



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**CENTRO DE INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL UNIDAD DURANGO**

**Evaluación de la tecnología poli acrilato de potasio como herramienta de la
GIRH, para la eficiencia del uso del agua de lluvia en el cultivo de frijol de
temporal, en el ejido de Nuevo Ideal, Durango, México, en el ciclo 2018-2019.**

TESIS

Que Para Obtener El Grado De Maestro En Ciencias En Gestión Ambiental.

Presenta

Ing. Industrial Olga Guadalupe Rentería Tamayo

Directores

Dra. Erika Cassio Madrazo

M. en C. José Natividad Uribe Soto

Asesores

Dr. Jonathan Gabriel Flores Escobar

Dr. Eduardo Sánchez Ortiz

Victoria de Durango, Dgo; México. 2019



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Durango, Dgo. siendo las 13:16 horas del día 03 del mes de junio del 2019 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del: CIIDIR-IPN Unidad Durango para examinar la tesis titulada:

Evaluación de la tecnología poli acrilato de potasio como herramienta de la GIRH, para la eficiencia del uso de agua de lluvia en el cultivo de frijol de temporal, en el ejido de Nuevo Ideal, Durango, México en el ciclo 2018-2019

Presentada por el alumno:

<u>RENTERÍA</u>	<u>TAMAYO</u>	<u>OLGA GUADALUPE</u>
Apellido paterno	Apellido materno	Nombre(s)
		Con registro: B 1 7 0 3 3 0

aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

Dra. Erika Cassio Madrazo

M. en C. José Natividad Uribe Soto

Dr. Jonathan Gabriel Escobar Flores

Dr. Eduardo Sánchez Ortiz

M. en C. Elizabeth Medina Herrera

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

Dr. Eduardo Sánchez Ortiz





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Durango, Dgo. siendo las 13:16 horas del día 03 del mes de junio del 2019 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del: CIIDIR-IPN Unidad Durango para examinar la tesis titulada:

Evaluación de la tecnología poli acrilato de potasio como herramienta de la GIRH, para la eficiencia del uso de agua de lluvia en el cultivo de frijol de temporal, en el ejido de Nuevo Ideal, Durango, México en el ciclo 2018-2019

Presentada por el alumno:

RENTERÍA

TAMAYO

OLGA GUADALUPE

Apellido paterno

Apellido materno

Nombre(s)

Con registro:

B	1	7	0	3	3	0
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

Dra. Erika Cassio Madrazo

M. en C. José Natividad Uribe Soto

Dr. Jonathan Gabriel Escobar Flores

Dr. Eduardo Sánchez Ortiz

M. en C. Elizabeth Medina Herrera

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

Dr. Eduardo Sánchez Ortiz





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Durango, Dgo., el día 31 del mes de mayo del año 2019, la que suscribe **Olga Guadalupe Rentería Tamayo** alumna del Programa de Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental, con número de registro **B170330**, adscrito al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango. **CIIDIR-IPN Unidad Durango**, manifiesta que es la autora intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de la **Dra. Erika Cassio Madrazo** y del **M. en C. José Natividad Uribe Soto** y cede los derechos del trabajo titulado “Evaluación de la tecnología poli acrilato de potasio como herramienta de la GIRH, para la eficiencia del uso de agua de lluvia en el cultivo de frijol de temporal, en el ejido de Nuevo Ideal, Durango, México en el ciclo 2018-2019”, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso de la autora y/o directores del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones olga-tamayo2@outlook.es, erikassio@gmail.com y jnus2000@yahoo.com.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Olga Rent.

OLGA GUADALUPE RENTERÍA TAMAYO

La presente investigación se desarrolló en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Durango, bajo la dirección de la Dra. Erika cassio madrazo y el M. en C. José Natividad Uribe Soto.

DEDICADO Con todo mi amor y cariño a:

Mis padres Olga María Tamayo Amaro y Raúl Gregorio Renteria Gutiérrez por su sacrificio y esfuerzo al ser el principal cimiento de mi vida y educación. También por siempre brindarme su apoyo, comprensión y amor incondicional.

A mi hermano Raúl Israel Renteria Tamayo por mostrarme el camino hacia la superación, así como el valor de la paciencia y la autocrítica. En el veo el espejo en el que me quiero reflejar pues sus virtudes infinitas me hacen admirarlo.

Al Cuco por su invaluable apoyo y afecto.

Y a todos mis seres queridos quienes me han permitido aprender más de la vida a su lado.

ÍNDICE

RESUMEN	vi
ABSTRAC	vi
INTRODUCCIÓN	1
I. ANTECEDENTES	3
1.1. El Problema del Agua	3
1.1.1. Disponibilidad y uso de Agua en el Mundo	5
1.1.2. Disponibilidad y uso de Agua en México	7
1.2.3. Disponibilidad y uso de Agua en Durango	11
1.2. Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH)	13
1.2.1. Gestión integrada del recurso hídrico en México	17
1.2.2. Cuencas hidrográficas como unidad territorial de análisis	18
1.2.3. Gestión Sectorial del Agua	23
1.2.4. El agua y la agricultura	24
1.3. Desarrollos Tecnológicos y Transferencia de Tecnología.....	25
1.3.1. Concepto de tecnología	26
1.3.2. Transferencia de tecnología	27
1.3.3. Procesos de la transferencia tecnológica	28
1.3.4. Mecanismos de la transferencia tecnológica	29
1.3.5. Transferencia de tecnología en el sector agropecuario de México.	31
1.3.6. La transferencia de tecnología como alternativa para el desarrollo rural	35
1.4. Importancia del riego	35
1.4.1. Balance hídrico	36
1.4.2. Requerimientos hídricos	36
1.4.3. Coeficiente de cultivo (KC)	36
1.4.4. Cantidad y frecuencia de riego	36
1.4.5. Calidad de agua.....	37
1.5. Tecnologías hídricas empleadas en el sector agrícola	38
1.5.1. Tecnologías hídricas empleadas en la agricultura de riego	38
1.5.2. Tecnologías hídricas empleadas en la agricultura de temporal.	39

1.5.2.1. Surcado al contorno	40
1.5.2.2. Pileteo.....	40
1.6. Los polímeros como estrategia para el aprovechamiento sustentable del agua	41
1.6.1. Hidrogeles	41
1.6.1.1. Funcionamiento	42
1.6.1.2. Hidrogeles en los sectores agrícola y forestal	43
1.6.2. Poli acrilato de potasio: desarrollo tecnológico para el aprovechamiento sustentable del agua.....	44
1.6.2.1. Funcionamiento del Poli acrilato de potasio	45
1.6.2.2. Beneficios del Poli acrilato de potasio	47
1.6.2.3. Aplicación del Poli acrilato de potasio.....	49
1.6.2.4. Costos lluvia sólida	51
1.7. Cultivo de frijol.....	51
1.7.1. Producción de frijol en México	53
1.7.2. Producción de frijol en Durango.....	54
II. JUSTIFICACIÓN.....	56
III. OBJETIVOS	58
3.1 Objetivo general.....	58
3.2 Objetivos específicos	58
IV.HIPÓTESIS.....	59
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	59
5.1. Descripción del área de estudio	61
5.2. Población objetivo	61
5.3. Metodología del estudio	62
5.4. Evaluación técnica	62
5.4.1. Evaluación de la eficacia de la lluvia sólida: Pruebas de saturación....	62
5.4.2. Evaluación de la eficiencia del hidrogel: Implementación de diseño experimental en campo.....	63
5.4.2.1. Aplicación de la lluvia Sólida en campo.....	65
5.4.2.2. Descripción del ciclo del cultivo del experimento.....	66
5.4.2.3. Análisis de suelo.....	68
5.4.2.4. Índice de germinación.....	68

5.4.2.5. Índice de emergencia	69
5.4.2.6. Obtención de datos	69
Altura y etapa fenológica	69
Nódulos presentes en raíz.....	69
Datos referentes a las etapas reproductivas de la planta.....	70
5.4.2.7. Análisis estadístico de los datos obtenidos en el diseño experimental	71
5.5. Evaluación social	73
5.5.1. Diseño del instrumento	73
5.5.2. Validación del instrumento.....	73
5.5.3. Aplicación del instrumento a productores del Ejido de Nuevo Ideal	74
5.5.4. Análisis estadístico de los datos obtenidos en la encuesta.	76
5.6. Análisis FODA: Propuesta de estrategias.....	76
VI.RESULTADOS.....	77
6.1. Resultados obtenidos en la evaluación de la eficacia de la lluvia sólida: Pruebas de saturación.	77
6.2. Resultados obtenidos en la evaluación de la eficiencia del hidrogel: Implementación de diseño experimental en campo	77
6.2.1. Análisis de suelo.....	78
6.2.2. Índices de germinación y emergencia.....	79
6.2.3. Análisis de Varianza (ANOVA) de un factor y prueba de medias	79
6.2.4. Análisis de Varianza (ANOVA) de dos factores	81
6.2.5. Correlación de Pearson	82
6.2.6. Análisis de agrupamiento.....	85
6.2.7. Análisis de componentes principales (APC)	86
6.3. Resultados de la evaluación social de la lluvia sólida: encuesta aplicada a productores de frijol de temporal del ejido de Nuevo ideal.....	88
6.3.1. Caracterización de la muestra	88
6.3.2. Resultados obtenidos referentes a la gestión integrada del recurso hídrico y tecnificación.....	89
6.3.3. Resultados obtenidos referentes a la Lluvia sólida	95
6.4. Propuesta de estrategias.....	100
VII. Discusión	103
VIII. Conclusiones	104

IX. Recomendaciones	106
X. Bibliografía	107
ANEXOS	114
Anexo 1. Línea del tiempo del ciclo del cultivo en campo.	114
Anexo 2. Formato de encuesta piloto.....	115
Anexo 3. Programa para la aplicación de encuestas en el ejido de Nuevo Ideal, Municipio de Nuevo Ideal.....	117
Anexo 4. Formato de encuesta de la encuesta aplicada a los productores del ejido de Nuevo Ideal.....	118

GLOSARIO

Ápice. Punta o extremo de una cosa, ya sea hoja, fruto, tallo, etc.

Secano. Terreno de cultivo que no tiene riego y solamente se beneficia del agua de la lluvia.

Ejido. Terreno comunal a las afueras de una población que se destina a servicios comunes, como tierras agrícolas o pastos de ganado. // Sistema de distribución y posesión de la tierra que se institucionalizó después de la Revolución mexicana y que consiste en otorgar un terreno a un grupo de personas para su explotación.

Estrategia. Serie de acciones muy meditadas, encaminadas hacia un fin determinado.

Hidrogel. Gel con la capacidad de retener agua.

Pedicelo. Soporte delgado y alargado que sostiene una sola flor o un solo fruto.

Polímero. Sustancia química que resulta de un proceso de polimerización.

LISTA DE ACRÓNIMOS

CEMDA. Centro Mexicano de Derecho Ambiental.

CIAT. Centro Internacional de Agricultura Tropical.

CONAGUA. Comisión Nacional del Agua.

