990), argumentaron que la adopción de aspersores está relacionada con aquellas áreas donde existe mayor precipitación. Esto se debe a

que los productores en áreas de alta precipitación enfrentan un mayor riesgo de daños a los cultivos por lluvias inesperadas luego del riego por inundación, por lo que la adopción de aspersores brinda a los productores un mayor control sobre las aplicaciones de agua.

2.7.2 Temperatura

McLean et al., (2000), declararon que los agricultores de regiones cálidas o ventosas tienen más probabilidades de adoptar el riego de gravedad, ya que una gran fracción del agua aplicada con sistemas de aspersión se evapora en estas condiciones climáticas. Con base en el análisis a nivel de finca de irrigadores de California, Oregon y Washington, Olen et al., (2016), argumentan que por encima de un umbral de temperatura crítica, las altas pérdidas por evaporación de los rociadores anulan las ventajas de eficiencia de los rociadores, haciéndolos menos atractivos en relación con los sistemas de gravedad o goteo. Mendelsohn & Dinar (2003), también señalaron que los sistemas de aspersión se adoptan con mayor frecuencia en lugares más fríos con mucha más lluvia.

2.8 Factores institucionales

2.8.1 Participación gubernamental

El apoyo gubernamental también se ha sugerido como factor determinante de la adopción de tecnología de riego. De acuerdo con Momvandi et al., (2018), en Irán el apoyo gubernamental mostró una relación positiva y significativa sobre la adopción de tecnologías de riego. El apoyo gubernamental se lleva a cabo de diferentes maneras en diferentes países, i.e. mediante el establecimiento de reglas y regulaciones, y otorgando subsidios, créditos bancarios y actividades de extensión-educación. En diferentes trabajos se ha determinado la relación positiva que existe entre el apoyo gubernamental y la adopción del riego por aspersión (Arayesh, 2011; Madhava Chandran & Surendran, 2016; Shahzadi, 2013; Surendran, 2012 y Venkatesh et al., 2003).

Las características institucionales que podrían afectar la conversión a nuevas tecnologías de riego se basan en cambios políticos radicales en el país, o cambios en las políticas relacionadas con el riego, como las adoptadas en España donde el gobierno a través de subsidios fomento la conversión de sistemas de riego tradicionales a riego por aspersión y goteo durante las últimas décadas (Avellà & García-Mollá, 2008).

2.8.2 Acceso a la información

Los factores institucionales son aquellos que escapan al control de los agricultores y están relacionados con el entorno en el que se produce la adopción. Entre estas características, se ha considerado importante la disponibilidad de redes de información, ya que permiten a los propietarios de tierras recopilar, integrar y evaluar nueva información para tomar mejores decisiones (Ghadim & Pannell, 1999). No toda la información se suma por igual al conocimiento sobre la innovación (Fischer, Arnold & Gibbs, 1996), por lo que la fuente de información se vuelve importante.

2.8.3 Acceso a servicios de extensión agrícola

La información se adquiere a través de fuentes informales como los medios de comunicación, el personal de extensión, las visitas, las reuniones y las organizaciones agrícolas y mediante la educación formal. Es importante que esta información sea confiable, consistente y precisa. Por lo tanto, se necesita la combinación correcta de propiedades de la información para una tecnología en particular para que su impacto en la adopción sea efectivo.

Partiendo de los fundamentos de Rogers (2010), la actitud positiva de los potenciales adoptantes hacia el canal de comunicación resultará clave en la toma de decisiones, al igual que la calidad y fiabilidad de la información. Por ello, un mayor contacto con las fuentes de información y que éstas sean de mayor calidad incrementará la probabilidad de adoptar. Koundouri et al., (2006), mostraron la influencia de esta variable al analizar la adopción de riego tecnificado en una región de Grecia. Algunos resultados indican que la exposición a servicios de extensión

reduce considerablemente el tiempo de adopción de tecnologías de riego (Genius et al., 2014). En este trabajo también se determinó que la transmisión de información no solo se desarrolla a través de los servicios de extensión, sino también entre los propios agricultores: un mayor número de agricultores adoptantes induce la adopción más rápida entre otros agricultores, mientras que una mayor distancia entre los adoptantes aumenta el tiempo de la adopción.

Aunque los estudios de Mullen, Norton y Reaves (1997), sugieren que la adopción de tecnología suele ser una cuestión de nivel de estudios, esto no quiere decir que la medición de la adopción sea simple. De hecho, en su estudio, Nowak (1996), estuvo de acuerdo en que medir la adopción puede ser más complejo de lo que parece: “A primera vista, parece ser nada más que una cuestión de si un productor utiliza o no una práctica específica. Sin embargo, esta visión simplista cambia rápidamente a medida que uno comienza a evaluar cómo se usa, dónde se usa y la idoneidad de ese uso en relación con las condiciones reales”.

Se necesita mucho más trabajo para refinar los métodos y compilar los datos necesarios para medir y monitorear de manera creíble la adopción de tecnología. La tasa de adopción generalmente se mide por el tiempo requerido para que un cierto porcentaje de miembros de un sistema adopte una innovación. Por otro lado, el grado de adopción se mide a partir del número de tecnologías que se adoptan y el número de productores que las adoptan. El estudio actual se centra en el alcance de la adopción y los factores que la afectan. Dependiendo de la tecnología que se esté investigando, se pueden emplear varios parámetros para medir la adopción. Las mediciones también dependen de si son cualitativas o cuantitativas.

Por ejemplo, en el estudio que investiga la adopción de prácticas de ahorro de agua, particularmente el riego por goteo en España, Alcon et al., (2011), estimaron la intensidad de la adopción examinando diferentes determinantes agrícolas, económicos, tecnológicos e institucionales utilizando series de tiempo, sus resultados empíricos destacan la importancia de los factores educativos, la probabilidad tecnológica, la disponibilidad de crédito y los factores institucionales

como la disponibilidad, el precio del agua, las redes de información y los factores de política, así como los efectos sistemáticos que influyen en la decisión de adopción a lo largo de la vida del productor y a lo largo del período de la encuesta (1975–2005). Para otro estudio que investigó la adopción de tecnología de riego por aspersión y por goteo en la provincia de Heilongjiang, China, Dai et al., (2015), la variable dependiente fue el número de agricultores que adoptaron esas tecnologías.

En otro estudio sobre los factores que afectan la adopción de riego por goteo en la región de Tigray en el norte de Etiopía, Gebremeskel et al., (2018), utilizaron la decisión del productor de adoptar o no adoptar y subdividieron a los encuestados en dos grupos: adoptantes y no adoptantes. De manera similar, las percepciones de los agricultores se examinan en varios estudios, incluido el de Gebremeskel et al., (2018), y el de Tesfahunegn, et al., (1995). En el primero, se tiene en cuenta la percepción de los agricultores sobre la adopción del goteo y los desafíos que enfrentan en la utilización. En el último se buscan las percepciones de los agricultores sobre el cambio climático y las estrategias que tienen para adaptarse.

Si bien los atributos cualitativos directos son más difíciles de medir, varios estudios han utilizado estimaciones de probabilidades (Gebremeskel et al., 2018; Carrer et al., 2017; Dai et al., 2015; Adeoti, 2008). Al solicitar las percepciones subjetivas de los encuestados, los investigadores captan los aspectos cualitativos que influyen en las decisiones de los agricultores, probablemente porque las opciones de tecnología de los agricultores se basan en sus probabilidades subjetivas (Feder, Just y Zilberman, 1985). Las percepciones de los agricultores se interpretan como la rentabilidad percibida de una tecnología y se traducen en más recursos que se le dedican, por lo tanto, su adopción.

III. MARCO TEÓRICO

La literatura económica sobre la adopción de innovaciones tecnológicas se ha desarrollado a lo largo de dos líneas diferentes para explicar por qué algunos agricultores adoptan y por qué otros no. Una ruta utiliza modelos de elección discreta a nivel individual (Foltz, 2003; Moreno & Sunding, 2005), mientras que la otra utiliza modelos agregados que describen el proceso de adopción de una tecnología y su posible evolución futura (Fishelson & Rymon, Knudson, 1991), denominada análisis de duración.

Conceptualmente, los últimos son solo una agregación de los primeros, sobre individuos y tiempo. En la literatura, se han utilizado una serie de variables para explicar la tasa de adopción por agricultores individuales (Dinar & Yaron, 1990). En la mayoría de los casos, se trata de modelos a nivel de explotación, en los que la decisión de adopción de tecnología se considera en un momento determinado (Feder & Umali, 1993; Feder, Just & Zilberman, 1985). Estos estudios de corte transversal explican la adopción de una nueva tecnología en función de su utilidad esperada en comparación con la obtenida de la tecnología tradicional. Esto se ha aplicado a una serie de estudios sobre tecnología de riego por goteo (Green & Sunding, 1997), goteo sub superficial y microaspersión (Pokhrel, Paudel & Segarra, 2018), así como riego por aspersión (Afrakhteh et al., 2015), donde la variable a explicar es la adopción en sí, utilizando parámetros económicos y ambientales del área de estudio. El enfoque más común para explicar esta variable categórica ha sido el uso de modelos logit o probit.

Una extensión de este enfoque es considerar la cuestión de cuándo las personas adoptan y, por lo tanto, permitir la consideración de la distinción entre adoptantes tempranos y tardíos, y el impacto de las variables que cambian con el tiempo (Burton, Rigby & Young, 2003). En estos trabajos, la adopción de tecnología se presenta como un proceso dinámico en el que los agricultores aprenden sobre la tecnología a lo largo del tiempo y la adoptan cuando el beneficio esperado al hacerlo es positivo. Por lo general, estos trabajos explican el tiempo que transcurre desde

que un individuo se convierte en posible adoptante hasta que se produce la adopción mediante el análisis de duración.

Considerando los factores determinantes de la adopción tecnológica, la selección del riego tecnificado se vuelve más probable cuando la utilidad subjetiva ganada por el agricultor (U_d) es mayor que la utilidad derivada del riego tradicional (U_t). El cambio se producirá cuando ($U_d > U_t$).

Por lo tanto se plantea el problema en términos de una respuesta binaria: adopción *versus* no adopción. Aunque es factible usar el modelo de probabilidad lineal (mínimos cuadrados ordinarios), este no sería una buena descripción de la probabilidad de respuesta del individuo, ya que para ciertos valores de los parámetros del modelo, sus resultados estarían fuera del rango unitario, es decir, menores a cero o mayores a uno, lo cual no tendría sentido. De ahí que no suele emplearse este enfoque empírico.

3.1 Modelos de elección discreta a nivel individual

La teoría detrás de los modelos de elección discreta tiene sus raíces en la teoría de la utilidad económica. En este sentido, "utilidad" es sinónimo de satisfacción. Los modelos de elección discreta asumen que un individuo obtiene satisfacción al seleccionar un recurso dado. Se supone que la satisfacción es una función de los atributos de determinada opción (Cooper & Millspaugh, 1999).

El marco teórico para el proceso de selección en modelos de elección discreta es que un individuo elegirá la opción que le proporcione la máxima utilidad o satisfacción. Por lo tanto, la probabilidad de que la utilidad derivada de la opción A sea mayor que la utilidad derivada de cada una de las otras opciones disponibles, lo que requiere que el investigador especifique qué opciones están disponibles para el individuo temporal y espacialmente. En notación matemática, la probabilidad de que el individuo j elija la opción A ($P_j(A)$) del conjunto de i opciones se puede escribir como;

$$P_j(A) = \Pr(U_{Aj} > U_{ij} \forall i) = \Pr(\beta' X_{Aj} + e_{Aj} > \beta' X_{ij} + e_{ij} \forall i) \quad (1)$$

Reordenando términos se genera la siguiente ecuación

$$P_j(A) = \Pr(\beta' X_{Aj} - \beta' X_{ij} > e_{Aj} - e_{ij} \forall i) \quad (2)$$

Debido a que los atributos del individuo como la edad y el sexo serán constantes durante el proceso de elección, los efectos principales de dichos atributos desaparecerán (Ec. 2), pero los efectos de interacción permanecerán. Es decir, con N opciones totales disponibles para el individuo, de acuerdo con la Ec. 2, se requeriría una solución y una integral de orden $N - 1$. Si la diferencia en los términos de error para cada una de las opciones ($e_{ij} - e_{Aj} \forall i$) se distribuye como una variable aleatoria logística, entonces surge la forma logit multinomial del modelo de elección discreta. Esta suposición es equivalente a que cada uno de los términos de error (e_{ij}) se distribuya como una variable aleatoria de valor extremo de tipo I (Gumbel) independiente. Esta distribución se aproxima mucho al supuesto de distribución de error normal con la ventaja de producir soluciones de forma cerrada en un marco de máxima verosimilitud.

Además, demuestra que cuando solo hay dos opciones disponibles para los individuos, la forma logit multinomial se reduce a la ecuación de selección de recursos logísticos descrita por Thomasma et al., (1991). Dado el supuesto de distribución de valor extremo de tipo I para la ecuación 2, la probabilidad de que el individuo j elija el recurso A en lugar de cualquier otro de los i recursos disponibles, toma la forma;

$$P_j(A) = \frac{\exp(\beta' X_{Aj})}{\sum_{\forall i} \exp(\beta' X_{ij})} \quad (3)$$

3.2 Modelos agregados que describen el proceso de adopción

Los fundamentos conceptuales de los análisis de duración (AD) se basan en la teoría de la probabilidad. En lugar de centrarse en la duración de un evento, puede

considerar la probabilidad de que se complete o la probabilidad de transición a un nuevo estado. Para determinar esta probabilidad, el análisis DA utiliza la función de riesgo en lugar de la conocida función de distribución de probabilidad (Kallas et al.,2010). Si (T) se considera como una variable aleatoria que mide la duración de un evento y t como una realización de (T) , entonces las duraciones observadas de cada sujeto consisten en una serie de datos (t_1, t_2, \dots, t_n) . Sea $f(t)$ una función de distribución de probabilidad continua de la variable aleatoria previamente definida (T) . La distribución de probabilidad de la variable de duración se puede especificar mediante la función de densidad acumulada.

$$F(t) = \int_0^t f(s)ds = \Pr(T \leq t) \quad (4)$$

Esta ecuación indica la probabilidad de que la variable aleatoria (T) sea menor que un cierto valor t . Sin embargo, en el análisis de duración, en este tipo de estudios se está más interesado en la probabilidad de que el evento tenga una duración de al menos t . Esta probabilidad viene dada por la función de supervivencia también conocida como función de distribución acumulativa complementaria.

$$S(t) = 1 - F(t) = \int_0^\infty f(s)ds = \Pr(T > t) \quad (5)$$

La probabilidad de que finalice la duración o de un cambio de régimen en el siguiente intervalo corto de tiempo, t dado que el período ha durado hasta t es

$$\Pr(t \leq T < t + \Delta t | T \geq t) \quad (6)$$

Sobre la base de esta probabilidad, definimos la función de riesgo o tasa de riesgo que especifica la velocidad a la que se completa un evento en el tiempo $T = t$, dado que sobrevive hasta el tiempo t . En otras palabras, en nuestro análisis, la función representa la probabilidad de que un agricultor adopte ciertas prácticas o tecnologías en el tiempo t , dado que no las ha adoptado antes de t .

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Pr(t \leq T < t + dt | T \geq t)}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t+\Delta t) - F(t)}{\Delta t S(t)} = \frac{f(t)}{S(t)} \quad (7)$$

Las funciones $F(t), f(t), S(t)$ y $h(t)$ se relacionan matemáticamente de la siguiente manera:

$$h(t) = \frac{f(t)}{S(t)} = \frac{(dF/dt)}{S(t)} = \frac{[d(1-S)/dt]}{S(t)} = \frac{(-dS/dt)}{S(t)} = -d \ln S(t)/dt \quad (8)$$

Además de la duración de un período, se puede esperar que un conjunto de variables explicativas de naturaleza económica y no económica influyan y alteren la distribución de la duración. Con la inclusión de variables explicativas adicionales en el DA, la función de riesgo debe redefinirse y reformularse como condicionada a estas variables (Lancaster, 1992).

$$h(t, x, \theta, \beta) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Pr(t \leq T < t + \Delta | T \geq t)}{\Delta} \quad (9)$$

donde β es un vector de parámetros desconocidos, x el vector de variables explicativas, y θ es un vector de parámetros que caracterizan la función de distribución de la tasa de riesgo.

Después de la inclusión de las variables explicativas, la función de riesgo $h(t, x, \theta, \beta)$ se puede dividir en dos componentes. El primer componente es la parte del riesgo que depende de las características del sujeto $g(x, \beta)$. El segundo es la función de riesgo inicial $h_0(t)$, que es igual al riesgo cuando todas las covariables son cero. Este último no depende de las características individuales. Este componente captura la forma en que varía la tasa de riesgo a lo largo de la duración.