FEA. Fondo Educación Ambiental

INEGI. Instituto nacional

INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

SAGARPA. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1. Comparación regional de la distribución del agua renovable, población y PIB. Elaboración propia con dato de CONAGUA (2016).....	8
Figura 2. Grado de presión sobre el recurso hídrico en México. Fuente: (CONAGUA, 2016).	9
Figura 3. Regiones Hidrológicas de México. Fuente: (CONAGUA, 2016).....	10
Figura 4. Partes de las cuencas. Fuente: (Ordoñez, 2011).	19
Figura 5. Tipos de Cuencas: a) Exorreicas, b) Endorreicas y c) Arreicas. Fuente: (Ordoñez, 2011).	20
Figura 6. Mapa de regiones hidrológico administrativas. Fuente: (CONAGUA, 2016).	22
Figura 7. Jerarquización de acciones en cuencas hidrográficas. Fuente: (Aguirre, 2011).	23
Figura 8. Almacenamiento de agua por medio de la técnica de surcado al contorno. Fuente: (SAGARPA, s.f.).....	40
<i>Figura 9. Representación esquemática de la técnica de pileteo. Fuente: (Prieto et al., 2012).</i>	<i>41</i>
Figura 10. Molécula de poli acrilato de potasio. Fuente: (Alarcón, 2003).	44
Figura 11. Funcionamiento del poli acrilato de potasio. Fuente: (Alarcón, 2003).	46
Figura 12. Chavarría, E., Así funciona el agua sólida (infografía). Recuperado de http://www.razon.com.mx/spip.php?article109467	47
Figura 13. Diferencia entre los cultivos con y sin lluvia sólida. Recuperado de: http://sitios.dif.gob.mx/dgadc/wp-content/uploads/2012/10/LluviaSolida.pdf	48
<i>Figura 14. Etapas fenológicas del frijol. Fuente: (Fernández, Gepts y López, 1986). 52</i>	<i>52</i>
Figura 15. Producción de frijol de diciembre del 2015 a diciembre del 2017. Fuente: (SIAP, 2015-2017).....	54
Figura 16. Producción de frijol en el Estado de Durango, periodo del 2015-2017. Fuente: (SIAP, 2015-2017).....	55
Figura 17. Superficie de cultivos de frijol sembrada del año 2015 al 2017. Fuente (SIAP, 2015-2017).....	56
Figura 18. Ingresos por cultivo, Nuevo Ideal, Durango. Fuente: (SIAP, 2016)	57
Figura 19. Ubicación del Ejido de Nuevo Ideal. Fuente: Elaboración propia.	61
Figura 20. Diseño estadístico del experimento en campo.	64
Figura 21. Distribución de las unidades experimentales.	65
Figura 22. Dimensiones por unidad experimental.	65
Figura 23. Proceso de aplicación del agua sólida.	66
Figura 24. Pluviómetro en campo.....	67
Figura 25. Aprovechamiento de agua en la parcela demostrativa.	67
Figura 26. Conchuela (<i>Epilachna varivestis</i>) encontrada en campo.....	68
Figura 27. Germinación de semillas de frijol en estufa.	68
Figura 28. Germinación de semillas de frijol.....	69
Figura 29. Nódulos en raíz.	70

Figura 30. Conteo de vainas.	70
Figura 31. Conteo de granos.....	71
Figura 32. Medición de la longitud de vaina.	71
Figura 33. Peso de cosecha de 25 granos de frijol.	71
Figura 34. Validación del instrumento (prueba piloto) en el Ejido de Independencia y Libertad, Durango.....	74
Figura 35. Aplicación del instrumento a productores de frijol del Ejido de Nuevo Ideal, Durango.....	75
Figura 36. Vitrina demostrativa.....	75
Figura 37. Botellas con agua sólida.	76
Figura 38. Pruebas de Saturación del agua sólida.....	77
Figura 39. Gráfico de medias de la variable longitud promedio de vaina.	81
Figura 40. Matriz de correlación de las variables de estudio.....	83
Figura 41. Peso de 25 granos de frijol por tratamiento (medidas sin aplicación de Ln). *Nota: el tratamiento 7 es el testigo.	84
Figura 42. Cantidad promedio de granos por planta por tratamiento (medidas sin aplicación de Ln). *Nota: el tratamiento 7 es el testigo.....	85
Figura 43. Dendograma de los seis tratamientos y el testigo usados en el diseño experimental en campo.	86
Figura 44. Ubicación de los seis tratamientos y el testigo, y el comportamiento de los vectores variable en base al APC de las siete variables de estudio.....	87
Figura 45. Tipo de cultivo.	89
Figura 46. Método de preparación de suelo empleado por los productores de frijol encuestados.	89
Figura 47. Necesidad de considerar otros recursos (suelo, biodiversidad, etc.) en las actividades de aprovechamiento de agua.	90
Figura 48. Percepción de los productores encuestados sobre la satisfacción de necesidades hídricas de generaciones presentes y futuras.	91
Figura 49. Percepción de los productores encuestados sobre daños en cultivos por falta de agua.....	91
Figura 50. Percepción de los productores encuestados sobre infraestructura para abastecimiento de agua sus cultivos.....	92
Figura 51. Percepción de los productores encuestados sobre la eficiencia del aprovechamiento del agua en sus cultivos.....	92
Figura 52. Percepción de los productores encuestados sobre la incidencia de una tecnificación en la mejora del aprovechamiento del agua.	93
Figura 53. Disposición de los productores sobre una tecnificación para la mejora del aprovechamiento del agua en sus cultivos.....	93
Figura 54. Percepción de los productores encuestados sobre su posibilidad económica para realizar una tecnificación en sus cultivos.	94
Figura 55. Alternativas tecnológicas de interés para los productores encuestados. .	94
Figura 56. Porcentaje de productores que conocían la lluvia solida previo a la aplicación del instrumento.....	95

Figura 57. Porcentaje de encuestados que considera la lluvia sólida como una tecnología.....	95
Figura 58. Porcentaje de encuestados que cree que la lluvia sólida puede ayudar a aprovechar mejor el agua en cultivos de temporal.....	96
Figura 59. Porcentaje de encuestados que la lluvia sólida puede ayudar a aprovechar mejor el agua en cultivos de riego.....	96
Figura 60. Porcentaje de encuestados que considera que la lluvia sólida puede mejorar los rendimientos en sus cultivos de frijol.....	97
Figura 61. Porcentaje de encuestados que estaría dispuesto a emplear la lluvia sólida en sus cultivos.....	97
Figura 62. Porcentaje de encuestados que considera puede pagar la lluvia sólida. .	98
Figura 63. Porcentaje de encuestados que sabe dónde adquirir la lluvia sólida.	98
Figura 64. Porcentaje de encuestados que considera sencilla la adquisición de la lluvia sólida.....	99
Figura 65. Relación de productores dispuestos a emplear la lluvia sólida según edad.	99
Figura 66. Relación de productores dispuestos a emplear la lluvia solida según nivel de estudios.....	100

RELACIÓN DE CUADROS

Cuadro 1. Superficie estatal por tipo de clima (Durango). Fuente (INEGI, 2017).....	12
Cuadro 2. Amenazas a funciones eco sistémicas del agua dulce debido a actividades humanas (según Daily) Fuente: (Aguirre, 2011).....	21
Cuadro 3. Mecanismos de transferencia de tecnología. Fuente: (Galindo, 2004).....	29
Cuadro 4. Modelos de trasferencia de tecnología propuestos para México. Fuente:(Aguilar y Ortiz, 2000).	34
Cuadro 5. Parámetros para medir la calidad del agua. Fuente: (Arias, et al., 2007). 37	
Cuadro 6. Tipos de sistema de riego. Fuente: (Flores, et al., 2014; CIIDIR Durango, 2016).....	38
Cuadro 7. Información toxicológica del poli acrilato de potasio. Fuente: (Alarcón, 2003).....	48
Cuadro 8. Costos de la lluvia sólida. Fuente: http://www.lluviasolidashop.com/index.php	51
Cuadro 9. Operacionalización de variables.....	59
Cuadro 10. Proceso metodológico propuesto.	60
Cuadro 11. Muestra de las pruebas de saturación de la lluvia sólida.....	63
Cuadro 12. Características físicas y nutrimentales del suelo empleado en el diseño experimental en el ejido de Nuevo Ideal, DGO.	78
Cuadro 13. Medias e intervalos de confianza de las variables altura promedio de planta, numero promedio de nódulos por planta y peso promedio de la raíz seca....	79

Cuadro 14. Medias e intervalos de confianza de las variables cantidad promedio de vainas por planta, cantidad promedio de granos por planta y peso de cosecha de 25 granos.	80
Cuadro 15. Resumen de ANOVA de un factor de la variable longitud promedio de vaina.....	81
Cuadro 16. Resumen de ANOVA de dos factores de la variable longitud promedio de vaina.....	82
Cuadro 17. Análisis FODA de la implementación de Lluvia sólida en el ejido de Nuevo Ideal.	100
Cuadro 18. Matriz CAME de la implementación de Lluvia sólida en el ejido de Nuevo Ideal.	102

RESUMEN

El presente trabajo evaluó la tecnología del poli acrilato de potasio (Lluvia sólida) con la finalidad mejorar el uso eficiente del agua de lluvia en los cultivos de frijol de temporal del Ejido de Nuevo Ideal. Esta evaluación se dividió en cuatro etapas: 1) recopilación y análisis de información secundaria; 2) una evaluación técnica de la lluvia sólida, que consistió en evaluar la eficacia del hidrogel mediante la realización de pruebas de saturación, y en evaluar la eficiencia del hidrogel implementado un diseño experimental en campo; 3) una evaluación social de la lluvia sólida por medio de la aplicación y análisis de encuestas a productores de frijol del ejido de Nuevo Ideal; y 3) Con la elaboración de un análisis FODA proponer estrategias de gestión sectorial para la transferencia de tecnológica a productores de frijol del ejido de Nuevo Ideal, las cuales incidan en mejorar el uso eficiente del agua en dicho ejido.

Palabras clave: poli acrilato de potasio, uso eficiente del agua de lluvia, Nuevo Ideal, Hidrogel, eficiencia, eficacia.

ABSTRAC

The present work evaluated the technology of potassium polyacrylate (solid rain) in order to improve the efficient use of rainwater in the dried crops of bean of Ejido de Nuevo Ideal. This evaluation was divided into four stages: 1) collection and analysis of secondary information; 2) a technical evaluation of the solid rain, which consisted in evaluating the efficiency of the hydrogel by performing saturation tests, and in evaluating the efficiency of the hydrogel implemented an experimental design in the field; 3) a social evaluation of the solid rain by means of the application and analysis of surveys to bean producers of the ejido Nuevo Ideal; and 3) With the elaboration of a SWOT analysis, propose sector management strategies for the transfer of technology to bean producers of the ejido Nuevo Ideal, which will affect the efficient use of water in said place.

Key words: potassium polyacrylate, efficient use of rainwater Nuevo Ideal, hydrogel, efficiency.

INTRODUCCIÓN

El agua es un factor de gran importancia para el origen y permanencia de la vida, ya que da lugar a la existencia de los ecosistemas y la humanidad, así mismo, influye en la regulación del clima (FEA, CEMDA, Presencia Ciudadana Mexicana, 2006). Así mismo, La seguridad hídrica es fundamental para el desarrollo económico y social, y desde luego para alcanzar el desarrollo sustentable. Ya que el agua es primordial para el cultivo de alimentos, generar energía proteger el medio ambiente, mantener la salud de las poblaciones e incluso la creación de empleos (Banco Mundial, 2016).

Actualmente México tiene una desigual distribución regional y estacional del agua dulce la cual compleja su aprovechamiento sostenible. La disponibilidad natural de agua superficial se concentra en el sur del país, pero la población, la actividad económica y las mayores tasas de crecimiento se dan en el centro y norte del territorio nacional (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2016). Por lo que se requiere de la implementación de sistemas de gestión participativos que direccionen las actividades antropocéntricas hacia el desarrollo sustentable. Un ejemplo de esto es la gestión integrada de recursos hídricos (Míguez, 2015).

En México la superficie aproximada de cultivo es de 22 millones de hectáreas y de esta cifra la agricultura temporal se realiza en el 70.5% de la superficie total (Flores, Rosales y Flores, 2014). Las actividades del sector agrícola no sólo abarcan la producción de alimentos, sino también de otros cultivos no comestibles. Sin embargo, son los pequeños agricultores quienes proporcionan la mayor parte del aprovisionamiento de alimentos. Pero a menudo su producción dependen principalmente de las lluvias y de la capacidad del suelo para captar y conservar la humedad (ONU, 2011).

Durango ocupa el segundo lugar a nivel nacional en la producción de frijol, por lo que la producción de este cultivo, es una de las principales actividades económicas del estado (SIAP, 2015). Sin embargo, la mayor producción de frijol se genera en cultivos

de temporal. Un ejemplo de esto es el municipio de Nuevo Ideal, en el cual el frijol de temporal es el segundo cultivo en genera mayores ingresos (SIAP, 2016).

A pesar de la importancia del frijol en Durango, este ha sido cultivado en áreas no aptas. Esta se realiza en su mayoría en zonas áridas y semiáridas, donde la disponibilidad de agua es limitada y las pérdidas de rendimiento en los cultivos son comunes (Flores, et al., 2014). El déficit hídrico, en el frijol, en las etapas fenológicas de floración, formación de vaina y llenado del grano puede causar una disminución del 50 hasta el 70% en el rendimiento del cultivo (Aguilar, et al., 2012).

Debido a lo anterior y la importancia que tiene la actividad agrícola, en específico el cultivo de frijol de temporal en el Municipio de Nuevo Ideal, surge la necesidad de buscar alternativas para hacer eficiente el aprovechamiento del recurso hídrico en las actividades de agricultura temporal de la zona. Pudiendo ser una alternativa la tecnología de la lluvia solida (poli acrilato de potasio), el cual es un hidrogel que puede retener en su estructura hasta 500 veces el peso de su masa en agua (Alarcón Recinos, 2003).

Po lo tanto el objetivo principal de este trabajo de tesis es “Evaluar si la tecnología del poli acrilato de potasio como herramienta de la GIRH, contribuye a la eficiencia del uso del agua de lluvia en el cultivo de frijol de temporal, y pudiera representar una alternativa viable para el desarrollo rural sustentable del ejido de Nuevo Ideal, Durango, México, en el ciclo 2018-2019”. Mientras que los objetivos específicos son: 1) Evaluar la viabilidad técnica del agua sólida en el cultivo de frijol de temporal (en una parcela demostrativa, en el ejido de Nuevo Ideal), con el fin de conocer cómo influye en la eficiencia del aprovechamiento del agua; 2) evaluar la percepción social de la tecnología del Lluvia sólida en cultivo de frijol, para conocer la viabilidad cultural en relación a ésta; y 3) Proponer estrategias de gestión sectorial para la transferencia de tecnológica a productores del ejido de Nuevo Ideal, que incida en la mejorar de la eficiencia en el aprovechamiento del agua en dicho ejido.

El presente trabajo abordo un estudio mixto (cualitativo y cuantitativo). Para el cual se plantearon las preguntas de investigación: 1) ¿la tecnología del poli acrilato de potasio

incide en el aprovechamiento eficiente y eficaz del recurso hídrico en cultivos de frijol de temporal?, 2) ¿el poli acrilato de potasio disminuye el estrés hídrico del cultivo de frijol de temporal e incide en la mejora de la producción de dicho cultivo? Y 3) ¿sería posible que el ejido de nuevo ideal fuera un lugar viable para la implementación de la tecnología del poli acrilato de potasio?

I. ANTECEDENTES

1.1. El Problema del Agua

El agua es un elemento que forma parte del sistema ambiental, el cual contribuye al origen y permanencia de la vida de los ecosistemas y la humana, además de influir en la regulación del clima, entre otros. Así mismo, los ecosistemas y el clima intervienen en la disponibilidad, la cantidad y la calidad del agua en el planeta (FEA, CEMDA y Presencia Ciudadana Mexicana, 2006). Sin embargo, dicha distribución y calidad del agua se ven afectados por las acciones y actividades del ser humano (Isan, 2017). A pesar de que el valor del agua ha sido reconocido desde la antigüedad, como por ejemplo los pueblos asirios, cerca del año 691 A.C., seguidos por los egipcios, los griegos, los romanos y los precolombinos con la implementación de tecnologías de riego y acueductos empleados como protección contra inundaciones y sequías, aún se tienen retos (Míguez, 2015).

Algunos de los problemas relacionados con el agua son: 1) la desaparición de las fuentes de agua; 2) contaminación del agua debido a las actividades industriales y las agrícolas; 3) la sobreexplotación y el uso inadecuado del agua; 4) el aumento de la población humana y por ende la demanda de agua; 5) sequías recurrentes; 6) el cambio climático; entre otros (FEA, CEMDA y Presencia Ciudadana Mexicana, 2006).

En relación al cambio climático, éste se considera un fenómeno que amenaza la disponibilidad y el acceso al agua en todo el mundo, ya que una de sus consecuencias es la alteración en el ciclo hidrológico provocando sequías e inundaciones, además de huracanes, tsunamis, temperaturas extremas y desde luego el derretimiento de los

glaciares, entre muchos otros efectos primarios y secundarios (FEA, CEMDA y Presencia Ciudadana Mexicana, 2006).

Se considera que es cada vez menos el agua disponible para consumo humano, tanto en cantidad como en calidad. En el mundo dos de cada diez personas no tienen acceso a agua Salubre (FEA, CEMDA y Presencia Ciudadana Mexicana, 2006). Además, alrededor de 1 200 millones viven en áreas con escasez física de agua, y casi un cuarto de la población mundial carecen de la infraestructura necesaria para transportar el agua desde ríos y acuíferos (ONU, 2014).

Por otro lado, existen aguas superficiales y subterráneas con altos índices de contaminación. Entre los contaminantes más importantes se encuentran los microbios, los metales pesados, los químicos orgánicos, aceites y sedimentos, entre otros, esto debido a la falta de gestión y tratamiento adecuados de los residuos humanos, industriales y agrícolas (ONU, 2014). La falta de agua salubre, el saneamiento e higiene deficientes son la causa de 840 mil muertes anuales debido a enfermedades diarreicas, entre los cuales se incluyen 361 mil fallecimientos de niños menores de cinco años (OMS, s.f.).

Algunos indicadores de cantidad y calidad de la biodiversidad reflejan el estado de conservación de las cuencas y los recursos hídricos. Por ejemplo, la cantidad considerable de cobertura vegetal contribuye a la conservación de suelos evitando el azolve de canales, presas y cuerpos de agua, así como las inundaciones que afectan en gran medida a los centros de población y a la infraestructura productiva. Sin embargo, aproximadamente 18 millones de hectáreas de suelos se consideran de moderada a severamente degradadas, éstas han perdido entre 40 y 60% de su capacidad para retener agua, lo que afecta la infiltración de agua, disminuye su productividad y reduce la calidad del recurso hídrico. Los procesos más importantes de deterioro en el suelo son la erosión hídrica (37%) y la eólica (15%) (FEA, CEMDA y Presencia Ciudadana Mexicana, 2006).

Una de las principales preocupaciones de los organismos mundiales es la seguridad hídrica y la alimentaria, ya que son aspectos fundamentales para el desarrollo

económico y social, y desde luego para caminar hacia el desarrollo sustentable. El agua es primordial para el cultivo de alimentos, generar energía, proteger el medio ambiente, mantener la salud de las poblaciones e incluso la creación de empleos. Para la solución de los problemas de desarrollo sustentable del siglo XXI existentes en el mundo, es necesario mejorar la gestión de los recursos hídricos y garantizar el acceso a servicios de abastecimiento de agua y saneamiento (Banco Mundial, 2016).

A pesar de que muchas personas le apuestan a la aplicación de tecnologías e innovaciones para la extracción y saneamiento del agua, se ha visto que también es necesario contar con sistemas de gestión participativa que direccionen las actividades antropocéntricas hacia el desarrollo sustentable, un ejemplo de esto es la gestión integrada de recursos hídricos (Míguez, 2015). La cual pretende que todos los actores y usuarios del recurso hídrico sean corresponsables de conservar y usar de forma racional y responsable dicho recurso.

1.1.1. Disponibilidad y uso de Agua en el Mundo

En relación a la disponibilidad de agua en el mundo, un elemento a considerar es el incremento de la población, ya que ésta determina la demanda del recurso y está relacionada a la calidad de vida de las personas. La ONU prospecta, con una certeza estadística del 95%, que para el año 2100 la población mundial se encontrará entre 9 500 y 13 300 millones de millones de habitantes, tan solo en el 2015 la población mundial fue de un total de 7 349 millones de personas, es decir, que para el 2100 esta cifra casi se duplicaría. China con 1 407. 31 millones de habitantes, India con 1 311.05 millones de habitantes y Estados Unidos con 321.77 millones de habitantes ocupan los tres primeros lugares a nivel mundial con mayor población.

En la actualidad la población rural, tiene una tendencia a estabilizarse o disminuir en los países desarrollados al igual que aquellos en vías de desarrollo, en contraste, se presenta un aumento gradual de la población en las zonas urbanas, debido a esto, las ciudades ejercen una significativa presión sobre el ambiente (CONAGUA , 2016).

La disponibilidad de agua en el mundo en promedio es aproximadamente de 1 386 billones de hm³ anuales, de los cuales cerca del 97.5% es agua salada y 35 billones

de hm^3 (2.5%) es agua dulce y de ese 2.5% el 70% no está disponible para consumo humano ya que se encuentra en glaciares, nieve y hielo. Por lo que, en la medida en la que se agoten los recursos hídricos de fácil acceso, será necesario obtener agua a mayores distancias, extraerla de mayores profundidades, y/o depender de tecnologías avanzadas para el reúso del agua o su desalinización (CONAGUA, 2016).

Según CONAGUA (2016), el agua renovable es la cantidad máxima de agua que es viable explotar al año, de este término surge el agua renovable *per cápita* que se define como la cantidad o volumen de agua por habitante al año, éste es un indicador manejado a nivel internacional. Los tres países con mayor agua renovable per cápita son Islandia con 516 090 $\text{m}^3/\text{hab.}/\text{año}$, Guayana con 353 279 $\text{m}^3/\text{hab.}/\text{año}$ y Suriname con 182 320 $\text{m}^3/\text{hab.}/\text{año}$. México ocupa el lugar 94 con un índice de agua renovable *per cápita* de 3 629 $\text{m}^3/\text{hab.}/\text{año}$.

A nivel mundial, la mayor presión hídrica se concentra en África del Norte y Medio Oriente, ésta es el resultado de dividir el agua extraída entre el agua renovable, y este puede ser muy alto (mayor al 40%), medio, bajo y sin estrés, esto quiere decir que, a mayor presión hídrica, mayor riesgo de colapso socioambiental (CONAGUA, 2016).