Para estimar el modelo de duración, se emplea un modelo semiparamétrico de riesgos proporcionales de Cox (Cox, 1972). Bajo el modelo de riesgos proporcionales de Cox, se supone que la duración de cada miembro de una población sigue su propia función de riesgo $h_i(t)$ que puede expresarse como;

$$h_i(t) = h(t; x_i) = h_0(t) \exp(x_i' \beta) = h_0(t) \exp(\beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_k x_{ik})$$

Por lo tanto;

$$\log h_i(t) = \alpha(t) + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_k x_{ik} \quad (10)$$

donde $h_0(t)$ es una función de riesgo de línea base no negativa, arbitraria y no especificada que satisface $\alpha(t) = \log h_i(t)$. Los coeficientes β pueden interpretarse como el efecto proporcional constante de x sobre la probabilidad condicional de completar un evento. La propiedad de que los individuos de la muestra presentan funciones de riesgo proporcionales se cumple porque la razón $\frac{h_i(t)}{h_j(t)} = \exp\{\beta_1(x_{i1} - x_{j1}) + \dots + \beta_k(x_{ik} - x_{jk})\}$ de dos sujetos i y j son constantes en el tiempo t , ya que $h_0(t)$ se cancela.

El procedimiento de estimación se basa en la función de verosimilitud parcial introducida por Cox (1972, 1975), que elimina $h_0(t)$ y, por lo tanto, descarta la parte de la función de verosimilitud que contiene información sobre la dependencia del peligro de hora. Además, esta función parcial tiene en cuenta la duración censurada. Considerando la duración para cada sujeto i , t_i , $i = 1 \dots n$ la función de máxima verosimilitud parcial se puede expresar como;

$$PL = \prod_{i=1}^n \left[\frac{e^{\beta X_i}}{\sum_{j=1}^n Y_{ij} e^{\beta X_j}} \right]^{\delta_i} \quad (11)$$

donde δ_i es una variable indicadora con un valor de 1 si t_i no está censurado o un valor de 0 si t_i está censurado. Y_{ij} tiene un valor de 1 si $t_j \geq t_i$ y $Y_{ij} = 0$ si $t_j < t_i$. El problema de optimización para maximizar la función de verosimilitud parcial se puede expresar como;

$$\text{Log } PL = \max_{\beta} \sum_{i=1}^n \delta_i [\beta X_i - \log(\sum_{j=1}^n Y_{ij} e^{\beta X_j})] \quad (12)$$

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización del área de estudio

El Distrito de Riego 017, Comarca Lagunera, comprende parte de los estados de Coahuila y Durango. Esta región se localiza entre los meridianos 102° 22' y 104° 47' longitud oeste, y paralelos 24° 22' y 26° 23' latitud norte, a una altura de 1200 msnm (Fig. 4). De acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificada por García (1973), el clima de la Comarca Lagunera es de tipo desértico con escasa humedad atmosférica y precipitación pluvial promedio de 215 mm anuales; el período de lluvia comprende de mayo a septiembre donde ocurre 70% de la precipitación y una temperatura media de 20 °C (De la Cruz, 2003). En la mayor parte de la región se tiene una evaporación promedio anual de 2400 mm (Castillo et al., 2003).



Figura 4. Localización geográfica de la Comarca Lagunera

4.2 Instrumentos metodológicos

La información requerida para esta investigación provino de entrevistas aplicadas a los productores agrícolas de la Comarca Lagunera. Las encuestas fueron diseñadas con preguntas abiertas y de opción múltiple que fueron estructuradas en cuatro secciones para el análisis de los factores que determinan la adopción de tecnología.

- 1) Información general del productor
- 2) Información de la unidad productiva
- 3) Información sobre el cultivo y la producción
- 4) Información sobre el tipo de riego empleado por el productor

Adicionalmente se realizó un estudio exploratorio, en el que se confrontó a los agricultores de la región con un aumento potencial del 100% en el precio del agua, solicitando su reacción en respuesta a este aumento.

A través de la encuesta se le preguntó a los agricultores ¿Qué harían si la cuota de agua aumentara 100%?, las opciones que los agricultores podían elegir fueron; i) Adoptar sistemas de riego tecnificado, ii) 2. Disminuir la superficie y/o cambiar de cultivo a otro que genere más ingreso, iii) No hacer nada y pagar la nueva tarifa, iv) Abandonar la actividad agrícola y v) Perforar un pozo.

Cada sección de la entrevista fue elaborada con base a la revisión de literatura así como a los objetivos planteados. La encuesta aplicada se puede observar en el Anexo 1 de este documento.

4.3 Tamaño de muestra

El número de productores a entrevistar se obtuvo mediante el método de muestreo aleatorio simple; el cual permite la selección de “ n ” unidades en un conjunto “ N ” de tal modo que cada una de las “ ${}_N C_n$ ” muestras distintas, tengan la misma oportunidad de ser elegidas (Cochran, 1980). El tamaño de muestra se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0 + 1}{N}} \quad (1)$$

dónde: n =tamaño de muestra, n_0 =aproximación al tamaño de muestra, N = población.

El cálculo de n_0 se realizó utilizando la siguiente formula:

$$n_0 = \frac{Z^2 pq}{d^2} \quad (2)$$

dónde: Z = valor de la normal estándar, p = probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito), q = probabilidad de que no ocurra el evento estudiado ($1 - p$), d = precisión o error máximo permitido.

La población total de productores agrícolas, de acuerdo con la SAGARPA-Delegación Lagunera es de 17,476. Sin embargo dado que la Comarca Lagunera se compone de 16 municipios se decidió aplicar las entrevistas en cuatro municipios representativos de la región; Gómez Palacio y Lerdo pertenecientes al estado de Durango y San Pedro y Francisco I. Madero pertenecientes al estado de Coahuila, los cuales agrupan a 7,254 productores agrícolas.

Se consideró una confiabilidad del 90% y margen de error del 10%, dado que la información se recopiló a través de entrevistas directas a los productores. El tamaño de muestra calculado fue de 67 productores a entrevistar, sin embargo, dada la disposición de los productores se obtuvieron un total de 139 cuestionarios durante la segunda quincena del mes de abril de 2019.

4.4 Modelo logístico de elección binaria

Al analizar la adopción tecnológica se observa que ciertos productores agrícolas la adquieren mientras que otros no; por lo tanto, se plantea el problema en términos de una respuesta binaria: adopción *versus* no adopción. Para lograr el objetivo de esta investigación se generó un modelo logit, el cual permite modelar la probabilidad

de que un acontecimiento suceda. De acuerdo con Green (2001), estos modelos generalmente se presentan de la siguiente forma:

$Prob(\text{ocurre suceso } j) = Prob(Y = j) = F[\text{Efectos relevantes: parámetros}]$,
 donde: $j = 0$, si el suceso j no ocurre y $j = 1$, si el suceso j ocurre.

En forma particular se tiene un modelo de regresión con variable binaria; $Y = F(X, \beta) + u = F(X, \beta) + u$; donde, Y = variable dependiente binaria; $F(X, \beta)$ = probabilidad media esperada bajo un supuesto de distribución, si es normal da origen al modelo probit, si es logística da origen al modelo logit; X = una matriz $n \times k$; n = número de observaciones; k = número de variables explicativas; u = es un error aleatorio.

Es importante mencionar que existe una diferencia fundamental entre un modelo donde la variable dependiente “ Y ” es cuantitativa (continua), y un modelo donde “ Y ” es cualitativa (discreta). En modelos donde Y es cuantitativa, el objetivo consiste en estimar su valor esperado dado los valores de las variables explicativas. Mientras que en los modelos donde “ Y ” es cualitativa, el objetivo es encontrar la probabilidad de que un acontecimiento suceda. Este tipo de modelos se conocen como probabilísticos (Gujarati, 2003).

En esta investigación se utilizó un modelo logístico de elección binaria para estimar la probabilidad de que los productores de La Laguna adopten sistemas de riego eficientes. La adopción de esta tecnología se consideró como variable dependiente, en términos de una variable binaria con un valor de 1 para aquellos que adoptaron y 0 para aquellos que no adoptaron dicha tecnología.

El modelo empleado en este trabajo se especifica en las ecuaciones 3 y 4, como se indica a continuación:

$$Prob(Y_i = 1) = P_i = F(Z_i) = F\left(\alpha + \sum \beta_i X_i\right) = \frac{1}{1 + e^{-Z_i}} \quad (3)$$

donde: P_i es la probabilidad de que un productor adopte sistemas de riego tecnificado; X_i representa las variables explicatorias entre las que se incluyen características socioeconómicas y productivas que pueden afectar la adopción de riego tecnificado, α y β son los parámetros a ser estimados.

$$Prob(Y_i = 0) = 1 - Prob(Y_i = 1) = 1 - P_i = \frac{1}{1 + e^{Z_i}} \quad (4)$$

A partir de las ecuaciones 1 y 2 se obtiene una relación de probabilidad en favor de que se adopte la tecnología.

$$\frac{Prob(Y_i = 1)}{Prob(Y_i = 0)} = \frac{P_i}{1 - P_i} = e^{Z_i} \quad (5)$$

Donde: P_i es la probabilidad de que Y_i tome el valor de 1; $1 - P_i$ es la probabilidad de que Y_i tome el valor de 0; e es la constante exponencial.

Tomando el logaritmo natural de ambos lados de la ecuación (5), se obtiene la ecuación 6

$$Z_i = \ln\left(\frac{P_i}{1 - P_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + u_i \quad (6)$$

Es importante señalar que los parámetros del modelo, como los de cualquier modelo de regresión no lineal, no son necesariamente los efectos marginales que se acostumbra analizar. En general, cuando se trata de una variable cuantitativa el efecto marginal se calcula como se indica a continuación:

$$\frac{\partial P_i}{\partial X_{ik}} = \frac{e^{Z_i}}{(1 + e^{Z_i})^2} \beta_k \quad (7)$$

El Cuadro 2 muestra las 18 variables explicatorias empleadas en el modelo logístico, así como su descripción.

Cuadro 2 Variables analizadas en el modelo logístico (logit)

Notación	Nombre de la variable	Tipo de Variable / Criterios
Y	Adopción (variable dependiente)	Dummy: 1 si se adopta, 0 en caso contrario
X1	Genero	Dummy: 1 = masculino, 0 = en caso contrario
X2	Edad	Variable continua (años)
X3	Educación	Variable continua (años de educación formal)
X4	Dependientes económicos	Variable continua (número de personas)
X5	Actividad principal	Dummy: 1 en caso afirmativo, 0 en caso contrario
X6	Experiencia agrícola	Variable continua (años)
X7	Ingreso por hectárea	Variable continua (\$/ha)
X8	Costo por hectárea	Variable continua (\$/ha)
X9	Pertenencia a organizaciones	Dummy: 1 en caso afirmativo, 0 en caso contrario
X10	Acceso a la información	Dummy: 1 en caso afirmativo, 0 en caso contrario
X11	Hectáreas en producción	Variable continua (ha)
X12	Cultivo	Dummy: 0= alfalfa 1,2,3,4,5=otros cultivos
X13	Precio medio rural por tonelada	Variable continua (\$/ton)
X14	Asistencia técnica	Dummy: 1 en caso afirmativo, 0 en caso contrario
X15	Fuente de abastecimiento	Dummy: 1= bombeo, 0= gravedad
X16	Conocimiento de programas	Dummy: 1 en caso afirmativo, 0 en caso contrario
X17	Ingreso neto por m ³	Variable continua (\$/m ³)
X18	Rendimiento	Variable continua (ton/ha)

Fuente: Elaboración propia.

4.4.1 Prueba de bondad de ajuste

Una vez que el modelo sea estimado es necesario conocer su bondad de ajuste. Uno de los criterios de bondad de ajuste típicamente utilizado en este tipo de modelos es la razón de probabilidad de chi-cuadrado (G^2) (Russell & Fraas, 2005). Otras pruebas de bondad de ajuste empleadas en este tipo de modelos son; la significación de cada variable regresora, medidas pseudo R^2 , y Tasa de clasificaciones correctas. En este caso, la razón de probabilidad de chi-cuadrado (G^2), en este caso, se deben analizar dos modelos; uno con todas las variables explicativas (modelo completo) y el otro sin variables explicativas (modelo nulo).

Si el modelo tiene k variables explicativas, la hipótesis nula establece que ninguna de las k variables explicativas es diferente de cero; $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$. Suponiendo que ℓ_0 denota el valor maximizado de la función de probabilidad del modelo nulo que tiene un solo parámetro, es decir; el intercepto $\ell_0 = \ell(\hat{\beta}_0)$. Suponiendo también que ℓ_M denota el valor maximizado de la función de probabilidad del modelo M con todas las variables explicativas (teniendo $k + 1$ parámetros). Donde $\ell_M = \ell(\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \dots, \hat{\beta}_k)$. Entonces, la estadística de la prueba de razón de probabilidad es;

$$G^2 = -2 \log\left(\frac{\ell_0}{\ell_M}\right) = -2(\log \ell_0 - \log \ell_M) \sim \chi^2(k) \quad (8)$$

4.5 Modelo logístico multinomial

En términos económicos, se reconoce que el productor toma sus decisiones de conservación de los recursos en la medida en que su rentabilidad esperada es aceptable (De Graaff et al., 2008). Sin embargo, la toma de decisiones de los agricultores está fuertemente influenciada por su contexto social y cultural, así como por su experiencia personal y actitud de aversión al riesgo.

Por lo tanto, para evaluar el efecto de un fuerte aumento del precio del agua en la gestión de la granja y la gestión de los recursos hídricos en la granja, se realizó un

estudio exploratorio. Se enfrentó a los agricultores de la región de estudio con un aumento potencial del 100% en el precio del agua, y se solicitó su reacción en respuesta a este aumento.

Al analizar la respuesta que el agricultor considera ante un incremento del 100% en la cuota de riego se plantea que el productor seleccione una de las cuatro opciones presentadas en la encuesta, por lo tanto, se plantea un problema de tipo multinomial. Para lograr el objetivo de esta investigación se generó un modelo logístico multinomial de tipo nominal, dado que la variable puede adquirir valores de 1, 2, 3, ó 4, (denominadas categorías), mismas que no tienen un orden definido.

A través de una encuesta se les pregunto a los agricultores "¿Qué haría usted si la cuota de agua aumenta en un 100%?", las posibles opciones, que los agricultores podían elegir fueron (1) "adoptar sistemas de riego tecnificado", (2) "disminuir la superficie o cambiar de cultivo a otro que genere más ingreso", (3) "no hacer nada y pagar la nueva tarifa", y (4) "perforar un pozo" descrita en detalle en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Opciones que tiene un productor ante un incremento del 100% en la cuota de agua

Opciones	Descripción
1. Adoptar sistemas de riego tecnificado	El agricultor cambia a tecnología avanzada de riego; de los niveles tecnológicos más bajo (inundación), hacia el riego por aspersión y el riego por goteo.
2. Disminuir la superficie o cambiar de cultivo a otro que genere más ingreso	El agricultor cambia el patrón de cultivo a cultivos con mayor productividad del agua; es decir, cultivos que generan un mayor rendimiento e ingreso por unidad de agua invertida o disminuye la superficie que actualmente tiene para poder pagar la nueva cuota.
3. No hacer nada y pagar la nueva tarifa	El agricultor simplemente acepta el precio más alto del agua y continúa la producción de cultivos, el manejo y el uso de los recursos hídricos como antes.
4. Perforar un pozo	El agricultor perforara un pozo clandestino para que el agua subterránea esté disponible como fuente alternativa de riego.

Los modelos Multinomiales son métodos que brindan mayor información acerca de las relaciones entre las variables, y probablemente en estos se cometan menos

errores, al ser menos drásticos al momento de clasificar los individuos (Guarín et al., 2012) en comparación con un modelo logístico binomial en el que se analice dos posibles respuestas: tecnificar el riego versus no tecnificar el riego.

Suponiendo que J denota el número de categorías para la variable Y . Suponiendo que $\{\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_J\}$, denotan las probabilidades de respuesta, y satisfaciendo que $\sum_j \pi_j = 1$. Con n observaciones independientes, la distribución de probabilidad para el número de resultados de tipo J categorías es multinomial. Esto especifica la probabilidad de cada posible camino en que las n observaciones pueden caer en las categorías J . Aquí, no se necesita calcular tales probabilidades. Los modelos logísticos multinomiales utilizan simultáneamente todos los pares de categorías especificando las probabilidades de resultado en una categoría en lugar de otra. En este tipo de modelos el orden de enumerar las categorías es irrelevante, porque el modelo trata la escala de respuesta como nominal (categorías no ordenadas) (Agresti, 2003).

De acuerdo con Agresti (2003), los modelos logit para las variables de respuesta nominal emparejan cada categoría con una categoría de referencia. Cuando la última categoría J es la línea de base, el modelo logístico puede escribirse como:

$$\ln\left(\frac{\pi_j}{\pi_J}\right), \quad j = 1, \dots, J - 1 \quad (1)$$

Dado que la respuesta cae en la categoría j , este es el registro de probabilidades de que la respuesta sea j . Para $J = 3$, por ejemplo, el modelo usa $\ln\left(\frac{\pi_1}{\pi_3}\right)$ y $\ln\left(\frac{\pi_2}{\pi_3}\right)$. La categoría base del modelo con predictor x , esta dada por la siguiente ecuación;

$$\ln\left(\frac{\pi_j}{\pi_J}\right) = \alpha_j + \beta_j x, \quad j = 1, \dots, J - 1 \quad (2)$$

El modelo tiene ecuaciones $J - 1$, con parámetros separados para cada uno. Los efectos varían según la categoría base. Cuando $J = 2$, el modelo se simplifica a una

sola ecuación para $\ln\left(\frac{\pi_1}{\pi_2}\right) = \text{logit}(\pi_1)$, lo que resulta en una regresión logística ordinaria para respuestas binarias (Agresti, 2003).