Con el incremento poblacional en el siglo XX, las extracciones de agua se sextuplicaron, por lo tanto, también el grado de presión sobre los recursos hídricos. Dentro de los países con mayor extracción de agua se encuentran: en primer lugar India con 761 miles de $\text{hm}^3/\text{año}$, seguido de China con 607.80 miles de $\text{hm}^3/\text{año}$ y Estados Unidos de América con 485.60 miles de $\text{hm}^3/\text{año}$; de estos México se ubica en el séptimo lugar con una extracción de 85.66 miles de $\text{hm}^3/\text{año}$ (CONAGUA, 2016).

Según la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2016), a nivel mundial el 70% del agua extraída y concesionada es destinada al uso agrícola, el 19% al uso industrial y la restante al abastecimiento público. Más de la mitad del agua destinada al uso industrial es empleada en los procesos de enfriamiento de las centrales termoeléctricas, entre los mayores consumidores de agua de este sector están las industrias petroleras, papeleras, madereras y mineras.

En cuanto al agua potable y saneamiento, el 91% de la población mundial posee una fuente mejorada de agua potable y el 85% tiene acceso a servicios mejorados de saneamiento (CONAGUA, 2016).

El agua virtual es la cantidad total de agua que se emplea o integrada a un producto, bien o servicio. El volumen total de agua virtual intercambiado al año entre los países del mundo es de 2.32 millones de hm³, del cual cerca de 76% pertenece a productos agrícolas y el resto a productos pecuarios e industriales (CONAGUA, 2016).

1.1.2. Disponibilidad y uso de Agua en México

México es el décimo tercer país más extenso del mundo, con una superficie de 1.96 millones de km², este a su vez está dividido en 32 entidades federativas. México ocupa el onceavo lugar entre los países más poblados del mundo, en el 2015 contaba con 121 millones de habitantes. Sin embargo, la población tiende a concentrarse en las grandes ciudades, ya que el 27.8% de los habitantes del país viven en 36 localidades, conformadas con más de medio millón de habitantes, mientras que el 2.1% vive en casi 140 000 comunidades con menos de 100 habitantes (CONAGUA, 2016).

México recibe cerca de 1 449 471 millones de metros cúbicos de agua en precipitación, de este recurso aproximadamente el 72.5% vuelve a la atmósfera mediante evapotranspiración, el 21.2% escurre por los ríos y arroyos, y el 6.3% se infiltra al subsuelo en forma natural recargando los acuíferos. Considerando las importaciones y exportaciones de agua con los países colindantes al país, México cuenta con 446 777 hm³/ año de agua dulce renovable (CONAGUA, 2016).

Del total de agua dulce renovable del país, el 33% se encuentra al norte y centro de México, mientras que el 67% al sur y suroeste del país (CONAGUA, 2016). Actualmente México tiene una desigual distribución regional y estacional del agua dulce, lo cual hace complejo el aprovechamiento sostenible. La disponibilidad natural del agua superficial se concentra en el sur del país, pero la población, la actividad económica y las mayores tasas de crecimiento se dan en el centro y norte del territorio nacional (figura 1). Se considera que la calidad del agua subterránea suele ser mejor que la del agua superficial, sin embargo, la dificultad y el alto costo de los estudios

para realizar estas mediciones limitan el conocimiento del volumen y calidad del agua de los acuíferos nacionales (SEMARNAT, 2006).

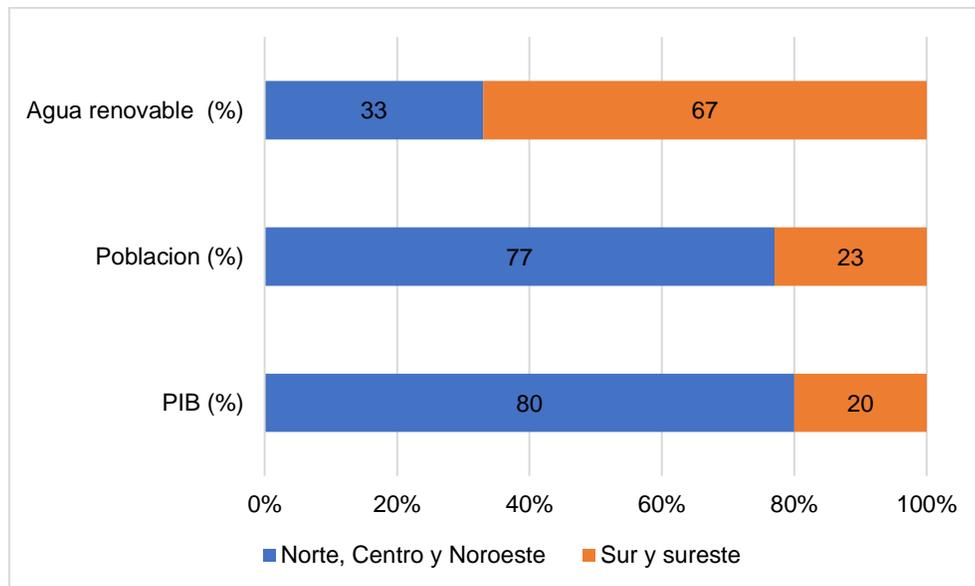


Figura 1. Comparación regional de la distribución del agua renovable, población y PIB.
Elaboración propia con dato de CONAGUA (2016).

El agua superficial escurre por ríos y canales, y se acumula en cuerpos de aguas naturales y artificiales. En el país, la desembocadura de estas aguas se clasifica en tres vertientes: interior (Golfo de México y Mar Caribe), Pacífico y Golfo de California (CONAGUA, 2016). En México la mayor parte de los recursos hídricos se localiza en ríos (68%), le siguen presas con 17.8%, acuíferos con 11.7%; y lagos y lagunas con 2.3% (SEMARNAT, 2006).

A nivel nacional, México presenta un grado de presión del recurso hídrico del 19.2%, lo que es considerado como un nivel bajo de presión; sin embargo, a nivel regional, las zonas norte, noroeste y centro del país muestran un alto grado de presión (figura 2), que va desde el 42.1 (RHA III) hasta el 138.7 (RHA XIII) (CONAGUA, 2016).

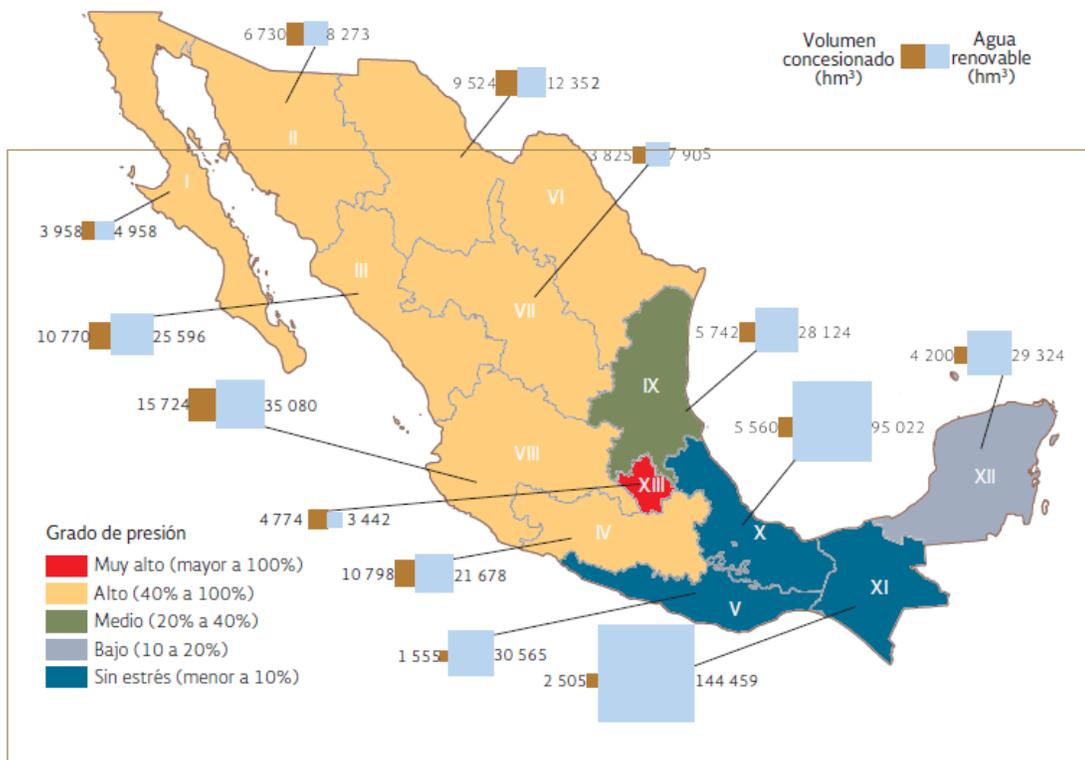


Figura 2. Grado de presión sobre el recurso hídrico en México. Fuente: (CONAGUA, 2016).

La administración de las aguas superficiales nacionales se encuentra organizada en 37 regiones hidrológicas (figura 3) y se divide en 731 cuencas hidrológicas, conforme la norma NOM-011-CONAGUA-2000. En el 2015, alrededor de 627 cuencas nacionales se encontraban en situación de disponibilidad de explotación, éstas representan el 85% de las cuencas hidrológicas (CONAGUA, 2016).



Núm.	Nombre
1	Baja California Noroeste
2	Baja California Centro-Oeste
3	Baja California Suroeste
4	Baja California Noreste
5	Baja California Centro-Este
6	Baja California Sureste
7	Río Colorado
8	Sonora Norte
9	Sonora Sur
10	Sinaloa
11	Presidio-San Pedro
12	Lerma-Santiago
13	Huicicila
14	Río Ameca
15	Costa de Jalisco
16	Armeria-Coahuayana
17	Costa de Michoacán
18	Balsas
19	Costa Grande de Guerrero

Núm.	Nombre
20	Costa Chica de Guerrero
21	Costa de Oaxaca
22	Tehuantepec
23	Costa de Chiapas
24	Bravo-Conchos
25	San Fernando-Soto La Marina
26	Pánuco
27	Norte de Veracruz (Tuxpan-Nautica)
28	Papaloapan
29	Coatzacoalcos
30	Grijalva-Usumacinta
31	Yucatán Oeste
32	Yucatán Norte
33	Yucatán Este
34	Cuencas Cerradas del Norte
35	Mapimí
36	Nazas-Aguanaval
37	El Salado

Figura 3. Regiones Hidrológicas de México. Fuente: (CONAGUA, 2016).

En cuanto a la administración de aguas subterráneas nacionales, esta se divide en 653 acuíferos, en el 2015, se identificaron 105 acuíferos sobreexplotados, es decir, que su capacidad de recarga era menor en comparación a la extracción de agua que presentaban (CONAGUA, 2016).

En México, el 61.1% del agua concesionada es superficial y el 38.9% subterránea, en la mayor parte de los casos, el aprovechamiento del agua subterránea nacional se efectúa por medio de pozos y norias concesionados, sin embargo, se sabe que existe otro número importante de pozos ilegales, por lo que la cantidad exacta se desconoce (CONAGUA, 2016).

Del volumen total de agua concesionada en el país, el 77% se destina a las actividades agropecuarias, el 14% al abastecimiento público, y el 9% a la industria autoabastecida, agroindustria, servicios, comercio y termoeléctricas. El 48.5% del agua destinada al sector agropecuario es utilizado por los distritos de riego siendo que el 69% del agua extraída de los acuíferos se usa en el riego agrícola (SEMARNAT, 2006).

Respecto al agua virtual, en el 2015 México, a causa de sus intercambios con otros países, exportó 9 216 hectómetros cúbicos (hm³) e importó 32 248 hm³, lo que equivale a una importación total neta de 23 033 millones de metros cúbicos de agua virtual (CONAGUA, 2016).

1.2.3. Disponibilidad y uso de Agua en Durango

Durango representa el 6.3% de la superficie territorial nacional (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2017). Debido a su extensión y ubicación geográfica, Durango presenta climas semisecos, templados, secos, muy secos, semifríos, semicálidos y cálidos (*Comisión Nacional del Agua, 2009*). Siendo el clima semiseco templado el que se presenta en mayor parte de la entidad (27.155) (tabla 1) (INEGI, 2017). La temperatura promedio anual del estado es de 16 °C (INEGI, 2017).

Cuadro 1. Superficie estatal por tipo de clima (Durango). Fuente (INEGI, 2017).

Tipo de clima	Porcentaje de superficie ocupada
Cálido subhúmedo con lluvias en verano	3.77
Semicálido subhúmedo con lluvias en verano	7.79
Templado subhúmedo con lluvias en verano	22.57
Semifrío húmedo con abundantes lluvias en verano	0.10
Semifrío subhúmedo con lluvias en verano	11.17
Semiseco muy cálido y cálido	0.15
Semiseco semicálido	0.84
Semiseco templado	27.15
Seco semicálido	7.56
Seco templado	4.67
Muy seco semicálido	14.23

En el estado, la precipitación se distribuye en dos periodos de lluvia, el de alta precipitación, que va de junio a octubre, con un promedio de 416 mm, y el periodo estiaje, este se presenta de noviembre a mayo, con 89 milímetros (CONAGUA, 2009). La precipitación media anual es de 500 milímetros (INEGI, 2017).

La entidad forma parte de siete Regiones Hidrológicas (RH): Sinaloa (RH 10), Presidio-San Pedro (RH 11), Lerma-Santiago (RH 12), Bravo-Conchos (RH 24), Mapimí (RH 34), Nazas-Aguanaval (RH 36) y El Salado (RH 37) (CONAGUA, 2009).

El estado de Durango tiene relación con 41 acuíferos, de los cuales 29 están asignados para su administración, y de uno comparte contabilidad con Coahuila (acuífero Principal Región Lagunera) (CONAGUA, 2009).

Durango aprovecha alrededor del 6% de las aguas superficiales, mientras que el 91% escurre a entidades colindantes y el 3% se pierde por infiltración y evaporación en presas. En cuanto al volumen de precipitación total del estado, cerca del 80% se pierde por evo transpiración, 18 % escurre y 2% se infiltra a acuíferos (CONAGUA, 2009).

En lo que respecta a la concesión y uso de agua en Durango, en el 2015, el volumen de agua concesionado representó el 1.83% del total de agua concesionada en el país, este fue de 1,565.3 hm³, de los cuales el 87.3% se destinó a actividades agrícolas (agricultura, acuacultura, pecuario, múltiples y otros usos), el 10.89% al uso de abastecimiento público (uso doméstico y público urbano), el 1.07 % a la industria autoabastecida (agroindustria, servicios, comercio e industria excluyendo termoeléctricas) y por último el 0.73% se usó en la producción de energía eléctrica incluyendo termoeléctricas (CONAGUA, 2016). En cuanto al volumen concesionado empleado para uso agrícola, cerca del 52.5% proviene de aguas superficiales y el 47.5% de aguas subterráneas (CONAGUA, 2009).

1.2. Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH)

La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), deriva de la gestión ambiental y cuyo enfoque se origina en el establecimiento de los cuatro principios de Dublín (Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente, CIAMA Dublín, Irlanda; Enero de 1992), los cuales se resumen en que el agua dulce es un recurso finito y vulnerable esencial para sustentar la vida, el desarrollo y el medio ambiente, por lo cual el desarrollo y manejo de éste debería involucrar a planificadores y formuladores de políticas en todos los niveles, sin dejar de lado el papel que desempeña la mujer en la provisión, manejo y protección del agua y contemplando que el recurso hídrico es un bien económico ya que tiene un valor en todos sus usos.

Si bien el agua es parte integral de los ecosistemas, debido a su creciente demanda para la agricultura, la industria y el uso doméstico, y al estar ligada al bienestar social y al desarrollo económico de las naciones, es considerada un bien social y económico cuya calidad y cantidad determinan su uso. Por lo tanto, es deseable que el aprovechamiento y uso del recurso hídrico sea sustentable, priorizando la satisfacción de las necesidades básicas de la humanidad y la protección de los ecosistemas naturales (Aguirre, 2011).

La gestión integrada del recurso hídrico (GIRH), es un enfoque que promueve el manejo y el desarrollo coordinado del agua, suelo y otros recursos naturales, con el

objetivo de maximizar el bienestar social y económico sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales, considerando la necesidad de mantener los recursos naturales para las generaciones futuras (desarrollo sustentable) (Aguirre, 2011; Escalante y Ramírez, 2009). Ésta busca que las dimensiones económicas, sociales y físico-biológicas se interrelacionen en forma armónica (Escalante y Ramírez, 2009).

La GIRH busca conciliar el aprovechamiento, uso y administración de los recursos naturales (agua, flora, fauna, suelo) comprendidos en una cuenca hidrográfica. Ésta abarca el manejo de las aguas superficiales y subterráneas en su sentido cuantitativo, cualitativo y ecológico desde una visión multidisciplinaria centrada en las necesidades y requerimientos de la sociedad (Escalante y Ramírez, 2009).

Entre los aspectos de la gestión integral del recurso hídrico se encuentran: 1) la medición de las variables del ciclo hidrológico y el conocimiento de sus características determinantes y consecuencias; 2) la explotación, uso, aprovechamiento, manejo y control del agua; 3) la prevención y mitigación de desastres naturales relacionados a la presencia de fenómenos hidrometeorológicos; 4) la construcción, mantenimiento y operación de obras hidráulicas y la administración de los servicios ligados a estas; 5) el mantenimiento, operación y administración de distritos y unidades de riego; y 6) el control de la calidad del agua y su saneamiento (Villagómez, Amorozo y Emanuel, 2013).

Entre los principales desafíos que enfrenta la GIRH se encuentran: asegurar el agua para las personas, la producción de alimentos, el desarrollo de fuentes de empleo y la protección de los sistemas vitales (Madroñero, 2006).

Según Escalante y Ramírez (2009), desde una visión integrada de la gestión del agua, es posible establecer dos tipos de acciones; aquellas dirigidas al aprovechamiento de los recursos naturales (uso, transformación y consumo) para apoyar el desarrollo económico, y aquellas acciones orientadas al manejo (conservación, recuperación y protección) de dichos recursos con el objetivo de asegurar la sostenibilidad del ambiente.

La GIRH pretende ser una herramienta mediante la cual se genere información, que sirva como base para la creación de políticas de gestión ambiental y gestión del agua equitativas, que contemplen a todos los grupos de interés. Por lo que ésta, ha sido incorporada en legislaciones de varios países, algunos de estos son Suráfrica, Brasil, Unión Europea, Nigeria, Indonesia, Holanda, entre otros. Por ejemplo, en países africanos la implementación de la GIRH permitió facilitar el acceso equitativo al agua en entornos sociales complejos (sobrepoblados y en ocasiones con situaciones de violencia) (Míguez, 2015).

En ese sentido, en México la GIRH se ha incorporado a través de políticas públicas como la creación de los consejos de cuenca, los cuales son organos colegiados de integración mixta en los que se concentran autoridades federales, estatales, municipales con los usuarios del agua en cada cuenca. Con el fin de lograr acuerdos y propuestas para una mejor gestión del recurso hídrico. Algunos de los propósitos de los consejos de cuenca son: 1) promover y propiciar el reconocimiento del valor económico, social y ambiental del recurso hídrico; 2) fomentar el uso eficiente del agua; 3) coordinar los usos y distribución del agua; 4) promover la conservación del agua y el suelo, entre otros (CONAGUA, 2010).

Para el cumplimiento de sus funciones los consejos de cuenca se apoyan en las comisiones de cuenca (quienes trabajan a nivel subcuenca o grupos de subcuenca), los comités de cuencas (su ámbito de acción es a nivel microcuenca o grupos de microcuencas) y los comités técnicos de aguas del subsuelo y subterráneas (COTAS), estas últimas realizan sus actividades en relación con un acuífero o un grupo de acuíferos determinados (CONAGUA, 2010).

A pesar de ser la escasez y la contaminación del agua las causas más notorias de la actual crisis del agua en el mundo, se puede decir que ambas son el resultado de una clara falta de gobernanza, la cual está directamente relacionada con la GIRH. Al considerar los recursos hídricos como parte de los ecosistemas y como un recurso natural y un bien económico y social, la GIRH requiere la implementación de sistemas de gobernanza, para obtener beneficios sostenibles e igualitarios, que contemplen a todos individuos, instituciones públicas y privadas, ONG`s, hombres y mujeres

interesados sin distinguir su poder económico o político, ya que la gobernanza tiene como objetivo el alcanzar un desarrollo económico y social duraderos, promoviendo un equilibrio de poder entre el estado, la sociedad civil y el mercado de la economía (Míguez, 2015).

Según Míguez (2015), la GIRH promueve la utilización de herramientas y tecnologías para la sostenibilidad de los procesos productivos que se realizan en las cuencas, algunos de estos son: 1) mapas de peligros y riesgos, la generación de estos permite representar las áreas con mayor probabilidad de inundaciones, sequías, o incluso visualizar parámetros normativos como nutrientes y contaminantes; 2) sistemas de apoyo en la toma de decisiones, estos sirven en la toma de decisiones en escenarios cambiantes y cuyos resultados no pueden ser anticipados con facilidad, se basan en programas informáticos; 3) monitoreos ambientales, sirven para diagnosticar el estado de los recursos, y definir nuevas actividades con el objetivo de disminuir los riesgos que afecten la biodiversidad y la disponibilidad de agua; 4) eco-innovaciones, estas son tecnologías para el reusó, conservación y ahorro del agua, un ejemplo es la cosecha de agua de lluvia; 5) tecnologías inteligentes, son el conjunto de las tecnologías de la información y las comunicaciones para la gestión del agua, abarca desde los medidores de agua inteligente hasta aplicaciones virtuales y software de apoyo de decisiones; y 6) indicadores, que son herramientas útiles para la toma de decisiones estratégicas que puedan afectar el uso del agua, conllevan información sobre sostenibilidad hidrológica, por ejemplo, la huella hídrica (indicador de uso de agua en relación al consumo), indicador de estrés hídrico y los RDI (indicados para verificar el cambio climático).

Los principales problemas con los que se enfrenta la GIRH al querer implementarse son: las barreras institucionales, de comprensión de concepto y complejidad inherente de la cuenca, la falta de herramientas de integración para apoyar los procesos de planeación y gestión de los recursos, y monitoreos sistémicos de las fuentes de aguas para la generación de datos públicos (Míguez, 2015).