La ecuación (2) para estos pares de categorías determinan las ecuaciones para todos los demás pares de categorías. Por ejemplo, si se tienen dos categorías arbitrarias a y b .

$$\begin{aligned} \ln\left(\frac{\pi_a}{\pi_b}\right) &= \ln\left(\frac{\pi_a/\pi_j}{\pi_b/\pi_j}\right) = \ln\left(\frac{\pi_a}{\pi_j}\right) - \ln\left(\frac{\pi_b}{\pi_j}\right) & (3) \\ &= (\alpha_a + \beta_a x) - (\alpha_b + \beta_b x) \\ &= (\alpha_a - \alpha_b) + (\beta_a - \beta_b)x \end{aligned}$$

Por lo tanto, la ecuación 3 para las categorías a y b . tiene la forma $\alpha + \beta x$, dentro del parámetro interceptor $\alpha = (\alpha_a - \alpha_b)$, con el parámetro de pendiente $\beta = (\beta_a - \beta_b)$ (Agresti, 2003).

La regresión logística multinomial permite la comparación de cada categoría de la variable dependiente con una categoría de referencia, proporcionando su probabilidad. En este estudio, la variable dependiente tiene cuatro categorías (Cuadro, 2). La última categoría Y_4 (perforar un pozo) se seleccionó como categoría de referencia dado que desde el punto de vista ambiental resultaría la respuesta más perjudicial a la implementación de una política de precios. Si hay z variables explicativas $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_z)$ y J categorías de respuesta (Y_1, Y_2, \dots, Y_J) , el modelo logístico se puede escribir como:

$$\ln\left(\frac{\pi_{i-\text{categoria}}}{\pi_{j-\text{categoria}}}\right) = \alpha + \beta_{i1}X_1 + \beta_{i2}X_2 + \dots + \beta_{iz}X_z + \varepsilon_i \quad (4)$$

Donde, $\pi_{i-\text{categoria}}$, representa probabilidad de que la variable dependiente esté en la categoría i , mientras que la " $\pi_{j-\text{categoria}}$ " representa la probabilidad de que la variable dependiente esté en la categoría j (la categoría de referencia). α indica la

intersección de la curva de regresión, β el coeficiente de cada predictor y ε representa el término de error. En este caso, los cuatro logits de este trabajo se pueden escribir de la siguiente manera:

$$Y_1 = \ln\left(\frac{\pi_{Y_1}}{\pi_{Y_4}}\right) = \alpha + \beta_{Y_14}X_1 + \beta_{Y_12}X_2 + \dots + \beta_{Y_1z}X_z + \varepsilon_i \quad (5)$$

$$Y_2 = \ln\left(\frac{\pi_{Y_2}}{\pi_{Y_4}}\right) = \alpha + \beta_{Y_24}X_1 + \beta_{Y_22}X_2 + \dots + \beta_{Y_2z}X_z + \varepsilon_i \quad (6)$$

$$Y_3 = \ln\left(\frac{\pi_{Y_3}}{\pi_{Y_4}}\right) = \alpha + \beta_{Y_34}X_1 + \beta_{Y_32}X_2 + \dots + \beta_{Y_3z}X_z + \varepsilon_i \quad (7)$$

Las ecuaciones expresan el logaritmo de la proporción de la probabilidad de que un agricultor elija 'adoptar sistemas de riego tecnificado', 'disminuir la superficie o cambiar a otro cultivo que genere más ingreso', y 'no hacer nada y pagar la nueva tarifa', en comparación con la probabilidad de que un agricultor elija 'perforar un pozo' en caso de aumento del precio del agua de riego.

Además de la estadística descriptiva se seleccionó la regresión logística multinomial, una variación de la regresión ordinaria, para el análisis del conjunto de datos cuantitativos recopilados. Este modelo es especialmente adecuado para dar respuesta a preguntas de investigación que presentan dos o más variables dependientes categóricas y varias variables explicativas continuas y categóricas. Es un enfoque metodológico probado, aplicado regularmente en la investigación agrícola de riego, así como estudios de estructura de la tarifa del agua (Moriaque et al., 2019; Khan & Zhao, 2019; Behera & Sethi, 2019). Las posibles respuestas a la pregunta ¿Qué haría usted si la cuota de agua aumenta en un 100%?, representan las variables dependientes en el modelo de regresión logística multinomial (Y_1 - Y_4) (Cuadro, 4).

Cuadro 4. Descripción de las variables analizadas en el modelo multinomial

Notación	Nombre de la variable	Tipo de Variable / Criterios
Variables independientes		
X1	Genero	Dummy: 1 = masculino, 0 = en caso contrario
X2	Edad	Variable continua (años)
Variables independientes		
X3	Educación	Variable continua (años de educación)
X4	Actividad principal	Dummy: 1 en caso afirmativo, 0 en caso contrario
X5	Experiencia agrícola	Variable continua (años)
X6	Ingreso por hectárea	Variable continua (\$/ha)
X7	Costo por hectárea	Variable continua (\$/ha)
X8	Ciclo agrícola	Dummy: 1 en caso perenne, 0 en caso contrario
X9	Superficie en producción	Variable continua (ha)
X10	Cultivo	Dummy: 0= alfalfa 1,2,3,4,5=otros cultivos
X11	Asistencia técnica	Dummy: 1 en caso afirmativo, 0 en caso contrario
X12	Fuente de abastecimiento	Dummy: 1= bombeo, 0= gravedad
X13	Alfalfa principal cultivo	Dummy: 1 en caso afirmativo, 0 en caso contrario
X14	Ingreso neto por m ³	Variable continua (\$/m ³)
X15	Rendimiento	Variable continua (ton/ha)
Variables dependientes		
Y₁	Adoptar sistemas de riego	Multivariable
Y₂	Disminuir la superficie o cambiar de cultivo a otro que genere más ingreso	Multivariable
Y₃	No hacer nada y pagar la nueva tarifa	Multivariable
Y₄	perforar un pozo clandestino	Multivariable

Fuente: Elaboración propia.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Generalidades de los productores entrevistados

El análisis de las encuestas indica que de la muestra de entrevistados, el 79.9% emplea métodos de riego tradicional o rodado, mientras 20.1% utiliza riego tecnificado, destacando el riego por goteo, riego por aspersión de tipo pivote central y riego por micro–aspersión. Estos resultados son consistentes con los de Baja California, donde aproximadamente entre 15-20% de los agricultores han adoptado el riego tecnificado (Trovo-Diéguez et al., 2010). En el mismo sentido, Villalobos-Cano et al., (2018), indican que el porcentaje de productores adoptantes en el Distrito de Riego 005, Delicias Chihuahua es de aproximadamente 25%.

La superficie sembrada en promedio oscila entre 1 y 124 hectáreas, con un promedio de 10.6 hectáreas, los rendimientos promedio de 33.5 ton ha⁻¹ (Cuadro, 5), siendo los principales cultivos; alfalfa, sorgo forrajero, maíz forrajero, algodón, nogal y hortalizas.

Cuadro 5. Estadística descriptiva de las variables continuas incluidas en el estudio

Variable	Media	Desviación estándar
Edad	57.57	12.45
Educación (años)	8.8	4.62
Experiencia (años)	29.48	14.28
Superficie cultivada (has)	10.66	18.09
Ingreso neto por m ³ (\$/m ³)	3.74	7.15
Rendimiento (ton/ha)	33.52	22.94

Fuente: Elaboración propia

La muestra de agricultores de Comarca Lagunera estuvo integrada principalmente por hombres (94.2%). La edad de los productores entrevistados varía entre 20 (edad mínima) y 85 años (edad máxima), siendo la edad promedio 57.5 años. Los resultados indicaron un bajo nivel educativo entre los productores; aproximadamente 68% cuentan con el nivel básico de educación con promedio 8.8

años de estudio (Cuadro 3). En este sentido, se ha encontrado que el papel de la educación y la promoción aumenta el índice de adopción de tecnología (Cremades et al., 2015), por lo que el nivel educativo de los productores es fundamental para el desarrollo agrícola de México.

Distintas investigaciones argumentan que un bajo nivel educativo dificulta la comprensión de la información, así como los argumentos técnicos, lo que hace difícil la adopción de tecnología (Li et al., 2010). Asimismo, en la Comarca Lagunera, la variable años de experiencia en promedio como productor agrícola fue de 29 años, oscilando de 2 a 65 años.

Kassie et al., (2009), reportan que el acceso a la extensión agrícola es una variable asociada con la adopción de prácticas de agricultura sustentable. Menos de la mitad de los entrevistados en la región (44.5%) declaró que la agricultura es su principal negocio y única fuente de ingresos; al respecto Macías (2013), menciona que los pequeños productores han tenido que diversificar sus opciones de ingreso, y que esta diversificación de actividades al interior de las familias rurales y el apoyo que a estas ofrecen sus miembros, en buena medida ha permitido que muchos pequeños productores se mantengan en la agricultura.

5.2 Estimación y prueba de bondad de ajuste

La estimación del modelo logístico se hizo bajo la sintaxis PROC LOGISTIC, del paquete estadístico SAS (SAS, 1999). La bondad de ajuste para el modelo logit se determinó a través del Índice de Cociente de Verosimilitudes (IVC), también llamado pseudo R^2 de McFadden, cuyo valor fue de 0.78, lo que confirma un buen ajuste del modelo según Smith & McKenna (2013), así como Walker & Smith (2016), quienes afirman que el pseudo R^2 ofrece una indicación del ajuste del modelo, y son similares a la varianza explicada por las métricas asociadas al R^2 de los modelos de regresión de mínimos cuadrados ordinarios.

Asimismo, a través del estadístico chi-cuadrada de la razón de verosimilitud con $p < 0.0001$, y del estadístico de Wald con $p < 0.05$ se determinó que el modelo

propuesto se ajusta de manera significativa, y que las variables incluidas en el modelo contribuyen a explicar la probabilidad de adoptar el riego tecnificado en la Comarca Lagunera (Cuadro 6).

Cuadro 6. Pruebas de bondad de ajuste del modelo logit		
Estadístico		Valor estadístico
Índice de cociente de probabilidad ó R ² de McFadden		0.7861
Razón de verosimilitud	(Chi-cuadrado)	109.7946
	Pr > ChiSq	<.0001
Estadístico de Wald	(Chi-cuadrado)	21.0965
	Pr > ChiSq	0.0018
-2 Log L (Modelo completo)	(Modelo)	29.870
-2 Log L (Modelo nulo)	(Modelo nulo)	139.665
Fuente: Elaboración propia con base en estimaciones del paquete SAS 9.4		

La hipótesis nula para la estadística que se prueba fue $H_0 = \beta_3 = \beta_5 = \beta_{14} = \beta_{16} = \beta_{17} = \beta_{18} = 0$. El valor estadístico de prueba para la razón de probabilidad de chi-cuadrado se obtuvo sustituyendo el valor maximizado de la función de probabilidad en la ecuación 8, como se indica a continuación:

$$G^2 = -2 \log \left(\frac{\ell_0}{\ell_M} \right) = -2(\log \ell_0 - \log \ell_M) = 139.665 - 29.870 = 109.795$$

El valor obtenido es mayor que $\chi^2_{0.05}(6) = 12.592$, Por lo tanto, se rechaza la H_0 y se concluye que al menos uno de los parámetros del modelo es diferente de cero.

5.2.1 Resultados del modelo logístico

En el Cuadro 7 se muestran los coeficientes de las variables que resultaron significativas, diferentes de cero, para un nivel de significancia de 0.10, estas variables son: educación (X3), agricultura como actividad principal (X5), asistencia técnica (X14), conocimiento de programas gubernamentales (X16), ingreso neto / m³ (X17) y rendimiento (X18).

El análisis de regresión logística permitió seleccionar el siguiente modelo como el que mejor explicó la relación entre las variables explicativas y la adopción de tecnología de riego en La Laguna.

$$Z_i = -14.68 + 0.16X3 - 1.59X5 - 1.70X14 - 3.72X16 + 0.22X17 + 0.09X18$$

Cuadro 7. Estimaciones de los parámetros del modelo logit

Parámetro	Contraste	CE(β)	EE	X ²	Sig.
Intercepto		-14.68	3.67	16.01	<.0001
X3 (educación)		0.16	0.11	2.17	0.1400
X5 (agricultura principal actividad)	0	-1.59	0.66	5.76	0.0164
X14 (asistencia técnica)	0	-1.70	0.68	6.25	0.0124
X16 (conocimiento de programas)	0	-3.72	0.84	19.67	<.0001
X17 (ingreso neto / m ³)		0.22	0.10	4.97	0.0257
X18 (rendimiento)		0.09	0.03	7.64	0.0057

CE=coeficiente estimado; EE=error estándar; X²= Chi cuadrada de Wald; Sig.= nivel de significancia; Fuente: Elaboración propia con base en estimaciones del paquete estadístico SAS 9.4.

La variable educación (X3) presentó un efecto positivo y estadísticamente significativo en 0.14, lo que sugiere que los años de estudio con los que cuenta el productor son importantes en la decisión de adoptar tecnología de riego (Cuadro 7). Estos resultados concuerdan con los reportados por Mamitimin, et al., (2015), quienes para un nivel educativo alto encontraron un efecto positivo (0.3) en la adopción de tecnologías de riego en China. Al respecto, Cremades et al., (2015), señalan que el grado educativo tiene un efecto positivo (1.5) y altamente significativo en la adopción de tecnologías de riego modernas en China.

Afrakhteh et al., (2015), por el contrario, no encontraron efecto de la variable educación en la probabilidad de adopción de tecnologías de riego por aspersión en Irán. El efecto marginal de la variable X3 sobre la probabilidad de adopción revela que por cada aumento de 1 unidad en los años de estudio por parte de los agricultores, aumentará 0.004 veces las probabilidades de adopción. Este resultado

concuenda con el determinado por Cremades et al., (2015), en China con un efecto marginal igual a 0.005 en la variable educación.

La variable $X5$ es una variable cualitativa, por lo que el modelo realiza una prueba de contraste (1= el productor se dedica exclusivamente a la actividad agrícola, 0 en caso contrario). La variable actividad agrícola como única actividad ($X5$), muestran un coeficiente negativo y estadísticamente significativo ($p < 0.01$) (Cuadro 7). El efecto marginal de la variable $X5$ fue de 0.09, lo que indica que la probabilidad de adopción para los agricultores que se dedican exclusivamente a la actividad agrícola es 9% mayor que la de los productores que tienen otras actividades económicas además de la agricultura. En este sentido, la búsqueda de ingresos no agrícolas por parte de los agricultores puede socavar su adopción de tecnologías modernas, al reducir la cantidad de trabajo asignado a las empresas agrícolas (Goodwin & Mishra, 2004), al respecto, Huang et al., (2020), señalan que el empleo fuera de la agricultura tiene un efecto negativo (-0.77) y altamente significativo en China, lo que indica que el empleo fuera de la actividad agrícola inhibe la adopción de tecnología.

En la Comarca Lagunera de acuerdo con los resultados de la entrevista los productores de menores ingresos, en muchos casos, buscan emplearse como asalariados con el objetivo de hacer frente a las necesidades familiares. Este hecho actúa en sentido contrario a las decisiones de adopción; por la imposibilidad de hacer las actividades en tiempo y forma, como efecto de la división del tiempo disponible entre actividades agrícolas y no agrícolas. Esto resulta importante, si se considera que más de la mitad de los agricultores manifestaron tener actividades no relacionadas con la agricultura con el objetivo de obtener ingresos adicionales.

Respecto a la variable asistencia técnica ($X14$), se determinó un estimador con signo negativo (-1.70) y altamente significativo ($p < 0.01$), lo que indica que los productores que no cuentan con asistencia técnica tienen menos probabilidades de adoptar sistemas de riego tecnificado en la Comarca Lagunera (Cuadro 7). Los resultados muestran que el acceso a la capacitación influye de manera positiva y significativa en la adopción del riego tecnificado. El efecto marginal de la variable

X14 fue de 0.10, este resultado sugiere que cuando los servicios de asistencia técnica son accesibles para los agricultores la probabilidad de que adopten tecnología de riego aumenta significativamente; si el productor cuenta con asistencia técnica, la posibilidad de adoptar tecnología de riego aumenta en un 10%.

Los resultados encontrados en este trabajo son consistentes con los determinados por Kiruthika (2014), quien señala que cuando existen los servicios de extensión agrícola la probabilidad de adoptar riego focalizado en la India incrementaron un 27%. Por su parte, Cremades et al., (2015), y Abid et al., (2015), determinaron estimadores positivos (3.2 y 1.12 respectivamente) para la variable servicios de extensionismo; respecto de las contribuciones marginales solo el trabajo de Cremades et al., (2015), reporta que la probabilidad de adoptar tecnologías de riego incrementa 10.6% cuando los productores cuentan con servicios de extensión agrícola.

Este hallazgo es importante si consideramos que solo el 44% de los productores entrevistados en Comarca Lagunera manifestó tener asistencia técnica en alguna etapa de la producción, particularmente en el cultivo de algodón 90.9% de los productores entrevistados cuentan con asistencia técnica mientras en otros cultivos los porcentajes son: 66.7% nogal, 53.8% hortalizas, 39.1% alfalfa, 28.6% sorgo forrajero y 26.1% maíz forrajero.

Los agricultores de forrajes y hortalizas cuentan con asistencia técnica de proveedores de insumos y servicios, así como de instituciones como el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), a diferencia de los productores de algodón quienes manifestaron contar con asistencia técnica del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA).