La gestión integrada está conformada por tres componentes: 1) el entorno dentro del cual se establece la gestión, éste incluye evaluación de la oferta, demanda, calidad,

cantidad y distribución del agua, además políticas nacionales y locales referentes al valor del agua, instrumentos económicos y políticas financieras; 2) el marco constitucional que comprende organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, instituciones financieras y crediticias, grupos y comunidades locales, y las interacciones entre estos; y 3) las herramientas de manejo que facilitan la existencia de un entorno institucional y político para implementar una gestión integrada y la participación de los usuarios, dentro de estas están los mecanismos de resolución de conflictos, participación de la sociedad, análisis de los usos del agua, la investigación y valoración del agua (Escalante y Ramírez, 2009).

1.2.1. Gestión integrada del recurso hídrico en México

En México, Aguirre (2004), establece que el aprovechamiento del agua se basa en un modelo de gestión horizontal, esto quiere decir que las acciones de las instancias públicas se enfocan en atender la demanda hídrica de la sociedad mediante la construcción de obras de captación (presas), abastecimiento y distribución del recurso hídrico, esto se relaciona con la sobreexplotación del recurso hídrico en diversas cuencas; Tal es el caso de la cuenca Lerma-Chapala-Santiago, donde actualmente se presenta un déficit hídrico que ha excedido el potencial de los sistemas naturales locales.

La afirmación pública de que “las aguas son de la nación y por lo tanto, todas las personas tienen derecho a ellas”, provocó por décadas que los usuarios de dicho recurso manifestaran una actitud de comodidad ante el acervo hidrológico, lo que se reflejó en un uso inadecuado del agua (Aguirre, 2004).

Tomando en consideración lo anterior y desde una perspectiva macroeconómica, se ha hecho fundamental el establecimiento y desarrollo de mecanismos de gestión de recursos hídricos que combinen instrumentos de mercado y acciones sociales preventivas y restauradoras de los sistemas hidrológicos, es decir, políticas orientadas al aprovechamiento sustentable y manejo de los recursos hídricos, en las que se redefine el papel del gobierno federal y se realiza una distinción entre las

responsabilidades del sector público con respecto al recurso y la obligación de los usuarios en el manejo y administración (Aguirre, 2004).

En México la GIRH tiene como fundamentos: la ley de aguas nacionales; y la Comisión Nacional del agua (Valencia, et al., s.f.). Estos son los encargados del Programa Nacional Hídrico, el cual en su documento rector integra los planes hídricos de las cuencas a nivel nacional, se define la disponibilidad, el uso y aprovechamiento del recurso, así como las estrategias, prioridades y políticas, para lograr el equilibrio del desarrollo regional sustentable y avanzar en la gestión integrada del recurso hídrico. Así como con el Programa Hídrico de la Cuenca, en el cual se define la disponibilidad, el uso y aprovechamiento del recurso, así como las estrategias, prioridades y políticas para lograr el equilibrio del desarrollo regional sustentable en la cuenca correspondiente y avanzar en la gestión integrada del recurso hídrico (CONAGUA, 2012).

1.2.2. Cuencas hidrográficas como unidad territorial de análisis

A menudo suelen confundirse los términos de cuenca hidrográfica y cuenca hidrológica. Sin embargo, la cuenca hidrográfica se refiere a la definición geográfica de la misma, mientras que, la cuenca hidrológica es una unidad para la gestión que se realiza dentro de la cuenca hidrográfica (Ordoñez, 2011).

En los últimos años, desde la década de los noventa, se considera como unidad de análisis a las cuencas hidrográficas, debido a que se consideran zonas geográficas o territorios en las cuales fluyen aguas provenientes de precipitaciones, deshielos, acuíferos, entre otros hasta un punto de descarga, que usualmente es un cuerpo de agua importante, por ejemplo, un río, lago u océano (Aguirre, 2011). Estos también son espacios geográficos en los que los grupos y comunidades comparten tradiciones, identidades y cultura, y donde se relacionan en función de la disponibilidad de recursos naturales (Ordoñez, 2011). Así mismo, la cuenca es reconocida como la unidad territorial más apropiada para la GIRH, ya que ésta determina los caudales del agua, siendo así un área adecuada para organizar la planificación y gestión de los recursos hídricos (Aguirre, 2011).

Las cuencas presentan diferentes tamaños y jerarquías, ya que hay cuencas que contienen a otras cuencas llamadas sub-cuencas y estas a su vez a otras de menor tamaño llamadas micro-cuencas. Este espacio ambiental es independiente de fronteras político-administrativas internas de un país o de fronteras internacionales, se establecen bajo criterios geográficos e hidrológicos (Aguirre, 2011).

La cuenca hidrográfica se divide en tres zonas o sectores característicos: cuenca alta, cuenca media y cuenca baja (figura 4), las cuales, según los atributos topográficos del medio, pueden influir en sus procesos hidrometeorológicos y en el uso de los recursos (Ordoñez, 2011).

En la cuenca alta por lo general se encuentran las áreas montañosas o las cabeceras de los cerros, limitadas en su parte superior por los parteaguas. En la cuenca media es donde se acumulan las aguas recolectadas en las partes altas, aquí es donde el río principal mantiene un cauce definido. En lo que respecta a la cuenca baja, es el área donde el río desemboca a ríos mayores o a zonas bajas tales como humedales, estuarios y lagunas (Ordoñez, 2011).

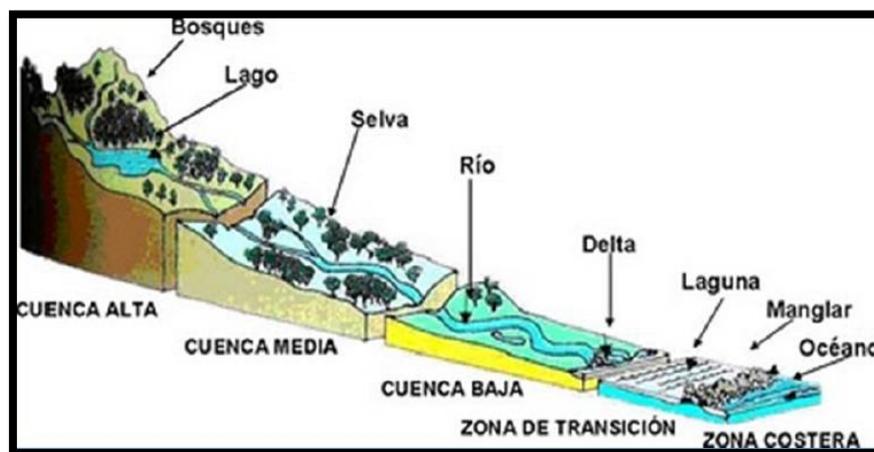


Figura 4. Partes de las cuencas. Fuente: (Ordoñez, 2011).

Según Ordoñez (2011), las cuencas al tener un funcionamiento territorial altitudinal, el impacto derivado de las actividades de uso de suelo y la extracción de recursos naturales en la parte alta de la cuenca repercuten en la estabilidad de la cuenca baja.

Las cuencas pueden clasificarse según su tamaño (pequeñas, medianas, grandes), por su ecosistema (cuencas áridas, tropicales, frías, humedad), por el uso de sus recursos naturales (cuencas ganaderas, para riego, para navegación, etc.) y por su relieve (cuencas planas, de alta montaña, de quebradas). Además, las cuencas se pueden clasificar según el tipo de almacenamiento de agua (figura 5), puede ser en lagos, lagunas o el embalse de una presa a la cual se le conoce como cuenca endorreica, una cuenca exorreica es cuando las descargas de agua llegan hasta el mar y las cuencas arreicas, que son aquellas en las que las aguas recolectadas en la parte alta de la cuenca no desembocan en ningún río o cuerpo de agua importante (Ordoñez, 2011).

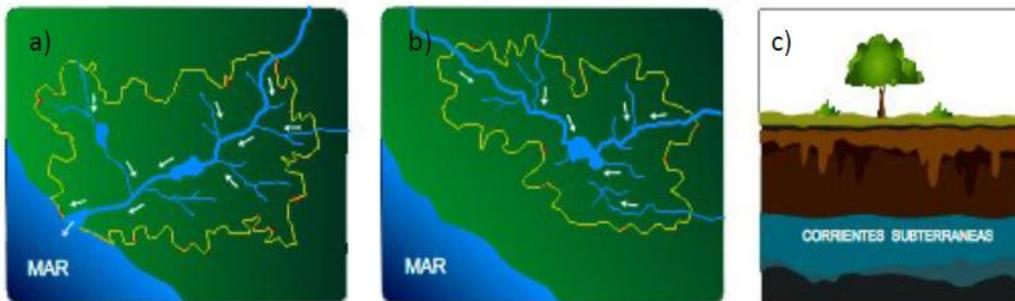


Figura 5. Tipos de Cuencas: a) Exorreicas, b) Endorreicas y c) Arreicas. Fuente: (Ordoñez, 2011).

El concepto de gestión de cuencas hidrográficas ha venido evolucionando a través de varias etapas; En las primeras etapas se consideraba que formaba parte de los estudios de silvicultura e hidrología, con el tiempo incorporó un mayor número de componentes en relación con la gestión de recursos naturales y actualmente se incorporó la gestión participativa e integrada que además de considerar al medio ambiente, también considera a los diferentes actores sociales y políticos (Aguirre, 2011).

De acuerdo con (Aguirre, 2011), las cuencas hidrográficas son fuentes de múltiples e importantes servicios, los cuales van desde el abastecimiento de agua dulce para la población y sus actividades productoras, regulación de hábitat, mitigación de riesgos naturales (inundaciones, deslizamientos de tierra, etc.) hasta servicios culturales como el ecoturismo. Sin embargo, muchos de estos servicios son ignorados por las

sociedades habitantes de las cuencas, teniendo como consecuencia la presencia de amenazas como la sobreexplotación (agua y suelo), la construcción de infraestructuras que alteran el funcionamiento natural, la contaminación, entre otros (tabla 2).

Cuadro 2. Amenazas a funciones eco sistémicas del agua dulce debido a actividades humanas (según Daily) Fuente: (Aguirre, 2011).

Actividad humana	Impacto en ecosistema hídrico	Funciones en peligro
Crecimiento de población y de consumo	Aumenta las presiones para desviar más agua y adquirir más tierra cultivable (drenaje de humedales), aumenta contaminación del agua, lluvia ácida y el potencial de cambio climático	Virtualmente todas las funciones de ecosistemas hídricos
Desarrollo de infraestructura (represas, diques, muelles fluviales, desvío de ríos)	La pérdida de integridad de los ecosistemas altera la frecuencia y cantidad de caudales fluviales, la temperatura del agua, el transporte de nutrientes y sedimentos y el reabastecimiento de deltas, e impide las migraciones de peces	La cantidad y calidad del agua, hábitat, fertilidad de las llanuras inundables, deportes, pesca, mantenimiento de deltas y sus economías
Conversión de la tierra y mala utilización de la misma (drenaje de humedales, deforestación)	Elimina componentes clave del medio ambiente hídrico; pérdida de funciones, integridad, hábitat y biodiversidad; altera las pautas de arroyadas, impide la recarga natural, llena de cieno los cuerpos de agua	Control natural de inundaciones, hábitat para peces y aves acuáticas, recreo, suministro de agua, cantidad y calidad de agua, transporte
Cosechar y explotar en exceso	Agota los recursos vivos, funciones de los ecosistemas y biodiversidad (agotamiento de agua subterránea, pérdida de pesca)	Producción de alimentos, deporte y pesca comercial, hábitat, suministro de agua y cantidad y calidad del agua
Introducción de especies exóticas	Elimina especies nativas, altera el ciclo de producción y nutrientes, pérdida de biodiversidad	Calidad del agua, pesca deportiva y comercial, hábitat de peces y vida silvestre, transporte
Derrame de sustancias químicas y contaminantes biológicos en el agua, tierra y aire	La contaminación de cuerpos hídricos altera la química y ecología de ríos, lagos y humedales	Suministro de agua, hábitat, pesca, recreo
Emisiones de gases de efecto invernadero que inducen a cambio climático	Cambios climáticos potenciales en pautas de derrame debido a aumentos en la temperatura y cambios en los patrones de lluvias	Suministro de agua, energía hídrica, transporte, hábitat de peces y vida silvestre, dilución de contaminación, recreo, pesca, control de inundaciones

Según Chávez (s.f.), en su artículo “Del gobierno a la gobernabilidad de los recursos hídricos en México”, el estado actual y futuro de una cuenca, depende de varios factores, algunos de estos son: 1) la demografía dentro de la cuenca; 2) la vinculación de la cuenca con otras cuencas del país o región; 3) la disponibilidad y uso de sus recursos naturales; 4) la productividad y economía existentes en su espacio

geográfico; 5) la tecnología; 6) las instituciones y su funcionamiento; 7) leyes, reglamentos y normas que definen los procesos presentes en la cuenca; 8) la cultura y conciencia de los individuos que habitan la cuenca; y 9) la complejidad y tamaño de la cuenca.

En México existe 1471 cuencas hidrológicas delimitadas (CONAGUA, 2011). sin embargo, con fines administrativos la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) las ha agrupado en 731 cuencas, la cuales conforman 37 regiones hidrológicas, que también se agrupan en 13 regiones económico administrativas o RHA (figura 6) (CONAGUA, 2016).



Figura 6. Mapa de regiones hidrológico administrativas. Fuente: (CONAGUA, 2016).

Considerando que la Gestión de Cuencas deriva del término Manejo de Cuencas, las actividades y proyectos relacionados a la gestión integrada de cuencas hidrográficas está asociada a las actividades de conservación de suelo, forestación, entre otras que tienen efectos en el funcionamiento hidrológico de la cuenca. La diferencia entre la GIRH y la gestión integrada de cuencas (figura 7), radica en que esta última puede

definirse como la gestión de recursos naturales en cuencas hidrográficas (Aguirre, 2011).

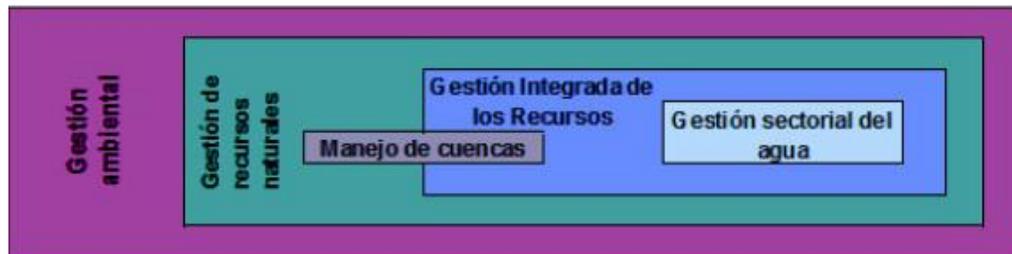


Figura 7. Jerarquización de acciones en cuencas hidrográficas. Fuente: (Aguirre, 2011).

Según Aguirre (2011), la gestión integrada de cuencas es un proceso que promueve el aprovechamiento coordinado del agua y los recursos relacionados con el objeto de incrementar el bienestar social y económico, sin arriesgar la sustentabilidad de los ecosistemas.

1.2.3. Gestión Sectorial del Agua

Para Comprender el concepto de gestión sectorial del agua, es necesario conocer que es la gestión ambiental sectorial. Se entiende como gestión ambiental sectorial a todo el conjunto de acciones del estado dirigidas a diversos sectores productivos, con el fin de orientar, mantener o modificar su actuar de acuerdo con los propósitos y objetivos nacionales ambientales, acordes con los principios generales del país en materia de desarrollo sostenible, calidad de vida y ambiente sano, contenidos en la constitución publica, las leyes y políticas ambientales (HISGA, s.f.). Con lo anterior se puede definir la gestión sectorial del agua como una serie de estrategias y acciones encaminadas a lograr que los diversos sectores productivos orienten su actuar hacia los objetivos nacionales en materia de GIRH.

La GIRH requiere de la participación de todas las partes interesadas en el uso, aprovechamiento y distribución del agua. Estos usuarios pueden ser divididos en cuatro categorías: consumo doméstico, agricultura, industrias y ecosistemas (Escalante y Ramírez, 2009).

De acuerdo con Escalante y Ramírez (2009), estas categorías definen dentro del sector de recursos hidricos diversos subsectores; estos son aquellos entornos del

sector que competen a actividades específicas en los aspectos económico, social y ambiental que son dependientes del recurso hídrico para lograr sus objetivos.

El Banco Mundial (2016), considera que los desafíos que enfrenta el mundo respecto al agua requieren soluciones multisectoriales, definiendo como sectores a tratar el sector agrícola, sector de energía, sector urbano (ciudades sostenibles), sector de agua y saneamiento y sector de gestión del riesgo de desastres.

1.2.4. El agua y la agricultura

El agua es vital para la seguridad alimentaria, y en este sentido el sector agrícola es el principal consumidor de agua dulce del planeta ya que su función productiva, no solo se basa en la producción de alimentos, sino también de otros cultivos no comestibles como el algodón, el caucho, forrajes, entre otros. Además, el 40% de la población mundial trabaja en el sector de la alimentación y agricultura (ONU, 2011).

Los pequeños agricultores proporcionan la mayor parte del aprovisionamiento mundial de alimentos, no obstante estos agricultores a menudo ocupan tierras poco aptas para el cultivo y de temporal, esto es que su producción depende principalmente de las lluvias. En muchos países en vías de desarrollo, la agricultura es el principal soporte de las economías rurales (ONU, 2011). Se cultivan en el mundo 1,576 millones de hectáreas, de las cuales el 80.3% de la superficie es de tipo de secano (agricultura temporal) y el 19.7% restante se emplea para la agricultura de riego (Flores, et al., 2014).

En México la superficie aproximada de cultivo es de 22 millones de hectáreas y de esta cifra la agricultura temporal se realiza en el 70.5% de la superficie total, en comparación con la agricultura de riego que representa un 29.5% (Flores, et al., 2014). México ocupa el séptimo lugar en superficie agrícola de riego a nivel global, con 86 distritos de riego y más de 40 mil unidades de riego, que equivalen a 6.5 millones de hectáreas. Además, tiene 23 distritos de temporal tecnificado (2.3 millones de hectáreas), los cuales se localizan en zonas con exceso de humedad y riesgo de inundaciones (CONAGUA, 2016).

La mayoría de los productos agrícolas que exporta el país, son producidos en distritos de riego, sin embargo, la distribución irregular de los recursos hídricos, complica y encarece la construcción de obras de riego en el país (Palacios, 1997).

En México las áreas de riego tienen una eficiencia de uso de agua de 46%, es decir, que más de la mitad del agua que se extrae para uso agrícola no se usa en los cultivos y se “pierde” por infiltración al subsuelo y evaporación a la atmósfera. Una parte de ésta regresa al ciclo hidrológico (SEMARNAT, 2006).

Con lo anterior y considerando las herramientas propuestas por la GIRH, especialmente la relacionada al uso de eco-innovaciones, se considera la necesidad de mejorar las técnicas de manejo del agua en el sector agrícola, las cuales puedan lograr un aumento en la eficiencia y productividad en dicho sector (Palacios, 1997). Según la ONU (2011), se requieren tecnologías innovadoras que aseguren una producción de alimentos sostenible. En el sector agrícola, las tecnologías pueden contribuir a una mejor conservación del agua, por ejemplo, la difusión de tecnologías para la cosecha de agua, una irrigación eficiente, así como las tecnologías para la reutilización de aguas grises en la agricultura periurbana, podrían aumentar la disponibilidad de agua para la producción de alimentos (ONU, 2011).

1.3. Desarrollos Tecnológicos y Transferencia de Tecnología

El desarrollo tecnológico, tiene un gran impacto en la producción, el crecimiento económico, la generación de empleo, el ambiente y la estructura industrial. Ya que la adquisición y uso de tecnología es vital tanto para la producción como para la sustentabilidad alimentaria, asimismo, para la promoción de la salud pública y la calidad ambiental (Bacilio, 2016).

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) (s.f.), define el desarrollo tecnológico, como el “uso sistemático del conocimiento y la investigación dirigidos hacia la producción de materiales, dispositivos, sistemas o métodos incluyendo el diseño, desarrollo, mejora de prototipos, procesos, productos, servicios o modelos organizativos”.

1.3.1. Concepto de tecnología

El origen etimológico de la palabra tecnología proviene de los vocablos *tekhné* (técnica) y *logos* (palabra, proposición o discurso). Ambos términos tuvieron diversas aplicaciones entre los griegos. Por ejemplo, para Aristóteles, al estudiar los grados del saber humano definió *tekhné* como “saber hacer”, de este surgió el término *tekhnites*, que se refiere al hombre que sabe hacer las cosas y conoce los medios necesarios para alcanzar los fines deseados. En cuanto al vocablo *logos*, para Sócrates, este significaba la razón de hacer algo (Bacilio, 2016).

Según Bacilio (2016), la tecnología puede ser definida como el conjunto de técnicas, métodos, procedimientos y saberes operativos, que pueden provenir de la ciencia, la experimentación y/o la experiencia, orientados a resolver problemas. Mientras que para Galindo (2004), la tecnología es un conjunto de instrumentos, procedimientos y técnicas empleadas en las distintas ramas de la producción. Sin embargo, existe una gran cantidad de definiciones para este término, lo que dificulta encontrar una explicación que describa con precisión que es la tecnología (Bacilio, 2016).

La tecnología abarca un conjunto ordenado de conocimientos técnicos, los cuales pueden ser plasmados en formulas, especificaciones, modelos, imágenes, diagramas y procesos, asimismo, se pueden encontrar en la mente de las personas, documentos o estar integrados en maquinarias u otras entidades físicas. La tecnología también engloba lo que se conoce como experiencia de fabricación o know how técnico o industrial (Bacilio, 2016).

La tecnología puede ser dividida en dos clases: tecnología mejorada, es aquella superior a la existente, esta sirve como punto de referencia para otras; y tecnología validada, que es la tecnología con resultados ya aprobados (Galindo, 2004).

Existen diferentes niveles de evolución en las distintas tecnologías, por lo cual, es necesario tener en cuenta su estatus en el momento de adquirirlas y hacer las adaptaciones en los procesos de transferencia. Según esta clasificación, las tecnologías pueden ser; tecnologías embrión, innovaciones sencillas para la rápida

solución de problemáticas o situaciones no previstas, usualmente son de alto riesgo ya que no se conocen sus efectos secundarios; y tecnologías maduras, estas normalmente son difíciles de comprender con rapidez, son seguras y altamente dependientes de otros grandes subsistemas (Rodríguez, 1989).