La provisión de servicios asistencia técnica son procesos continuos de difusión de información práctica relacionada con la agricultura, incluyendo insumos agrícolas, técnicas y habilidades agrícolas con el objetivo de mejorar la unidad productiva, la producción y los ingresos, por lo que, la asistencia técnica tiene un papel

fundamental en la adopción de tecnologías de riego, toda vez que el productor se encuentra mejor informado sobre el uso efectivo así como los beneficios de adoptar determinadas tecnologías.

En el Cuadro 7 se observa que la variable conocimiento de programas del gobierno que apoyan la tecnificación del riego (*X16*) tiene un estimador altamente significativo ($p < .0001$) con signo negativo (-3.72), lo que implica que los productores que desconocen la existencia de programas de tecnificación de riego tienen menor probabilidad de adoptar dichas tecnologías. El efecto marginal de la variable *X16* fue el que mayor efecto tuvo sobre la probabilidad de adopción; indicando que los productores que conocen los programas del gobierno federal aumentan la probabilidad de tecnificar en 22% (Cuadro, 8).

Cuadro 8. Efecto marginal estimado para cada variable explicativa

Variable explicativa	Efecto marginal
<i>X3</i> (educación)	0.0049816
<i>X5</i> (agricultura principal actividad)	0.0951614
<i>X14</i> (asistencia técnica)	0.1017677
<i>X16</i> (conocimiento de programas)	0.2219374
<i>X17</i> (ingreso neto / m ³)	0.0066642
<i>X18</i> (rendimiento)	0.0028277

Fuente: Elaboración propia con base en estimaciones del paquete estadístico SAS 9.4.

Los productores con los medios financieros a menudo instalan sistemas de riego, que pueden estar parcialmente subsidiados con fondos gubernamentales. De acuerdo con los resultados de las entrevistas el 75% de los productores que habían adoptado sistemas de riego tecnificado (21 productores de los 28 que habían tecnificado el riego) emplearon programas gubernamentales (i.e. Tecnificación de Riego) para poder instalar sistemas de riego tecnificado, mientras que el restante 25% utilizó recursos propios, así como créditos con la banca para adquirir ese tipo de tecnología. Para aplicar nuevas técnicas de producción, los productores agrícolas utilizan diversas combinaciones de apoyo monetario e insumos agrícolas

ofrecidos por programas gubernamentales, ahorros, y crédito que se ofrece a través de Financiera Rural o el ofrecido por los mismos proveedores de servicios.

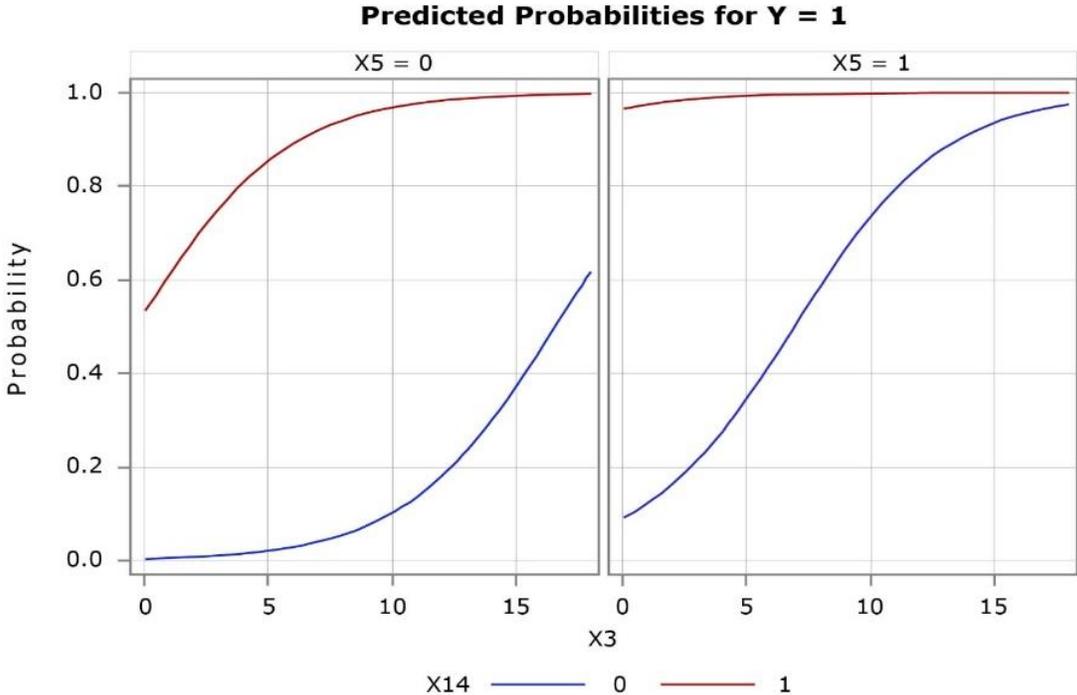
En investigaciones previas Li et al., (2010), determinó que el conocimiento de los incentivos gubernamentales, se encuentra asociado positivamente con la probabilidad de adopción. Este resultado es primordial si consideramos que 80% de los agricultores asegura desconocer la existencia de programas gubernamentales cuyo objetivo es la tecnificación del riego. Cabe señalar que el proceso de adopción de tecnologías inicia como se describió en el apartado 2.3.2 por la fase del conocimiento.

Adicionalmente, para muchos agricultores el proceso de adopción; los procedimientos de solicitud, la elegibilidad y la entrega de los subsidios pueden ser un proceso complicado, especialmente para los pequeños productores. Los agricultores generalmente ignoran las reglas de operación, algunos no cuentan con financiamiento o no cumplen con los requisitos del programa y en otros casos cumplirlos resulta una tarea complicada es decir; el desconocimiento de los programas gubernamentales encaminados al uso eficiente del agua limita la adopción de la tecnología, lo que pone de manifiesto que la promoción gubernamental de tecnologías agrícolas de ahorro de agua en el área de estudio necesita mejoras en cuanto a la difusión.

La Figura 5, representa las probabilidades predichas por el modelo contra la variable nivel educativo (X_3) para cada combinación de actividad principal ($X_5=0$ vs $X_5=1$) y asistencia técnica ($X_{14}=0$ vs $X_{14}=1$). En dicha representación se puede confirmar que el nivel educativo (X_3), la dedicación exclusiva a la actividad agrícola (X_5), así como contar con asistencia técnica (X_{14}) tiene un efecto positivo en la probabilidad de adopción tecnologías de riego en La Laguna, manteniendo constantes los demás factores (X_{16} , X_{17} y X_{18}).

La Fig representa las probabilidades predichas por el modelo para nivel educativo (X_3). En el lado izquierdo se observa como el nivel educativo en ausencia de asistencia técnica así como de no tener a la actividad agrícola como principal

actividad incrementa la probabilidad de adoptar tecnología de riego. En esa misma imagen se observa como un mayor nivel educativo combinado con la presencia de asistencia técnica aumenta la probabilidad de adopción. En el lado derecho de la imagen se aprecia que cuando el productor tiene a la agricultura como principal actividad aún sin asistencia técnica, el incremento en los años de estudio aumenta la probabilidad de adopción. Finalmente si se tiene asistencia técnica, dedicación exclusiva a la actividad agrícola así como mayor educación el efecto de adopción es mayor.



Fit computed at X16=1 X17=3.74 X18=2.63

Figura 5. Probabilidades predichas por el modelo logit para nivel educativo

La variable (X17), muestra un coeficiente positivo (0.22) y estadísticamente significativo al 0.02 (Cuadro 7), lo que sugiere que cuanto más alto sea el ingreso neto generado por metro cúbico la probabilidad de que el productor adopte tecnologías de riego es mayor. El efecto marginal de la variable X17 fue de 0.006, lo que indica que al incrementarse el ingreso neto por metro cúbico en 1%, la probabilidad de adoptar riego tecnificado aumenta 0.6%. Al respecto, Expósito & Berbel (2017), en un estudio de caso para España mencionan que los agricultores

deben adaptarse a la escasez de agua y a la continua disminución del ingreso agrícola (el cual ha caído 1.1% anual desde principios de los 90's debido al aumento de los precios de los insumos y a la caída de los precios de los productos agrícolas) eligiendo cultivos con mayor productividad económica ($\$/m^3$), por lo que, se han realizado importantes inversiones, tanto públicas como privadas, durante las últimas décadas para modernizar la superficie irrigada al sur de España.

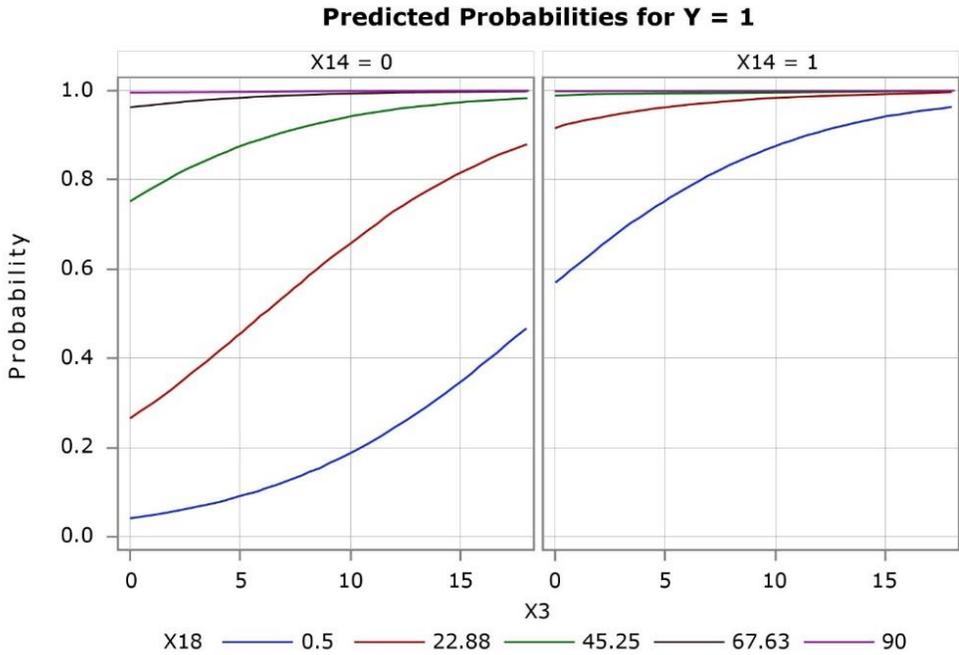
La variable ($X18$), muestra un coeficiente positivo (0.09) y altamente significativo al 0.005 (Cuadro 7), lo que sugiere que cuanto mayor el rendimiento por hectárea mayor será la probabilidad de que el productor adopte tecnologías de riego. Estos resultados concuerdan con los determinados por diversos autores, quienes indican que el rendimiento es un factor que determina en gran medida la adopción de tecnologías como la utilización de semilla mejorada (Luna-Mena et al., 2016), adopción de tecnologías para la agricultura de precisión (Tey & Bridal, 2012), así como en la adopción de tecnologías de riego (Pokhrel et al., 2018).

El productor intentara ser más eficiente en el uso del agua tecnificando la superficie para obtener más rendimientos del cultivo, esperando con ello incrementar su ingreso. Adicionalmente Mignouna et al., (2011), menciona que cuando los agricultores experimentan por sí mismos un aumento en el rendimiento con la implementación de la tecnología, son más propensos a continuarlo hasta consolidar la adopción. El efecto marginal obtenido para esta variable fue 0.002, lo que indica que al incrementarse el rendimiento en 1%, la probabilidad de adoptar riego tecnificado aumenta 0.2% (Cuadro 5). Estos resultados son equiparables con los de Pokhrel et al., (2018), quienes encontraron que el incremento de 1% en el rendimiento de algodón en Texas y Oklahoma incrementa la probabilidad de adoptar riego focalizado subsuperficial en 0.06%.

La Figura 6 representa las probabilidades predichas del modelo para la variable nivel educativo ($X3$) para cada combinación de asistencia técnica ($X14=0$ vs $X14=1$) y rendimiento ($X18$). Con esta representación se puede confirmar que el incremento en el rendimiento así como el aumento en el nivel educativo de los productores tiene

un efecto positivo en la probabilidad de adopción tecnologías de riego en La Laguna, manteniendo constantes los demás factores (X_5 , X_{16} y X_{17}).

La figura representa las probabilidades predichas por el modelo para rendimiento (X_{18}). En el lado izquierdo se observa que productores con rendimientos bajos 0.5 ton/ha (cebolla, esparrago, nogal, chile), sin asistencia técnica el efecto que tiene un año más de estudio en los productores, aumentando la probabilidad de adopción de 0.2 a 0.42, mientras que en productores con rendimientos de 22.8ton/ha (melón), sin asistencia técnica se observa que a medida que incrementan los años de estudio la probabilidad de adopción incrementa significativamente de 0.22 a 0.84. Finalmente los productores con rendimientos por arriba de las 45 ton/ha (alfalfa, maíz forraje) aún sin asistencia técnica tendrán más probabilidades de adoptar la



tecnología.

Figura 6. Probabilidades predichas por el modelo logit para rendimiento

5.2.2 Escenarios

Una vez conocido el efecto marginal de cada una de las variables, se simuló el impacto económico que tendría un apoyo otorgado por la SAGARPA como medida de política agrícola, en la Comarca Lagunera, bajo el escenario de que 50% de los agricultores tengan conocimiento de los programas, mientras las demás variables muestren un incremento del 10%.

El cambio en la variable dependiente y fue de 2.95% (Cuadro 9); lo que equivale a un incremento total en los productores que adoptarían riego tecnificado de 516 personas; es decir, con el programa de apoyo el número de productores que adoptan riego tecnificado pasaría de 3,512 a 4,027 personas en la Comarca Lagunera (Cuadro 9).

Cuadro 9. Cambio en la variable dependiente "Y", ante un incremento del 10% en "x"

Variables	Efecto marginal	Media X	$\Delta\%x$	ΔY	Δ en la muestra	Nuevo valor de Y
X3. Educación	0.005	8.800	10%	0.0044	0.6093	28.6
X5. Agricultura como principal actividad	0.095	0.446	10%	0.0042	0.5900	28.6
X14. Asistencia técnica	0.102	0.446	70%	0.0318	4.4167	32.4
X16. Conocimiento de programas gubernamentales	0.222	0.266	50%	0.0295	4.1058	32.1
X17. Ingreso neto / m³	0.007	3.740	10%	0.0025	0.3464	28.3
X18. Rendimiento	0.003	33.500	10%	0.0095	1.3167	29.3

Fuente: Elaboración propia en base a cifras del SAS 9.4

En el mismo sentido, si a través de la SAGARPA como medida de política agrícola, en la Comarca Lagunera, se estableciera como escenario lograr que el 70% de los agricultores contaran con servicios de asistencia técnica, partiendo de que actualmente cerca del 45% tienen conocimiento de estos programas, manteniendo constante todas las demás variables. El cambio en la variable dependiente y sería igual a 3.18%; lo que equivale a un incremento total en los productores que

adoptarían riego tecnificado de 555 personas; es decir, con la asistencia técnica el número de productores que adoptan riego tecnificado pasaría de 3,512 a 4,067 personas en la Comarca Lagunera (Cuadro, 9).

5.3 Resultados del modelo multinomial

5.3.1 Estimación y prueba de bondad de ajuste

La estimación del modelo logístico multinomial se hizo bajo el procedimiento PROC LOGISTIC, utilizando LINK=GLOGIT, para identificarlo como un multinomial de tipo nominal, pues las categorías no tienen un orden definido, del paquete estadístico SAS (SAS, 1999). La bondad de ajuste para el modelo multinomial se puede determinar a través del estadístico chi-cuadrada de la razón de verosimilitud con $p < 0.0001$ se determinó que el modelo propuesto se ajusta de manera significativa, y que las variables incluidas contribuyen a explicar la probabilidad de cada una de las categorías elegidas por los productores de La Laguna (Cuadro, 3).

Cuadro 10. Pruebas de bondad de ajuste del modelo logit

Estadístico		Valor estadístico
-2 Log L	(Modelo completo)	287.073
-2 Log L	(Modelo nulo)	316.640

Fuente: Elaboración propia con base en estimaciones del paquete SAS 9.4

La hipótesis nula para la estadística que se prueba es $H_0 = \beta_3 = \beta_5 = \beta_{14} = \beta_{16} = \beta_{17} = \beta_{18} = 0$. El valor estadístico de prueba para la razón de probabilidad de chi-cuadrado se obtuvo sustituyendo el valor maximizado de la función de probabilidad en la ecuación 8.

$$G^2 = -2 \log \left(\frac{\ell_0}{\ell_M} \right) = -2(\log \ell_0 - \log \ell_M) = 316.640 - 287.073 = 29.567$$

El valor obtenido es mayor que $\chi^2_{0.05}(12) = 21.0261$, por lo tanto, se rechaza la H_0 y se concluye que al menos uno de los parámetros del modelo es diferente de cero y que contribuye a explicar la probabilidad obtenida.

5.3.2 Respuesta de los agricultores al aumento del precio del agua

En México, los conflictos por el uso del agua han aumentado, lo que ha causado importantes efectos políticos y sociales. La mayor parte del uso del agua subterránea se lleva a cabo en las zonas áridas y semiáridas del centro, noroeste y norte de México, donde los balances de bombeo / recarga son negativos con la consiguiente sobreexplotación de numerosos acuíferos. Por lo tanto, las aguas subterráneas se han convertido en importantes factores para la economía mexicana y el desarrollo sostenible, y representan la fuente principal (o incluso la única) de agua en las regiones áridas y semiáridas del país (Guerrero et al., 2015).

Particularmente en La Laguna existen varios problemas relacionados con el agua, escasez natural, sobreexplotación, contaminación y deterioro de la calidad del agua, aunado a la competencia entre agricultores por los pozos, así como un aprovechamiento desordenado (irregular y clandestino), inexistente control de la extracción de los volúmenes concesionados, inexistente regulación del mercado del agua y producción de cultivos con alto consumo de agua como la alfalfa (López y Sánchez, 2010). Por lo que la categoría 'perforar un pozo' debe considerarse la reacción más indeseable por parte de los agricultores ante un aumento en el precio del agua (Mamitimín et al., 2015).

La Figura 7 indica la respuesta que tendrían los agricultores ante la posibilidad de aumento del precio del agua. En esa fuente, se observa que aproximadamente un tercio 'disminuiría la superficie o elegiría un cultivo que genere más ingreso' y poco



más del 50% 'no haría nada' y 6.5% de los agricultores optarían por 'perforar pozo' en la Comarca Lagunera.

Figura 7. Respuesta de los agricultores ante un incremento en el precio del agua de riego

Aunque las autoridades federales establecieron vedas desde 1958 en La Laguna (DOF, 2015), aproximadamente 6.5% de los agricultores muestreados comenta que en caso de aumentar la tarifa de riego en 100%, eludirían esta regulación perforando un pozo clandestino. Estos pozos clandestinos de acuerdo con Conicelli et al., (2021) pueden comprometer la gestión eficaz de las aguas subterráneas. A nivel mundial, diferentes autores han concluido que el aumento drástico del precio del agua podría conducir a una mayor expansión de la explotación de aguas subterráneas. Este efecto ha sido ampliamente estudiado en China (Zhou & Zhang), así como en el sector agrícola francés (Montginoul et al., 2015). La explotación ilegal indica problemas potenciales de sobreexplotación de aguas subterráneas (principalmente para uso en el suministro de agua público urbano) y conflictos entre usuarios, que provocan pérdida de recursos, aumento de los costos operativos y contaminación de los acuíferos por degradación inducida por bombeos no planificados (Hirata & Suhogusoff 2019, Galvão et al., 2020). Una de las razones de la operación ilegal de un pozo es que los usuarios y los tomadores de decisiones desconocen los problemas y las consecuencias de la falta de cumplimiento legal (Conicelli et al., (2021).

De los 139 agricultores entrevistados, 71 decidieron "no hacer nada, solo pagar un precio de agua más alto". Puede ser que esos agricultores supongan que sus prácticas agrícolas relacionadas con el agua no pueden mejorarse aún más, o que el precio del agua solo juega un papel marginal en su presupuesto agrícola total (Hellegers & Perry, 2004; Balasubramanya & Stifel, 2020).

Además, un menor número de agricultores decidió "disminuir la superficie en producción o cambiar a otro cultivo que genere más ingreso" (30.2%) como reacción al aumento del precio del agua. Revelando que el productor no tendría el recurso

suficiente para pagar la nueva cuota y que, por lo tanto, habría productores que reducirían la superficie en producción y otros que cambiarían a otro cultivo que genere más ingreso. Finalmente, el 12.23% de los agricultores decidieron “adoptar sistemas de riego tecnificados” en caso de un aumento en el precio del agua. Indicando que entre los agricultores de Comarca Lagunera no existe gran conocimiento respecto de que la tecnología de riego puede ayudar a aliviar la situación al mejorar la eficiencia del uso del agua.

Algunos autores reconocen que los aumentos del precio del agua podrían inducir a los agricultores a adoptar tecnología y prácticas apropiadas para conservar el agua (Berbel & Gómez-Limón, 2000; Frijia et al., 2011; Starkl et al., 2014). Sin embargo, otros estudios señalan que aumentos en los precios de los recursos hídricos superficiales conducirán a un mayor uso de las aguas subterráneas, debido a la relación de sustitución entre las aguas superficiales y los recursos de aguas subterráneas (Liao et al., 2008). Muchos estudios han demostrado que la demanda de agua de riego es inelástica y, por lo tanto, el precio del agua no haría que los usuarios cambien las asignaciones de agua existentes (Berbel & Gómez-Limón, 2000; Schoengold et al., 2006).

5.3.2 Factores que influyen en la respuesta de los agricultores

Antes de pasar a la prueba de predicción, este estudio realizó la selección de variables a través del método paso a paso hacia adelante. Este método permite que el sistema ingrese variables significativas en el modelo de acuerdo con el valor de chi-cuadrado, el cual se basa en la prueba de razón de verosimilitud. Este paso se utiliza para determinar objetivamente las variables significativas para predecir la respuesta del productor ante un posible incremento del precio del agua de riego.

Se seleccionó “Perforar un pozo” como categoría de referencia en el modelo de regresión logística multinomial, ya que es la reacción más indeseable por parte de los agricultores ante el aumento del precio del agua desde el punto de vista de la conservación de los recursos. Por lo tanto, al emplear esa categoría como base, al

compararlo con las otras posibles reacciones ayuda a desarrollar recomendaciones para un uso más sostenible del agua.

De acuerdo con la prueba de razón de verosimilitud, el resultado indica que de las 15 variables indicadas en el Cuadro 11, solo 4 variables se ingresaron en el modelo. El modelo de regresión logística multinomial determinado se muestra en el Cuadro 11, el cual es estadísticamente significativo ($X^2= 21.13$; $p < 0.04$).

Cuadro 11. Resultados del análisis de regresión logística multinomial							
Respuesta del agricultor	Clave	Parámetro (β)	DE	Sig.	e^β	Intervalo de confianza al 95% de e^β	
						Límite Inf.	Límite sup.
Y1. Adoptar sistemas de riego tecnificado							
X5. <i>Experiencia</i>		-0.106	0.036	0.003	0.899	0.838	0.965
X8. <i>Ciclo agrícola</i>	0	0.787	0.576	0.171	4.829	0.505	46.20
X9. <i>Superficie en producción</i>		0.163	0.130	0.210	1.178	0.912	1.521
X13. <i>Alfalfa principal cultivo</i>	0	-1.729	0.695	0.029	0.031	0.001	0.715
Y2. Disminuir la superficie y/o cambiar de cultivo a otro que genere más ingreso							
X5. <i>Experiencia</i>		-0.080	0.032	0.011	0.922	0.866	0.982
X8. <i>Ciclo agrícola</i>	0	1.450	0.548	0.008	18.206	2.210	156.69
X9. <i>Superficie en producción</i>		0.163	0.130	0.208	1.178	0.912	1.521
X13. <i>Alfalfa principal cultivo</i>	0	-1.365	0.799	0.087	0.065	0.003	1.495
Y3. No hacer nada y pagar la nueva tarifa							
X5. <i>Experiencia</i>		-0.068	0.030	0.024	0.933	0.879	0.991
X8. <i>Ciclo agrícola</i>	0	1.070	0.460	0.020	8.499	2.210	156.32
X9. <i>Superficie en producción</i>		0.168	0.130	0.196	1.183	0.917	1.521
X13. <i>Alfalfa principal cultivo</i>	0	-1.529	0.695	0.027	0.047	0.003	0.716
Fuente: Elaboración propia en base en las estimaciones del paquete SAS 9.4							

Al comparar la probabilidad de que los agricultores “perforen un pozo” y “adopten sistemas de riego tecnificado”, dos variables; la experiencia, y alfalfa como cultivo principal tuvieron un efecto negativo y altamente significativo (0.0031 y 0.0299 respectivamente). El signo negativo en ambas variables indica que tanto la

experiencia como no cultivar alfalfa tienen un efecto adverso sobre la adopción de sistemas de riego en comparación con perforar un pozo.

Los resultados muestran que los agricultores que tenían una mayor superficie en producción y que producen en el ciclo primavera-verano (PV) u otoño-invierno (OI), tienen más probabilidad de "adoptar sistemas de riego tecnificado" que "perforar un pozo". De acuerdo con el análisis marginal del ciclo agrícola se encontró que al cambiar de ciclo perenne a ciclo primavera verano la probabilidad de tecnificar aumentaría 0.018%.

En base a los efectos marginales determinados se realizó un escenario mismo que indica que la superficie tendría que incrementar 250% (de 11.5 has a 38.6 has) para observar un incremento del 11.74% en el número de productores que tecnifiquen el riego agrícola en La Laguna (el efecto marginal fue 0.00052). El incremento de 250% es inviable toda vez que en México los ejidos y las comunidades agrarias son minifundios con un promedio de superficie para uso agrícola de 4.2 hectáreas por agricultor (Morett-Sánchez y Cosío-Ruiz, 2017), particularmente en La Laguna el 66.18% de los entrevistados posee menos de 5 has en producción, lo que pone de manifiesto la dificultad de incrementar la superficie en producción en 250%.

De acuerdo con Tey & Brindal (2012), cuando los productores cuentan con mayores extensiones de tierra, éstos tienen más capacidad de absorber los costos y los riesgos, permitiendo que estos factores se extiendan sobre una mayor base productiva. Huang et al., (2017), mencionan que la tecnificación de riego requiere de grandes inversiones de capital, por lo que las unidades productivas más grandes tienen más probabilidades de disfrutar de economías de escala. En ese mismo trabajo se menciona que cuanto más grande es la superficie en producción se requiere más mano de obra para regar, lo que puede promover la tecnificación del riego. Distintas investigaciones confirman que el tamaño de la unidad productiva tiene un efecto positivo sobre la adopción a nuevas tecnologías agrícolas (Alam, 2015; Gebrehiwot & Van Der Veen, 2013; Zhang et al., 2019).

Asimismo, los resultados muestran que contrario a lo que se pudiera esperar, los productores que tienen más años de experiencia son menos propensos (-0.1065) a “adoptar sistemas de riego tecnificado” en relación a “perforar un pozo”. Este indicador sugiere que los agricultores con más experiencia tienen menos flexibilidad para adaptarse a las condiciones cambiantes en la producción. En un estudio sobre la adopción de nuevas tecnologías en huertas cítricas de Brasil se encontró que el nivel de experiencia tuvo un efecto negativo y altamente significativo en la probabilidad de adopción tecnológica, atribuyendo el resultado al menor grado de capacitación de los productores (Carrer et al., 2017). En términos de experiencia en la producción, hay dos efectos posibles. Por un lado, más experiencia puede resultar en un mayor conocimiento acumulado y mayor facilidad para comprender los beneficios asociados con una nueva tecnología. Sin embargo, más experiencia puede indicar que el agricultor es más conservador y menos capacitado en el uso de nuevas tecnologías (D'Antoni et al., 2012).

En el Cuadro 11, se observa que cuando no se tiene alfalfa como cultivo principal es menos probable que el productor elija “adoptar sistemas de riego tecnificado” en relación a “perforar un pozo” ante un eventual incremento en las tarifas de riego. Al respecto, Hadjigeorgalis (2004), indica que la producción agrícola está rodeada de incertidumbre. Entre la siembra y la cosecha pueden ocurrir eventos aleatorios que afectan los ingresos finales del agricultor (plagas, enfermedades, volatilidad de los precios, sequías, etc.), además de que la producción agrícola en muchas zonas depende fuertemente del regadío, lo cual introduce la incertidumbre adicional sobre el abastecimiento de agua, por lo que los productores de cultivos perennes o permanentes han realizado inversiones sustanciales en plantaciones, porque enfrentan un riesgo mucho mayor que los agricultores que producen cultivos anuales. Estos agricultores arriesgan pérdidas no solamente en la producción actual, sino también a futuro si el abastecimiento de agua no es suficiente para satisfacer sus necesidades de riego.

Al comparar la probabilidad de que los agricultores “perforen un pozo” y “disminuyan la superficie o cambien de cultivo por otro que genere más ingreso”, dos variables;

la experiencia, y alfalfa como cultivo principal tuvieron un efecto altamente significativo (0.0031 y 0.02 respectivamente).

Los resultados del Cuadro 11 muestran que la variable experiencia tiene un efecto negativo y altamente significativo sobre la probabilidad (0.01), sugiriendo que a mayor experiencia existen menos probabilidades de “disminuir la superficie o cambiar de cultivo” sobre “perforar un pozo”. Este resultado coincide con el determinado por Makate et al., (2016), quienes concluyeron que la variable años de experiencia agrícola influyen negativamente en la decisión de cambiar el cultivo que tradicionalmente producen; de acuerdo con sus hallazgos un año más de experiencia reduce 5.5% la probabilidad de adoptar nuevos cultivos. Estos resultados indican que si se propusiera una política de aumento de precios en el agua de riego en La Laguna, donde el objetivo sea el ahorro del agua derivado de la implementación de tecnología de riego, se deben impulsar subsidios particularmente a productores con pequeñas superficies, que produzcan cultivos diferentes a la alfalfa, así como establecimiento de políticas de extensión y servicios técnicos que fomenten la implementación de tecnologías de riego, con aquellos productores que tienen más experiencia en la producción, dado que el resultado del presente estudio indica que los agricultores con menos experiencia en la agricultura tienen más probabilidades de adoptar riego tecnificado ante un eventual incremento en la cuota de riego.

En el Cuadro 11, se observa que los agricultores que producen en los ciclos anuales (PV-OI) son más propensos a disminuir las superficies, incluso de cambiar de cultivo ante un posible incremento en el precio del agua de riego. La elección de la categoría “disminuir la superficie o cambiar de cultivo” para agricultores que producen cultivos anuales fue 18 veces mayor que la de productores que producen cultivos perennes.

Los resultados también sugieren que cuando los productores no producen alfalfa como cultivo principal son menos propensos a “disminuir la superficie o cambiar de cultivo”, en favor de “perforar un pozo”, implicando que los productores que

producen por ejemplo maíz o sorgo serán más propensos a perforar un pozo, en caso de que se incrementen los precios del agua de riego. Los resultados concuerdan con los determinados por Zhou et al., (2015), quienes mencionan que en una provincia de China al aumentarse el precio del agua de riego se observó que la extracción de agua subterránea aumento más de 70%, debido al incremento del número del pozos (aumento 25%) para poder regar cultivos con alto consumo de agua como el maíz y hortalizas.

Este resultado sugiere que, de establecerse una política de aumento en precios del agua en La Laguna, el número de pozos clandestinos incrementaría sobre todo en aquellos predios en los que se producen cultivos con alta demanda de agua como el nogal o el esparrago. De acuerdo con el análisis del Cuadro 11, al implementarse una política de precios en La Laguna con el objetivo de hacer un uso más eficiente y promover la conservación del agua, el resultado sería que 6.5% de los productores evadirían la medida impuesta perforando un pozo. Lo anterior indica que, aunado a la política de precios, se debería implementar otro tipo de políticas encaminadas en especial a los productores de hortalizas, frutales y oleaginosos, toda vez que los productores de forraje han tenido más acceso a la tecnificación de riego.

Finalmente, los resultados muestran que los agricultores que tenían una mayor superficie en producción y que producen cultivos anuales son más propensos a "no hacer nada" que "perforar un pozo". Esto puede explicarse por la participación marginal que el precio del agua constituye en el costo de producción de los cultivos. De acuerdo con cifras de la SAGARPA (2018), el cultivo de alfalfa tuvo un costo de producción por hectárea de \$16,686 en gravedad, del cual 8.99% lo representa el costo del agua de riego. Si para ese año se hubiera implementado un aumento del 100% en el precio del agua de \$1,500 a \$3,000 por hectárea el porcentaje que representaría el agua de riego sería 17.98%, lo que sugiere que los productores solo aceptarían pagar la nueva cuota. Esta fuerte tendencia a "no hacer nada", puede deberse a la falta de acceso a algún tipo de crédito o acceder a programas gubernamentales para realizar inversiones en la unidad de producción (Rivera y Flores, 2011), con la cual podrían tecnificar la superficie.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Los resultados de este trabajo indican que aun cuando hay un rápido aumento en la adopción de tecnologías de riego en el mundo, en México y en la Comarca Lagunera la adopción de este tipo de tecnologías sigue siendo baja. La adopción de tecnología está determinada por múltiples factores, entre los cuales se encuentran la asistencia técnica, el nivel educativo, la dedicación exclusiva a la agricultura, el ingreso obtenido por metro cúbico y el rendimiento, así como el conocimiento de los programas gubernamentales que fomentan la tecnificación de riego en la producción agrícola.

El ingreso neto generado por metro cúbico tiene un efecto positivo sobre la adopción de riego en La Laguna, sin embargo, el efecto marginal de esta variable resultó reducido en comparación a otras variables. Los resultados sugieren que, si se quiere promover la adopción de la tecnificación de riego en la Comarca Lagunera, la promoción y la asistencia técnica en temas relacionados con el agua y los beneficios de este tipo de tecnologías podrían ser una herramienta de política efectiva.

Asimismo, se determinó un fuerte incremento en el precio del agua de riego induciría a 12.23% de los agricultores entrevistados a emplear el agua más eficientemente al adoptar sistema de riego tecnificado, lo que reduciría de forma significativa el consumo de agua por parte del sector agrícola. 30.2% cambiaría a cultivos que le generen mayores ingresos o bien disminuirían la superficie sembrada. Conceptualmente, el efecto inicial de la reducción de superficie reduciría los rendimientos (dadas las prácticas existentes) provocando un desplazamiento hacia la izquierda de la curva de oferta, lo que reduciría la producción y elevaría los precios. Los consumidores responderían reduciendo el consumo de cultivos más costosos y cambiando a otros bienes. Los productores por otra parte responderían cambiando las prácticas de manejo a nivel parcelario y aumentarían la superficie cultivada con estos cultivos, lo que finalmente traería consigo un cambio en el consumo de agua derivado del cambio en el patrón de cultivos.

Por el contrario, más del 50% de los agricultores no implementarían cambios en sus prácticas de manejo de la granja o, lo que es peor, el 6.5% de los productores se sentirían alentados a perforar un pozo clandestino y establecer su propia fuente de agua. Esta explotación ilegal no solo provocaría la pérdida del recurso, también provocaría contaminación de los acuíferos por degradación inducida por bombeos no planificados y generaría aún más conflicto entre los diferentes usuarios. Por lo tanto, el aumento en el precio del agua en realidad puede fomentar la sobreexplotación de los recursos de agua subterránea en La Laguna.

Al determinar qué factores influyen en la reacción de los agricultores hacia el aumento del precio del agua empleando la regresión logística multinomial, los resultados muestran que los agricultores con mayor superficie de tierra tienden a optar por otras opciones que no sean "perforar un pozo". A la inversa, los agricultores con áreas de tierra más pequeñas se sentirán más alentados a "perforar un pozo" cuando aumenta el precio del agua. Además, el ciclo agrícola para cultivos anuales aumenta la probabilidad de que los agricultores realicen cualquiera de las tres categorías en comparación a "perforar un pozo".

Asimismo, los agricultores involucrados en la producción de cultivos en los que la alfalfa no sea el cultivo principal tienen más probabilidades de "perforar un pozo" en comparación con las otras tres opciones. De igual forma se encontró que los agricultores con más experiencia en la producción que solo producen cultivos anuales están más motivados para "perforar un pozo" en comparación con las otras tres opciones.

Se concluye por lo tanto que aumentar el precio del agua a una tasa alta no es una opción viable para mejorar el uso de los recursos hídricos en la región de estudio. Para superar la situación se requieren políticas complementarias al incremento del precio. Se requiere de un enfoque integrado de subsidios, así como mayor apoyo a los esquemas de capacitación agrícola y los servicios de asesoramiento a través de los cuales se realicen tareas de difusión y transferencia de tecnología. En este sentido, si el gobierno establece una política para subsidiar la tecnología de riego;

ésta sería más efectiva si los programas tuvieran más promoción, y si los apoyos fueran dirigidos hacia cultivos que generen mayor ingreso por metro cubico empleado, lo que alentaría a los agricultores a aplicar la tecnología para obtener mayor rendimiento y mejor calidad de producto.

6.2 Recomendaciones

Analizar la adopción de tecnología diferenciando cada sistema de riego; aspersión, goteo, pivote central, etc. a nivel de la Comarca Lagunera, el empleo de variables climáticas y técnicas de las explotaciones así como el precio de la tecnología, podrían complementar los resultados de este trabajo, así como el análisis del proceso de difusión que ha tenido este tipo de tecnologías en la región de estudio.

De igual forma se recomienda incluir otras variables explicatorias como; el ingreso agrícola y no agrícola, el costo de producción de los cultivos, lamina de riego de los cultivos, costo del metro cubico de agua, percepción del productor a la escasez del agua, en los modelos propuestos con el objetivo de esclarecer los factores que determinan la adopción de tecnologías de riego eficientes y dar soporte a las políticas de modernización del sector agrícola.

VII. LITERATURA CITADA

- Abid, M., Scheffran, J., Schneider, U. A., & Ashfaq, M.: Farmers' perceptions of and adaptation strategies to climate change and their determinants: the case of Punjab province, Pakistan, *Earth Syst. Dynam*, 6, 225–243, doi: 10.5194/esd-6-225-2015, 2015.
- Adeoti, A. I. (2008). Factors influencing irrigation technology adoption and its impact on household poverty in Ghana. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics (JARTS)*, 109(1), 51-63.
- Afrakhteh, H., Armand, M., & Askari Bozayeh, F. (2015). Analysis of factors affecting adoption and application of sprinkler irrigation by farmers in Famenin County, Iran. *International Journal of Agricultural Management and Development*, 5(2), 89-99. doi: 10.5455/ijamd.158625
- Ainembabazi, J. H., & Mugisha, J. (2014). The role of farming experience on the adoption of agricultural technologies: Evidence from smallholder farmers in Uganda. *Journal of Development Studies*, 50(5), 666-679. doi: 10.1080/00220388.2013.874556
- Alam, K. (2015). Farmers' adaptation to water scarcity in drought-prone environments: A case study of Rajshahi District, Bangladesh. *Agricultural Water Management*, 148, 196-206. doi: 10.1016/j.agwat.2014.10.011
- Alcon, F., Arcas, N., De-Miguel, M. D., & Fernández-Zamudio, M. A. (2009). Adopción de tecnologías ahorradoras de agua en la agricultura. La economía del agua de riego en España, 127-146.
- Alcon, F., de Miguel, M. D., & Burton, M. (2011). Duration analysis of adoption of drip irrigation technology in southeastern Spain. *Technological Forecasting and Social Change*, 78(6), 991-1001. doi: 10.1016/j.techfore.2011.02.001
- AQUASTAT (2021) Sistema mundial de información de la FAO sobre el agua en la agricultura. Base de Datos. Disponible en: <http://www.fao.org/aquastat/statistics/query/index.html?lang=en>
- Arayesh, B. (2011). Studying the key factors in successes of under pressure irrigation systems (case study: ILAM, Iran). *World Applied Sciences Journal*, 13(9), 2126-2130.
- Arellanes, P., & Lee, D. R. (2003). *The determinants of adoption of sustainable agriculture technologies: evidence from the hillsides of Honduras*. Proceedings of the 25th International Conference of Agricultural Economists (IAAE) Durban, South Africa, August 2003. Disponible en <https://ageconsearch.umn.edu/record/25826/>
- Arreguín-Cortés, F. I., García, V. N. H., González, C. A., & Guillen, G. J. A. (2019). Reforms in the administration of irrigation systems: Mexican experiences. *Irrigation and Drainage*, 68(1), 6-19. doi: 10.1002/ird.2242

- Avellà, L., & García-Mollá, M. (2008). Institutional factors and technology adoption in irrigated farming in Spain: Impacts on water consumption. The management of water quality and irrigation technologies, 197-226.
- Aydogdu, M. H., & Bilgic, A. (2016). An evaluation of farmers' willingness to pay for efficient irrigation for sustainable usage of resources: the GAP-Harran Plain case, Turkey. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 13(2-4), 175-186. doi: 10.1080/1943815x.2016.1241808
- Balasubramanya, S., & Stifel, D. (2020). Water, agriculture & poverty in an era of climate change: Why do we know so little?. *Food Policy*, 93, 101905. doi: 10.1016/j.foodpol.2020.101905
- Becerra Pérez, M., Sáinz Santamaría, J., & Muñoz Piña, C. (2006). Los conflictos por agua en México. Diagnóstico y análisis. *Gestión y política pública*, 15(1), 111-143.
- Berbel, J., & Gómez-Limón, J. A. (2000). The impact of water-pricing policy in Spain: an analysis of three irrigated areas. *Agricultural water management*, 43(2), 219-238. doi: 10.1016/S0378-3774(99)00056-6
- Burton, M., Rigby, D., & Young, T. (2003). Modelling the adoption of organic horticultural technology in the UK using duration analysis. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 47(1), 29-54. doi: 10.1111/1467-8489.00202
- Cameron, L. A. (1999). The importance of learning in the adoption of high-yielding variety seeds. *American Journal of Agricultural Economics*, 81(1), 83-94. doi: 10.2307/1244452
- Canedo, P.F. (2013). Persiste ineficiencia en riego. [online]. Disponible en <https://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/852912.persiste-ineficiencia-en-riego.html>
- Carrer, M. J., de Souza Filho, H. M., & Batalha, M. O. (2017). Factors influencing the adoption of Farm Management Information Systems (FMIS) by Brazilian citrus farmers. *Computers and Electronics in Agriculture*, 138, 11-19. doi: 10.1016/j.compag.2017.04.004
- Cason, T. N., & Uhlaner, R. T. (1991). Agricultural production's impact on water and energy demand: A choice modeling approach. *Resources and Energy*, 13(4), 307-321.
- Caswell, M., Lichtenberg, E., & Zilberman, D. (1990). The effects of pricing policies on water conservation and drainage. *American journal of agricultural economics*, 72(4), 883-890. doi: 10.2307/1242620

- Chuchird, R., Sasaki, N., & Abe, I. (2017). Influencing factors of the adoption of agricultural irrigation technologies and the economic returns: A case study in Chaiyaphum Province, Thailand. *Sustainability*, 9(9), 1524. doi: 10.3390/su9091524
- CONAGUA 2014. Numeragua 2014. Coyoacán, México, D. F. 102p disponible en <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Numeragua.pdf>
- CONAGUA. 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Principal-Región Lagunera (0523), Estado de Coahuila. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 20 de abril del 2015. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/102876/DR_0523.pdf
- Conicelli, B., Hirata, R., Galvão, P., Aranda, N., Terada, R., & Gutierrez, O. J. G. (2021). Groundwater governance: The illegality of exploitation and ways to minimize the problem. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 93(1):2-16. doi: 10.1590/0001-3765202120200623
- Cooper, A. B., & Millspaugh, J. J. (1999). The application of discrete choice models to wildlife resource selection studies. *Ecology*, 80(2), 566-575.
- Cremades, R., Wang, J., & Morris, J. (2015). Policies, economic incentives and the adoption of modern irrigation technology in China. *Earth System Dynamics*, 6, 399-410. doi: 10.3390/su9091524
- Cruz, A., & Levine, G. (1998). El uso de las aguas subterráneas en el distrito de riego 017, Región Lagunera, México. Instituto Internacional del Manejo del Agua. IWMI, Serie Latinoamericana: No. 3. 53p.
- D'Antoni, J. M., Mishra, A. K., & Joo, H. (2012). Farmers' perception of precision technology: The case of autosteer adoption by cotton farmers. *Computers and Electronics in agriculture*, 87, 121-128.
- Dai, X., Chen, J., Chen, D., & Han, Y. (2015). Factors affecting adoption of agricultural water-saving technologies in Heilongjiang Province, China. *Water Policy*, 17(4), 581-594. doi: 10.2166/wp.2015.051
- De Graaff, J., Amsalu, A., Bodnar, F., Kessler, A., Posthumus, H., & Tenge, A. (2008). Factors influencing adoption and continued use of long-term soil and water conservation measures in five developing countries. *Applied Geography*, 28(4), 271-280. doi: 10.1016/j.apgeog.2008.05.001
- Dinar, A., & Yaron, D. (1990). Influence of quality and scarcity of inputs on the adoption of modern irrigation technologies. *Western Journal of Agricultural Economics*, 224-233.
- Dinar, A., M. Campbell, & D. Zilberman. 1992. Adoption of improved irrigation and drainage reduction technologies under limiting environmental conditions. *Environmental and Resource Economics* 2: 373–398.

- Doss, C. R., & Morris, M. L. (2000). How does gender affect the adoption of agricultural innovations? The case of improved maize technology in Ghana. *Agricultural economics*, 25(1), 27-39. doi: 10.1111/j.1574-0862.2001.tb00233.x
- Dung, L. T., Ho, D. P., Hiep, N. T. K., & Hoi, P. T. (2018). The Determinants of Rice Farmers' Adoption of Sustainable Agricultural Technologies in the Mekong Delta, Vietnam. *Applied Economics*, 25(2), 55-69.
- Expósito, A., & Berbel, J. (2010). Agricultural irrigation water use in a closed basin and the impacts on water productivity: The case of the Guadalquivir river basin (Southern Spain). *Water*, 9(2), 136. doi: 10.3390/w9020136
- FAO-AQUASTAT. (2009). FAO's Global Information System on Water and Agriculture. Country Profile - México disponible en <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html>
- Feder, G. & Umali D.L. (1993). The adoption of agricultural innovations: a review. *Technol. Forecast. Soc. Change* 43 (3-4):215-239. doi: 10.1016/0040-1625(93)90053-A
- Feder, G., Just, R. E., & Zilberman, D. (1985). Adoption of agricultural innovations in developing countries: A survey. *Economic development and cultural change*, 33(2), 255-298.
- Feder, Gershon, & Dina L. Umali. The adoption of agricultural innovations: a review. *Technological forecasting and social change* 43, 3-4 (1993): 215-239. doi: 10.1016/0040-1625(93)90053-A
- Feizabadi, Y., & Gorji, E. M. (2018). Analysis of effective factors on agricultural water management in Iran. *Journal of water and land development*, 38(1), 35-41. doi: 10.2478/jwld-2018-0040
- Fischer, A. J., Arnold, A. J., & Gibbs, M. (1996). Information and the speed of innovation adoption. *American Journal of Agricultural Economics*, 78(4), 1073-1081. doi: 10.2307/1243863
- Fishelson, G., & Rymon, D. (1989). Adoption of agricultural innovations: The case of drip irrigation of cotton in Israel. *Technological Forecasting and Social Change*, 35(4), 375-382.
- Flores-Gallardo, H., Sifuentes-Ibarra, E., Flores-Magdaleno, H., Ojeda-Bustamante, W., & Ramos-García, C. R. (2014). Técnicas de conservación del agua en riego por gravedad a nivel parcelario. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(2), 241-252.
- Foltz, J. D. (2003). The economics of water-conserving technology adoption in Tunisia: An empirical estimation of farmer technology choice. *Economic development and cultural change*, 51(2), 359-373. doi: 10.1086/367627

- Fortis-Hernández, M., R. Ahlers, J. A. Leos-Rodríguez & E. Salazar Sosa. 2002. El mercado de los derechos de agua en la Comarca Lagunera. *Políticas Agrícolas* 12: 103-122.
- Frija, A., Wossink, A., Buysse, J., Speelman, S., & Van Huylenbroeck, G. (2011). Irrigation pricing policies and its impact on agricultural inputs demand in Tunisia: A DEA-based methodology. *Journal of environmental management*, 92(9), 2109-2118.
- Galvão, P., Souza, E. L. D., Demétrio, J. G., & Baessa, M. M. (2020). Estimating groundwater resources of the Içá-Solimões Aquifer System in the Urucu Oil Province Central Amazon Region, Brazil, focused on a balance between availability and water demand. *RBRH*, 25(6):1-10. doi: 10.1590/2318-0331.252020190058
- García, E. (1973). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana. UNAM. México, DF. 246p.
- García, S. J.; Guzmán, S. E.; & Fortis, H. M. 2006. Demanda y distribución del agua en la Comarca Lagunera. *Agrociencia*. 40: 269-276.
- Gebrehiwot, T., & Van Der Veen, A. (2013). Farm level adaptation to climate change: the case of farmer's in the Ethiopian Highlands. *Environmental management*, 52(1), 29-44. doi: 10.1007/s00267-013-0039-3
- Gebremeskel, G., Gebremicael, T. G., Hagos, H., Gebremedhin, T., & Kifle, M. (2018). Farmers' perception towards the challenges and determinant factors in the adoption of drip irrigation in the semi-arid areas of Tigray, Ethiopia. *Sustainable Water Resources Management*, 4(3), 527-537. doi:10.1007/s40899-017-0137-0
- Genius, M., Koundouri, P., Nauges, C., & Tzouvelekas, V. (2014). Information transmission in irrigation technology adoption and diffusion: Social learning, extension services, and spatial effects. *American Journal of Agricultural Economics*, 96(1), 328-344. doi: 10.1093/ajae/aat054
- Ghadim, A. K. A., & Pannell, D. J. (1999). A conceptual framework of adoption of an agricultural innovation. *Agricultural economics*, 21(2), 145-154. doi: 10.1016/S0169-5150(99)00023-7
- Godínez-Montoya, L., García-Salazar, J. A., Fortis-Hernández, M., Mora-Flores, J. S., Martínez-Damián, M. Á., Valdivia-Alcalá, R., & Hernández-Martínez, J. (2007). Valor económico del agua en el sector agrícola de la Comarca Lagunera. *Terra Latinoamericana*, 25(1), 51-59.
- Godoy-Ávila, C., Pérez-Gutiérrez, A., Torres, C. A., Hermosillo, L. J., & Reyes, I. (2003). Uso de agua, producción de forraje y relaciones hídricas en alfalfa con riego por goteo subsuperficial. *Agrociencia*, 37(2), 107-115.

- Godoy-Ávila, C., Reyes-Juárez, I., & Torres-Estrada, C. A. (2005). Riego por goteo subsuperficial en nogal pecanero (*Carya illinoensis* K.) con diferentes números de laterales de riego. *Agricultura Técnica en México*, 31(2), 203-212.
- Goodwin, B. K., & Mishra, A. K. (2004). Farming efficiency and the determinants of multiple job holding by farm operators. *American Journal of Agricultural Economics*, 86(3), 722-729. doi: 10.1111/j.0002-9092.2004.00614.x
- Green, G. P., & Sunding, D. L. (1997). Land allocation, soil quality, and the demand for irrigation technology. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 367-375.
- Greiner, R., Patterson, L., & Miller, O. (2009). Motivations, risk perceptions and adoption of conservation practices by farmers. *Agricultural systems*, 99(2-3), 86-104. doi: 10.1016/j.agsy.2008.10.003
- Guerrero-García-Rojas, H., Gómez-Sántiz, F., & Rodríguez-Velázquez, J. R. (2015). Water pricing in Mexico: Pricing structures and implications. In *Water pricing experiences and innovations* (pp. 231-247). Springer, Cham.
- Hadjigeorgalis, E. (2004). Comerciando con incertidumbre: los mercados de agua en la agricultura chilena. *Cuadernos de economía*, 41(122), 3-34. doi: 10.4067/S0717-68212004012200001
- Hayami, Y., & Ruttan, V. W. (1971). *Agricultural development: an international perspective*. Baltimore, Md/London: The Johns Hopkins Press.
- Hellegers, P. J., & Perry, C. J. (2004). *Water as an economic good in irrigated agriculture: Theory and practice*. The Hague, Agricultural Economics Research Institute (LEI), 2004, Report 3.04.12; ISBN 90-5242-930-8.
- Hirata, R., & Suhogusoff, A. V. (2019). How much do we know about the groundwater quality and its impact on Brazilian society today?. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 31, e109. doi: 10.1590/S2179-975X4419
- Huang, Q., Xu, Y., Kovacs, K., & West, G. (2017). Analysis of factors that influence the use of irrigation technologies and water management practices in Arkansas. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 49(2), 159-185. doi: doi.org/10.1017/aae.2017.3
- Huang, X., Lu, Q., Wang, L., Cui, M. & Yang, F. (2020), "Does aging and off-farm employment hinder farmers' adoption behavior of soil and water conservation technology in the Loess Plateau?", *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 12(1), 92-107. doi: 10.1108/IJCCSM-04-2019-0021
- Kallas, Z., Serra, T., & Gil, J. M. (2010). Farmers' objectives as determinants of organic farming adoption: the case of Catalanian vineyard production. *Agricultural Economics*, 41, 409-423. doi: 10.1111/j.1574-0862.2010.00454.x

- Kaltu, S., & Güneş, E. (2010). Effect of different irrigation systems on yield and income of corn (*Zea mays* L.). *TABAD, Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3(2), 27-31.
- Kassie, M., Zikhali, P., Manjur, K. & Edwards, S. 2009. Adoption of sustainable agriculture practices: Evidence from a semi-arid region of Ethiopia. *Natural Resource Forum*. 33:189-198. doi: 10.1111/j.1477-8947.2009.01224.x
- Kijne, J. W., Barker, R., & Molden, D. (Eds.) (2003). Improving Water Productivity in Agriculture: Editor's Overview. In J.W. Kijne, R. Barker, y D. Molden (Eds.), *Water productivity in agriculture: Limits and opportunities for improvement. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture series 1*, pp. xi-xix.
- Kiruthika, N. (2014). Determinants of adoption of drip irrigation in sugarcane cultivation in Tamil Nadu. *American International Journal of Research in Humanities, Arts and Social Sciences*, 5(2), 143-146.
- Knowler, D., y Bradshaw, B. (2007). Farmers' adoption of conservation agriculture: A review and synthesis of recent research. *Food policy*, 32(1), 25-48. doi: 10.1016/j.foodpol.2006.01.003
- Knudson, M. K. (1991). Incorporating technological change in diffusion models. *American Journal of Agricultural Economics*, 73(3), 724-733. doi: 10.2307/1242824
- Koundouri, P., Nauges, C., & Tzouvelekas, V. (2006). Technology adoption under production uncertainty: theory and application to irrigation technology. *American Journal of Agricultural Economics*, 88(3), 657-670. doi: 10.1111/j.1467-8276.2006.00886.x
- Lancaster, T. (1990). *The econometric analysis of transition data* (No. 17). Cambridge university press.
- Lavison, R. (2013). *Factors Influencing the Adoption of Organic Fertilizers in Vegetable Production in Accra*, Msc Thesis, Accra Ghana.
- Li, J. Y., Li, T. S., & Li, S. K. (2010). Analysis of farmer's technology adoption behavior in different environments of agritechnique diffusion—a case study of water-saving irrigation technology in the arid and semiarid area of northwest China. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 30(5), 201-205.
- Liao, Y., Gao, Z., Bao, Z., Huang, Q., Feng, G., Xu, D., ... & Wu, W. (2008). *China's water pricing reforms for irrigation: effectiveness and impact*. IWMI. 72p.
- Lindner, R. (1987). Adoption and diffusion of technology: an Overview. En Champ, B.R., Highly, E. y Remenyi, J.V. (Eds.): *Technological change in postharvest handling and transportation of grains in the humid tropics*. Australian Centre for International Agricultural Research. Bangkok, Thailand: 144-151.

- Lindner, R. (1987). Adoption and diffusion of technology: an Overview. En Champ, B.R., Highly, E. & Remenyi, J.V. (Eds.): Technological change in postharvest handling and transportation of grains in the humid tropics. Australian Centre for International Agricultural Research. Bangkok, Thailand: 144-151.
- Lionberger, H.F. Adoption of New Ideas and Practices. Iowa State: University Press, 1960.
- López, A. L., & Crispín, A. S. (Eds.). (2010). Comarca Lagunera: procesos regionales en el contexto global. Instituto de Geografía, UNAM. 438p.
- López, A. L., & Sánchez, C. A. (Eds.). (2010). Comarca Lagunera: procesos regionales en el contexto global. Instituto de Geografía, UNAM. ISBN 978-607-02-1250-5. 438p.
- Luna-Mena, B. M., Altamirano-Cárdenas, J. R., Santoyo-Cortés, V. H., & Rendón-Medel, R. (2016). Factores e innovaciones para la adopción de semillas mejoradas de maíz en Oaxaca. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(SPE15), 2995-3007.
- Macías, A. M. (2013). Pequeños agricultores y nueva ruralidad en el occidente de México. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 10(71), 187-207.
- Madhava Chandran & K., Surendran, U. (2016) Study on factors influencing the adoption of drip irrigation by farmers in humid tropical Kerala, India. *Int. J. Plant Prod.* 2016 (10): 347–364.
- Makate, C., Wang, R., Makate, M., & Mango, N. (2016). Crop diversification and livelihoods of smallholder farmers in Zimbabwe: adaptive management for environmental change. *Springer Plus*, 5(1), 1135. doi: 10.1186/s40064-016-2802-4
- Mamitim, Y., Feike, T., Seifert, I., & Doluschitz, R. (2015). Irrigation in the Tarim Basin, China: farmers' response to changes in water pricing practices. *Environmental earth sciences*, 73(2), 559-569. doi:10.1007/s12665-014-3245-2
- Mango, N., Makate, C., Tamene, L., Mponela, P., & Ndengu, G. (2018). Adoption of small-scale irrigation farming as a climate-smart agriculture practice and its influence on household income in the Chinyanja Triangle, *Southern Africa. Land*, 7(2), 49.
- Marsh, S. P., Burton, M. P., & Pannell, D. J. (2006). Understanding farmers' monitoring of water tables for salinity management. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 46(9), 1113-1122. doi: 10.1071/EA04185
- McLean, R.K., R. Sri Ranjan, & G. Klassen. 2000. Spray evaporation losses from sprinkler irrigation systems. *Canadian Agricultural Engineering* 42: 1–8.
- Mendelsohn, R. & A. Dinar. 2003. Climate, water, and agriculture. *Land Economics* 79: 328–341.

- Mignouna, D. B., Manyong, V. M., Mutabazi, K. D. S., & Senkondo, E. M. (2011). Determinants of adopting imazapyr-resistant maize for Striga control in Western Kenya: A double-hurdle approach. *Journal of development and agricultural economics*, 3(11), 572-580.
- Molden, D. (2007). Water for food, water for life. London: Earthscan. Colombo, Sri Lanka. International Water Management institute.
- Momvandi, A., Omid Najafabadi, M., Hosseini, J. F., & Lashgarara, F. (2018). The identification of factors affecting the use of pressurized irrigation systems by farmers in Iran. *Water*, 10(11), 1532. doi: 10.3390/w10111532
- Montemayor-Trejo, J. A., Aguirre-Aguiluz, H. W., Olague-Ramírez, J., Román-López, A., Rivera-González, M., Preciado-Rangel, P., ... y Yescas-Coronado, P. (2010). Uso del agua en la alfalfa (*Medicago sativa*) con riego por goteo subsuperficial. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 1(2), 145-156.
- Montemayor-Trejo, J. A., Lara-Míreles, J. L., Woo-Reza, J. L., Munguía-López, J., Rivera-González, M., y Trucíos-Caciano, R. (2012). Producción de maíz forrajero (*Zea mays* L.) en tres sistemas de irrigación en la Comarca Lagunera de Coahuila y Durango, México. *Agrociencia*, 46(3), 267-278.
- Montginoul, M., Loubier, S., Barraqué, B., & Agenais, A. L. (2015). Water pricing in France: Toward more incentives to conserve water. In *Water Pricing Experiences and Innovations* (pp. 139-160). Springer, Cham. doi:10.1007/978-3-319-16465-6_8
- Moreno, G., & Sunding, D. L. (2005). Joint estimation of technology adoption and land allocation with implications for the design of conservation policy. *American Journal of Agricultural Economics*, 87(4), 1009-1019.
- Morett-Sánchez, J. C., & Cosío-Ruiz, C. (2017). Panorama de los ejidos y comunidades agrarias en México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 14(1), 125-152.
- Mullen, J. D., Norton, G. W., & Reaves, D. W. (1997). Economic analysis of environmental benefits of integrated pest management. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 29(1379-2016-113457), 243-253.
- Mzoughi, N. (2011). Farmers adoption of integrated crop protection and organic farming: Do moral and social concerns matter?. *Ecological Economics*, 70(8), 1536-1545. doi: 10.1016/j.ecolecon.2011.03.016
- Namara, R. E., Nagar, R. K., & Upadhyay, B. (2007). Economics, adoption determinants, and impacts of micro-irrigation technologies: empirical results from India. *Irrigation science*, 25(3), 283-297. doi: 10.1007/s00271-007-0065-0
- Negatu, W., & Parikh, A. (1999). The impact of perception and other factors on the adoption of agricultural technology in the Moret and Jiru Woreda (district) of Ethiopia. *Agricultural economics*, 21(2), 205-216. doi: 10.1111/j.1574-0862.1999.tb00594.x

- Negri, D.H. & D.H. Brooks. 1990. Determinants of irrigation technology choice. *Western Journal of Agricultural Economics* 15: 213–223.
- Nejadrezaei, N., Allahyari, M. S., Sadeghzadeh, M., Michailidis, A., & El Bilali, H. (2018). Factors affecting adoption of pressurized irrigation technology among olive farmers in Northern Iran. *Applied Water Science*, 8(6), 1-9. doi: 10.1007/s13201-018-0819-2
- Nonvide, G. M. A. (2017). Effect of adoption of irrigation on rice yield in the municipality of Malanville, Benin. *African Development Review*, 29(S2), 109-120. doi:10.1111/1467-8268.12266
- Nowak, P., Padgett, S., & Hoban, T. J. (1997, February). Practical considerations in assessing barriers to IPM adoption. In Proceedings, 3rd national IPM symposium/workshop: broadening support for 21st century IPM (Vol. 27, pp. 93-114).
- Obisesan, A. (2014). Gender Differences in Technology Adoption and Welfare Impact among Nigerian Farming Households, MPRA Paper No. 58920 available in: https://mpra.ub.uni-muenchen.de/58920/1/MPRA_paper_58920.pdf
- Ohab-Yazdi, S., & Ahmadi, A. (2015) Design and evaluation of irrigation water pricing policies for enhanced water use efficiency. *J. Water Resour. Plan. Manag.*, 142, 5001–5011.
- Olen, B., Wu, J., & Langpap, C. (2015). Irrigation decisions for major west coast crops: Water scarcity and climatic determinants. *American Journal of Agricultural Economics*, 98(1): 254-275. doi: 10.1093/ajae/aav036
- Overfield, D., & Fleming, E. (2001). A note on the influence of gender relations on the technical efficiency of smallholder coffee production in Papua New Guinea. *Journal of Agricultural Economics*, 52 (1): 153-156. doi: 10.1111/j.1477-9552.2001.tb00915.x
- Owusu, V., Asante, A. V., & Pavelic, P. (2013). Assessing the factors influencing groundwater irrigation technology adoption in Ghana. *Irrigation Management, Technologies and Environmental Impact*, 7(1), 181-192.
- Palacios-Vélez, O. L., y Escobar-Villagrán, B. S. (2016). La sustentabilidad de la agricultura de riego ante la sobreexplotación de acuíferos. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(2), 5-16.
- Pannell, D. J., & Vanclay, F. (Eds.). (2011). Changing land management: Adoption of new practices by rural landholders. Csiro Publishing. 189p.
- Pérez-González, J. L., Sánchez-Cohen, I., Mendoza-Moreno, F. S., Inzunza-Ibarra, M. A., y Cueto-Wong, J. A. (2003). Productividad y rendimiento de sandía por efecto del agua en diferentes condiciones de manejo. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 9(2), 209-223.

- Pino, G., Toma, P., Rizzo, C., Miglietta, P., Peluso, A., & Guido, G. (2017). Determinants of farmers' intention to adopt water saving measures: Evidence from Italy. *Sustainability*, 9(1), 77. Doi: 10.3390/su9010077
- Pokhrel, B., Paudel, K., & Segarra, E. (2018). Factors Affecting the Choice, Intensity, and Allocation of Irrigation Technologies by US Cotton Farmers. *Water*, 10(6), 706. doi: 10.3390/w10060706
- Ramírez, D. G., Inzunza, I. M. A., Castorena, V. M., Catalán, V. E. A., & Román, L., A. (2014). Evaluación de tecnología para maximizar la producción de chile serrano en la Región Lagunera. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(8), 1557-1565.
- Rivera, J. J. M., & Flores, E. M. (2011). Determinantes de la Inversión en la Agricultura Mexicana. El Colegio de México, Centro de Estudios Económicos. 32p.
- Robertson, T., S. (1967). The Process of Innovation and the Diffusion of Innovation. *Journal of Marketing* 31 (1967): 14-19.
- Robertson, Thomas S., & Harold H. Kassarian (1991). Handbook of consumer behavior. Prentice Hall, 614 pp.
- Rogers, E. M. (2010). *Diffusion of innovations*. 4th Edition. Simon and Schuster eds. The Free Press New York. 519p.
- Rosegrant, M. W., Ringler, C., & Zhu, T. (2009). Water for agriculture: maintaining food security under growing scarcity. *Annual review of Environment and resources*, 34, 205-222. doi: /10.1146/annurev.enviro.030308.090351
- Rosegrant, M., Cai, X., & Cline, S. (2002). Global water outlook to 2025. Washington, D.C: International Food Policy Research Institute.
- SAGARPA 2011. Anuario estadístico de la producción agropecuaria. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Delegación en La Región Lagunera (Durango-Coahuila). Subdelegación de Planeación y Desarrollo Rural. Ciudad Lerdo, Durango Mayo del 2012. 169p.
- SAGARPA 2018. Anuario estadístico de la producción agropecuaria. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Delegación en La Región Lagunera (Durango-Coahuila). Subdelegación de Planeación y Desarrollo Rural. Ciudad Lerdo, Durango Mayo del 2018. 169p.
- Salazar, C., & Rand, J. (2016). Production risk and adoption of irrigation technology: evidence from small-scale farmers in Chile. *Latin American Economic Review*, 25(1), 1-37. doi: 10.1007/s40503-016-0032-3
- Sánchez, M. E., Castruita, M. A. S., Rangel, P. P., Vidal, J. A. O., Coronado, P. Y., y de Ávila Velázquez, C. (2007). Producción de algodón en doble y triple hilera con riego por goteo subsuperficial. *Terra Latinoamericana*, 25(2), 155-161.

- Schoengold, K., Sunding, D. L., & Moreno, G. (2006). Price elasticity reconsidered: Panel estimation of an agricultural water demand function. *Water resources research*, 42(9). doi: 10.1029/2005WR004096
- Schuck, E. C., Frasier, W. M., Webb, R. S., Ellingson, L. J., & Umberger, W. J. (2005). Adoption of more technically efficient irrigation systems as a drought response. *Water Resources Development*, 21(4), 651-662. doi: 10.1080/07900620500363321
- Schumpeter, J. A. (1939). Business cycles. A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process. McGraw-Hill, New York, 461 pp.
- Shahzadi, E. (2013). Investigating factors influencing adoption of pressurized irrigation systems by farmers case study: Garmsar County, Iran. *American-Eurasian Journal of Agricultural y Environmental Sciences*, 13(1), 32-37.
- SIAP (2019). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Cierre de la producción agrícola. SAGARPA/SIAP. Disponible en <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Sidibé, A. (2005). Farm-level adoption of soil and water conservation techniques in northern Burkina Faso. *Agricultural water management* 71 (3): 211-224. doi: 10.1016/j.agwat.2004.09.002
- Skaggs, R. K. (2001). Predicting drip irrigation use and adoption in a desert region. *Agricultural Water Management*, 51(2), 125-142. doi: 10.1016/S0378-3774(01)00120-2
- Smith, T. J., & McKenna, C. M. (2013). A comparison of logistic regression pseudo R2 indices. *Multiple Linear Regression Viewpoints*, 39(2), 17-26.
- Starkl, M., Brunner, N., Zhong, Y., Li, P., Wang, Y., & Ericson, M. (2014). Overcoming barriers for the management of scarce water resources in Northern China. *Water policy*, 16(6), 991-1008. doi:10.2166/wp.2014.056
- Sunding, D., & Zilberman, D. (2001). The agricultural innovation process: research and technology adoption in a changing agricultural sector. *Handbook of agricultural economics*, 1, 207-261. doi: 10.1016/S1574-0072(01)10007-1
- Surendran, P. (2012). Technology acceptance model: A survey of literature. *International Journal of Business and Social Research*, 2(4), 175-178.
- Tesfahunegn, G. B., Mekonen, K., & Tekle, A. (2016). Farmers' perception on causes, indicators and determinants of climate change in northern Ethiopia: Implication for developing adaptation strategies. *Applied Geography*, 73, 1-12. doi:10.1016/j.apgeog.2016.05.009
- Tey, Y. S., & Brindal, M. (2012). Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: a review for policy implications. *Precision agriculture*, 13(6), 713-730. doi: 10.1007/s11119-012-9273-6

- Troyo-Diéguéz, E., Cruz-Falcón, A., Norzagaray-Campos, M., Beltrán-Morales, L. F., Murillo-Amador, B., Beltrán-Morales, F. A., & Valdez-Cepeda, R. D. (2010). Agotamiento hidro-agrícola a partir de la Revolución Verde: extracción de agua y gestión de la tecnología de riego en Baja California Sur, México. *Estudios sociales (Hermosillo, Son.)*, 18(36), 177-201.
- Vatta, K., Sidhu, R. S., Lall, U., BIRTHAL, P. S., Taneja, G., Kaur, B., & MacAlister, C. (2018). Assessing the economic impact of a low-cost water-saving irrigation technology in Indian Punjab: the tensiometer. *Water International*, 43(2), 305-321. doi:10.1080/02508060.2017.1416443
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS quarterly*, 425-478.
- Villalobos-Cano, O., Sánchez-Chávez, E., Morales-Nieto, C. R., Esparza-Vela, M. E., & Santellano-Estrada, E. (2018). Análisis de la eficiencia productiva del cultivo de alfalfa mediante regresión logística de datos categóricos en el Distrito de Riego 05-Delicias, Chihuahua, México. *Nova scientia*, 10(20), 352-368. doi: 10.21640/ns.v10i20.1348
- Walker, D. A., & Smith, T. J. (2016). JMASM36: Nine Pseudo R² Indices for Binary Logistic Regression Models (SPSS). *Journal of Modern Applied Statistical Methods*, 15(1): 848–854. doi: 10.22237/jmasm/1462077720
- Wang, J., Klein, K. K., Bjornlund, H., Zhang, L., & Zhang, W. (2015). Adoption of improved irrigation scheduling methods in Alberta: An empirical analysis. *Canadian Water Resources Journal/Revue canadienne des ressources hydriques*, 40(1), 47-61. doi: 10.1080/07011784.2014.975748
- Wang, J., Zhu, Y., Sun, T., Huang, J., Zhang, L., Guan, B., & Huang, Q. (2019). Forty years of irrigation development and reform in China. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 59: 1-24. doi: 10.1111/1467-8489.12334
- Wheeler, S., Bjornlund, H., Olsen, T., Klein, K. K., & Nicol, L. (2010). Modelling the adoption of different types of irrigation water technology in Alberta, Canada 134: 189-201. WIT Press. ISSN 1743-3541 (on-line).
- Zhang, B., Fu, Z., Wang, J., & Zhang, L. (2019). Farmers' adoption of water-saving irrigation technology alleviates water scarcity in metropolis suburbs: A case study of Beijing, China. *Agricultural Water Management*, 212, 349-357. doi: 10.1016/j.agwat.2018.09.021
- Zhang, S., Sun, Z., Ma, W., & Valentinov, V. (2020). The effect of cooperative membership on agricultural technology adoption in Sichuan, China. *China Economic Review*, 62, 101334. doi: 10.1016/j.chieco.2019.101334
- Zhou, Q., Wu, F., & Zhang, Q. (2015). Is irrigation water price an effective leverage for water management? An empirical study in the middle reaches of the Heihe River basin. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 89, 25-32.

ANEXOS

ANEXO I. Formato de entrevista

Municipio: _____ Fecha: ____/____/____ No _____

1. Nombre del productor _____

2. Sexo: F(1) _____ M(2) _____ Edad: _____ años

3. Escolaridad (último grado escolar terminado): _____

4. Usted es jefe de familia:

a) Si (1) b) No (0)

5. ¿Cuántas personas dependen económicamente de usted? _____

6. ¿Se dedica usted de forma total a la actividad agrícola?

a) Si (1) b) No (0)

7. ¿Cuántos años de experiencia tiene como agricultor? Años

8. ¿Alguno de los miembros de su familia colabora con usted en la actividad agrícola?

a) Si (1) b) No (0)

9. ¿Usted decide cómo se distribuyen los ingresos familiares en la actividad agrícola?

a) Si (1) b) No (0)

10. ¿Cuál es el ingreso anual aproximado que percibe por las actividades agrícolas? _____

11. ¿Pertenece usted a alguna organización u asociación?

a) Si (1) b) No (0)* *pasar a la pregunta 13

12. Nombre de la organización u asociación a la que pertenece

13. ¿Se reúne usted con otros productores para tratar temas relacionados con la agricultura?

a) Si (1) b) No (0)

14. ¿Usted acostumbra leer libros, revistas, folletos o algún otro texto relacionado con temas agrícolas?

a) Si (1) b) No (0)

Información relativa a la unidad productiva

15. ¿Cuánta superficie tiene en total? Has
16. ¿Cuál es la posesión legal de la tierra en la que cultiva?
- a) Propietario (1) b) Arrendatario (2)
17. ¿Cuál es la tenencia de la tierra?
- a) Ejido (1) b) Pequeña propiedad (2)

Información sobre el cultivo y la producción

Entre marzo del año pasado y febrero de este año que cultivo produjo principalmente

¿Qué cultivo sembró o plantó?	¿Cuándo los sembró?		¿Cuántas hectáreas sembró o tiene plantadas?	¿Cuántas hectáreas son de riego?	¿Cuántas hectáreas cosecho o están en producción?	¿Cuántas toneladas obtuvo o cosecho?	¿Cuál fue el precio por tonelada de la última venta?
	Mes	Año					
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

19. ¿Contrata mano de obra para las distintas actividades?
- a) Si (1) b) No (0) * * pasar a la pregunta 21
20. ¿Cuánto paga por jornal?
21. ¿Usted recibe algún tipo de asistencia técnica?
- a) Si (1) b) No (0)

Información sobre el tipo de riego empleado por el productor

22. Fuente de abastecimiento de agua
- a) Pozo ó bombeo *pasar a la 23 b) Presa ó gravedad *pasar a la 25

23. ¿Cuánto paga al año por extracción de agua de bombeo, volumen o por concesión?
24. Suponga usted que la tarifa eléctrica del pozo se incrementa 100% ¿Qué haría?, indique solo una opción.
- a) Pagaría la nueva tarifa
- b) cambiaría de cultivo (otro que requiera menos agua)
- c) Adoptaría tecnología de riego más eficiente
- d) Disminuiría la superficie sembrada
- e) Abandonaría la actividad agrícola
- f) Otra ¿Cuál?

25. ¿Cuánto paga por cuota de riego por hectárea por año?
26. Suponga usted que la cuota de riego de gravedad se incrementara 100% ¿Qué haría?, indique solo una opción
- g) Perforaría un pozo
- h) Pagaría la nueva cuota
- i) Cambiaría de cultivo (otro que genere más ingreso)
- j) Adoptaría tecnología de riego más eficiente
- k) Disminuiría la superficie sembrada
- l) Abandonaría la actividad agrícola
- m) Otra ¿Cuál? _____
27. ¿Usted ha modernizado o mejorado su sistema de riego en los últimos 7 años?
- a) Si (1) b) No (0)
28. ¿Qué sistema de riego emplea? _____
- a) Riego rodado o superficial (surcos o melgas)** ** pasar a la pregunta 31
- b) Riego por aspersión (cañones, pivote)
- c) Riego focalizado (micro-riego, goteo)
29. Indique el origen de los recursos con los cuales modernizo el riego, indique solo una opción.
- a) Recursos propios exclusivamente
- b) Recursos propios y gubernamentales
- c) Recursos gubernamentales y crédito de proveedores
- d) Crédito de banca comercial
- e) Crédito de prestamistas
30. ¿Cuáles fueron las razones por las que modernizo su sistema de riego?, indique solo una opción.
- a) Escasez de agua
- b) Ahorro de agua
- c) Incrementar la producción
- d) Reducir el uso de fertilizantes
- e) Disminuir el número de jornales
- f) Mejorar la calidad de la cosecha
- g) Otra ¿Cuál? _____
31. ¿Usted ha tenido la intención de modernizar su riego?
- Si (1) No (0)* * fin de la encuesta
32. ¿La falta de recursos ha sido una razón por la que no ha podido tecnificar el riego?
- Si (1) No (0)*

ANEXO II. Programa y salida modelo logit

```

DATA TR;
INPUT T Y X3 X6 X19 X22 X23 X25;
CARDS;
    1    1    9    1    1    1    1    45.5
    2    0    6    0    0    0    1    57
    3    0    3    0    0    0    1    42.1
    4    0   12    0    1    0    0    40
    .    .    .    .    .    .    .    .
    .    .    .    .    .    .    .    .
    .    .    .    .    .    .    .    .
    .    .    .    .    .    .    .    .
135    0   18    1    1    0    1    45
136    0    6    0    1    0    1    43.7
137    0    6    0    0    0    1    44.8
138    0    6    0    0    0    1    40
139    0   12    0    0    0    1    50
;
PROC MEANS;
PROC PRINT;
PROC LOGISTIC DATA=TR DESCENDING OUTEST=BETAS2; /*DESCENDING TELLS SAS TO
MODEL 1'S RATHER THAN 0'S. (0'S ARE DEFAULT)*/
CLASS Y X1 X4 X6 X8 X11 X12 X14 X15 X16 X19 X20 X22;
MODEL Y= X3 X6 X19 X22 X23 X25;
OUTPUT OUT=C P=PROB XBETA=XB;
DATA EFFECTO; SET C; DROP X3 X6 X7 X19 X22 X23 X25;
proc qlim data=TR;
    model Y= X3 X6 X19 X22 X23 X25/ discrete(d=logistic);
    output out=outqlim marginal;
run;
proc print data=outqlim (obs=139) noobs;
var X3 X6 X19 X22 X23 X25 meff;;
run;
proc means data=outqlim mean min max;
var Meff_P2;;
run;
data me_diff;
set A me_diff;
run;
proc logistic data=TR;
model Y(event="1")= X3 X6 X19 X22 X23 X25;
effectplot fit(x=X3) / at( X6=1 X19=0 X22=1 X23=2.0 X25=2.1)
noobs nolimits;
estimate 'X3 1' intercept 0 X3 6,
        'X3 2' intercept 0 X3 16 / ilink e;
ods output coef=coeffs;
store log;
QUIT;
run;

```

The LOGISTIC Procedure

Model Information

Data Set WORK.TR
Response Variable Y
Number of Response Levels 2
Model binary logit
Optimization Technique Fisher's scoring

Number of Observations Read 139

Number of Observations Used 139

Response Profile

Ordered Value	Y	Total Frequency
1	0	111
2	1	28

Probability modeled is Y=1.

Model Convergence Status

Convergence criterion (GCONV=1E-8) satisfied.

Model Fit Statistics

Criterion	Intercept Only	Intercept and Covariates
AIC	141.665	43.870
SC	144.599	64.411
-2 Log L	139.665	29.870

Testing Global Null Hypothesis: BETA=0

Test	Chi-Square	DF	Pr > ChiSq
Likelihood Ratio	109.7946	6	<.0001
Score	93.0651	6	<.0001

Testing Global Null Hypothesis: BETA=0

Test	Chi-Square	DF	Pr > ChiSq
Wald	21.0965	6	0.0018

Analysis of Maximum Likelihood Estimates

Parameter	DF	Estimate	Standard Error	Wald Chi-Square	Pr > ChiSq
Intercept	1	-14.6889	3.6700	16.0192	<.0001
X3	1	0.1673	0.1133	2.1779	0.1400
X6	1	3.1953	1.3312	5.7618	0.0164
X19	1	3.4172	1.3658	6.2595	0.0124
X22	1	7.4522	1.6800	19.6777	<.0001
X23	1	0.2238	0.1003	4.9745	0.0257
X25	1	0.0949	0.0343	7.6458	0.0057

Odds Ratio Estimates

Effect	Point Estimate	95% Wald Confidence Limits	
X3	1.182	0.947	1.476
X6	24.418	1.797	331.758
X19	30.483	2.096	443.255
X22	>999.999	64.044	>999.999
X23	1.251	1.027	1.523
X25	1.100	1.028	1.176

Association of Predicted Probabilities and Observed Responses

Percent Concordant	99.0	Somers' D	0.981
Percent Discordant	1.0	Gamma	0.981
Percent Tied	0.0	Tau-a	0.318
Pairs	3108	c	0.990

ANEXO III. Programa y salida modelo logístico multinomial

```

DATA PA;
INPUT T Y$ X7 X16 X17 X25;
CARDS;
  1   B   50    1  2.64   1
  2   A   25    1    4    1
  3   B   45    1  2.14   1
  4   C    3    1   33    1
  .   .   .    .    .    .
  .   .   .    .    .    .
  .   .   .    .    .    .
  .   .   .    .    .    .
  .   .   .    .    .    .
  .   .   .    .    .    .
135  B   15    0   10    0
136  B   10    0  2.52   0
137  B   10    0  6.48   0
138  B   10    0   10    0
139  B   20    0   18    0
proc logistic data = PA descending;
class Y X16 X25;
  model Y (ref = "D") = X7 X16 X17 X25 / LINK=GLOGIT;
ods output ParameterEstimates=betas;
output out=preds predprobs=individual;
run;
proc print;
by predprobs=individual
run;
quit;
proc transpose data=betas out=rowbetas;
var estimate;
run;
data margeff;
if _n_=1 then set rowbetas;
set preds;
SumBetaPred=col2*IP_A + col3*IP_B + col4*IP_C;
METECH=IP_A*(col2-SumBetaPred);
MECHANGE=IP_B*(col3-SumBetaPred);
MEPAY=IP_C*(col4-SumBetaPred);
MEDRILL=IP_D*(-SumBetaPred);
run;
proc sort nodupkey;
by X25;
run;
  proc print;
    id X25;
    var me;;
    run;
quit;
  proc means data=margeff mean;
    var me;
    run;

```

The LOGISTIC Procedure

Model Information

Data Set WORK.PA
Response Variable Y
Number of Response Levels 4
Model generalized logit
Optimization Technique Newton-Raphson

Number of Observations Read 139

Number of Observations Used 139

Response Profile

Ordered Value	Y	Total Frequency
1	D	9
2	C	71
3	B	42
4	A	17

Logits modeled use Y='D' as the reference category.

Class Level Information

Class	Value	Design Variables
X16	0	1
	1	-1
X25	0	1
	1	-1

Model Convergence Status

Convergence criterion (GCONV=1E-8) satisfied.

Model Fit Statistics

Criterion	Intercept Only	Intercept and Covariates
AIC	322.640	317.073
SC	331.443	361.090
-2 Log L	316.640	287.073

Testing Global Null Hypothesis: BETA=0

Test	Chi-Square	DF	Pr > ChiSq
Likelihood Ratio	29.5669	12	0.0032
Score	30.1910	12	0.0026
Wald	21.1363	12	0.0484

Type 3 Analysis of Effects

Effect	DF	Wald Chi-Square	Pr > ChiSq
X7	3	9.3402	0.0251
X16	3	7.8444	0.0493
X17	3	1.8293	0.6086
X25	3	5.3784	0.1461

Analysis of Maximum Likelihood Estimates

Parameter	Y	DF	Estimate	Standard Error	Wald Chi-Square	Pr > ChiSq
Intercept	C	1	4.5500	1.4820	9.4266	0.0021
Intercept	B	1	4.0575	1.5332	7.0034	0.0081
Intercept	A	1	4.4192	1.5934	7.6920	0.0055
X7	C	1	-0.0689	0.0307	5.0356	0.0248
X7	B	1	-0.0807	0.0321	6.3213	0.0119
X7	A	1	-0.1065	0.0360	8.7760	0.0031
X16	0 C	1	1.0700	0.4606	5.3976	0.0202
X16	0 B	1	1.4509	0.5485	6.9961	0.0082

Analysis of Maximum Likelihood Estimates

Parameter	Y	DF	Estimate	Standard Error	Wald Chi-Square	Pr > ChiSq
X16	0 A	1	0.7873	0.5762	1.8672	0.1718
X17	C	1	0.1680	0.1301	1.6687	0.1964
X17	B	1	0.1638	0.1303	1.5795	0.2088
X17	A	1	0.1636	0.1306	1.5688	0.2104
X25	0 C	1	-1.5295	0.6950	4.8431	0.0278
X25	0 B	1	-1.3658	0.7995	2.9188	0.0876
X25	0 A	1	-1.7292	0.7965	4.7131	0.0299