Dentro de las características de la tecnología se encuentran: 1) dinamismo, lo que se refleja en la creciente obsolescencia de las tecnologías en uso y la introducción continua de nuevas tecnologías; 2) naturaleza social, la tecnología está fundamentada en conocimientos que pudieron haber sido aportados por diferentes personas, en diferentes épocas y lugares, además, la propagación y uso de esta depende de la participación del ser humano; 3) carácter internacional, el conocimiento no se restringe a un determinado territorio o raza; 4) ilimitación, cada vez existen más métodos y medios que auxilian la creación de nuevas tecnologías (Bacilio, 2016).

Para Bacilio (2016), un atributo importante de la tecnología, es que es transmisible, es decir, que quien la posee puede transferirla a otros, sin que esta se agote, lo cual convierte la tecnología en objeto de comercio (mercancía).

1.3.2. Transferencia de tecnología

La transferencia de tecnología es un proceso, de enseñanza-aprendizaje que se da a través del tiempo (Galindo,2004), mediante el cual la ciencia y la tecnología se difunden en las actividades humanas (Rodríguez, 1989).

El proceso de cambio tecnológico puede ser el resultado de un desarrollo tecnológico local o de un proceso de transferencia tecnológica foránea. Los cambios tecnológicos que hoy se realizan en los países menos desarrollados son introducidos en alta proporción mediante la transferencia de tecnologías desarrolladas en los países más avanzados (Tapias, 1996).

La importación tecnológica en si no es un problema, los obstáculos se presentan o se generan por una errónea selección de tecnología o cuando se recurre a esta como única fuente de cambio tecnológico (Tapias, 1996).

Por lo regular la transferencia de tecnología, se presenta en mercados oligopólicos y monopolísticos, teniendo como consecuencia una brecha tecnológica entre países desarrollados y subdesarrollados (Bacilio, 2016).

Tapias (1996), menciona que los problemas relativos a la transferencia de tecnología se presentan con mayor severidad en los países que acuden al mercado únicamente como compradores, esto es debido a las características monopolistas de dicho mercado, ya que el comprador se encuentra en condiciones de desventaja ante el o los proveedores, tales como: 1) costos elevados que muchas veces incluyen costos indirectos ocultos, por ejemplo aquellos por contrataciones de personal técnico capacitado para el manejo la tecnología adquirida; 2) compra exclusiva de insumos, materias primas y equipos con los proveedores; 3) limitación de los volúmenes de producción; 4) fijación de precios en los productos elaborados con dicha tecnología; y 5) restricción de exportación de productos e incluso en algunos caso la obligación de ceder derechos sobre las mejoras o innovaciones realizadas en la tecnología durante su uso.

Es vital comenzar cualquier proceso de transferencia tecnológica evaluando la misma y entendiendo en profundidad su diseño, con el objetivo de desarrollar herramientas que aseguren la permanencia de la tecnología adquirida (Rodríguez, 1989).

La transferencia de tecnología es un elemento fundamental en el desarrollo de los países, para afrontar la pobreza, cubrir las necesidades de alimentos y sustentabilidad de los recursos naturales (Aguilar y Ortiz, 2000).

1.3.3. Procesos de la transferencia tecnológica

El proceso de transferencia de tecnología, es el conjunto de actividades que realizan los proveedores de la tecnología (universidades, centros de investigación, empresas) involucrados para materializar la transmisión de tecnología desde su origen hasta su destino (receptor de la tecnología) (Bacilio, 2016). La transferencia de tecnología incluye a los subprocesos de: investigación, validación, difusión y adaptación (Galindo, 2004).

Por medio de la validación, es posible verificar la hipótesis establecida de que una opción tecnológica disponible supera en alguna de sus características a aquella que se encuentra en uso; la validación vincula el trabajo que desarrollan los investigadores con la práctica productiva que realizan los sistemas de producción agrícola (Galindo, 2004).

El subproceso de adaptación se inicia con el conocimiento de una innovación y termina con la adecuación y uso de la misma, pasando por las etapas intermedias de evaluación y prueba. En este, un individuo después de haber tenido información por primera vez acerca de una innovación, pasa finalmente a la decisión de aceptarla o rechazarla bajo la influencia de factores condicionantes (Galindo, 2004).

Según Galindo (2004), los productores se pueden clasificar en los siguientes tipos de adoptadores: innovadores, dirigentes de la adopción en la comunidad, dirigentes locales de adopción, adoptantes posteriores y los no adoptantes.

Para que las innovaciones sean adaptadas por los productores deben cumplir con las siguientes características: A) ventajas cualitativa y cuantitativa, respecto a la idea que pretende superar; B) mostrar cierta similitud respecto a la práctica tradicional; C) ser compatible con los valores existentes, las experiencias anteriores y las necesidades de los receptores; D) su grado de complejidad debe ser accesible, tanto en el nivel de comprensión, como en su uso y aplicación; E) los resultados de la innovación deben ser observables y notorios (Galindo, 2004).

1.3.4. Mecanismos de la transferencia tecnológica

Tapias (1996), describe los mecanismos de transferencia de tecnología como los medios a través de los cuales se materializan los procesos de transferencia. Existen diversos mecanismos o tipos de acuerdo formales para transferir tecnología (tabla 3).

Cuadro 3. Mecanismos de transferencia de tecnología. Fuente: (Galindo, 2004).

Mecanismo	Concepto	Fuente	Notas
-----------	----------	--------	-------

Información libre	Información que se encuentra fácilmente disponible y generalmente hace referencia a tecnologías maduras u obsoletas.	Información difundida a través de libros, revistas, patentes de inversión vencidas, catálogos, etc.	<p>a) Esta fuente de tecnología requiere de una óptima infraestructura.</p> <p>b) Esta fuente ha sido por los países menos desarrollados, a causa de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se desconoce el valor económico de la información. • Falta de capacidad para asimilarla. • Recursos económicos escasos. • Falta de experiencia o desconocimiento de la información. • Los canales de difusión no son apropiados para los usuarios.
Know-how	Canal de transferencia de tecnología extranjera. Consiste principalmente en la movilidad de investigadores y/o de personal experto o conocedor de áreas científicas o técnicas específicas.	Se presenta mediante la migración de extranjeros, retorno de personal técnico y científico, envío de personal al extranjero en programas de formación, o mediante acuerdos de revelación de Know-how para el uso de conocimientos cuya propiedad no está legalmente protegida.	
Ingeniería en reversa o copia	Conocimiento adquirido a través de análisis de la tecnología empleada en la producción de bienes extranjeros, es decir, se reproduce la tecnología empleada en el extranjero.	Se establece por medio de la identificación y especificación de los conocimientos que sustentan los productos, procesos y métodos de producción, los materiales usados, y los métodos de organización y gestión requeridos.	<p>a) Exige del dominio de conocimientos científicos, determinadas destrezas y rutinas.</p> <p>b) La copia requiere de buenas capacidades de diseño y de ingeniería para generar las especificaciones detalladas de los procesos y productos.</p> <p>c) Se necesita un aparato productivo maduro capaz de proveer materias primas e insumos necesarios en los procesos copiados.</p>
Compra de maquinaria, equipo u otros insumos	Se basa en la importación de bienes, ya que con esto se presenta un flujo de información incorporado acerca de las adquisiciones y/o de los procesos donde se vinculan.	Se presenta en la Compra-venta de bienes de equipo y/o Compra-venta de soluciones TIC (tecnologías de la información y comunicación) en forma de software o hardware comercial.	<p>a) La información se encuentra dada en documentos técnicos sobre la operación, mantenimiento, diseño y fabricación de los bienes adquiridos.</p> <p>b) En muchos de los casos comprar la tecnología resulta más barato que desarrollarla.</p> <p>c) La compra de bienes de equipo puede ser complementada con la prestación de servicios de carácter técnico u otros.</p> <p>d) Son varios los obstáculos para este mecanismo, uno de ellos consiste en que los costos del capital influyen en la inversión de la adquisición.</p>

Información no libre	Se fundamenta en la obtención de información que no se encuentra fácilmente disponible, la cual se encuentra legal o paralegalmente protegida.	La comunicación de estos conocimientos re efectúa a través acuerdos de licencias de uso de patentes, marcas , secretos industriales, franquicias o mediante del contrato de servicios de asistencia técnica.	Este mecanismo incluye demasiadas condiciones desventajosas para los compradores, las cuales son impuestas por los dueños de la tecnología.
-----------------------------	--	--	---

Otros mecanismos para la transferencia de tecnología son la inversión extranjera y el Joint-ventures. Este último, se basa en convenios de colaboración entre las partes interesadas, para compartir activos, riesgos, costes, beneficios, capacidades o recursos en torno al desarrollo y/o explotación de tecnología y conocimiento (Tapias, 1996).

Lógicamente todos los mecanismos no son utilizables por todos los generadores o usuarios de tecnología, ni sirven para cualquier circunstancia. En ocasiones se combinan varios de ellos (Tapias, 1996).

El procedimiento de trasladar la tecnología del sitio donde fue creada hasta los centros de consumo o usuarios se denomina modelo de transferencia. Este se clasifica en tres vertientes: 1) donde los usuarios son contactados por los centros de investigación y laboratorios para que adopten la tecnología que estos generan; 2) Cuando la investigación es generada por petición y financiamiento del usuario y 3) cuando la investigación es generada por instituciones gubernamentales (Aguilar y Ortiz, 2000).

1.3.5. Transferencia de tecnología en el sector agropecuario de México.

Según Galindo (2004), en el país existen tres zonas con diferentes niveles de desarrollo agrícola: tradicional, semitecnificado y tecnificado.

En la zona tecnificada se encuentra las Regiones Noroeste, Norte-Centro y Noreste de México, con un alto porcentaje de las unidades de producción rural, en estas se desarrolla una agricultura comercial intensiva con fuerte orientación a los mercados

internos y externos, además se observan niveles de tecnología superiores a los del promedio nacional. En contraste, la zona semitecnificada, está compuesta por las regiones Centro, Sur-Pacífico y Sureste, en las que predominan las condiciones de agricultura de subsistencia y autoconsumo. Por último, la zona tradicional con las regiones Centro-Pacífico y Centro-Golfo se ubica en una situación intermedia, ya que dispone de buen temporal, con productores de relativa orientación comercial (Galindo, 2004).

En muchas áreas agrícolas del país, la agricultura ha dejado de ser la principal fuente de ingreso de un alto porcentaje de los agricultores, una de las causas es que en el medio rural los ingresos por actividades externas a las agrícolas se han elevado de manera significativa, con respecto a los obtenidos por las familias del campo, quienes ahora pueden diversificar sus actividades o encontrar empleos mejor remunerados (Galindo, 2004).

Actualmente algunos de los problemas que tienen los productores se pueden solventar en gran parte, a través de la implementación de tecnologías de bajo costo, que contribuyen a aprovechar plena y racionalmente los recursos existentes en sus propias unidades de producción (Aguilar y Ortiz, 2000).

Es importante destacar, que instituciones de investigación como el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), así como otras que enfocan su trabajo dentro del sector agropecuario, disponen de un importante acervo de tecnologías, derivadas de investigaciones multi e interdisciplinarias, con la capacidad para incrementar la producción agrícola, pecuaria y forestal en las diferentes Regiones Agroecológicas del país. Sin embargo, la mayoría de estas aún no han sido implementadas por los productores debido a diferentes razones que no están bien documentadas (Galindo, 2004).

En los países desarrollados, la transferencia de tecnología agropecuaria, no es un problema ya que los usuarios que la demandan son quienes la financian. En cambio, en países subdesarrollados, tal es el caso de México, la transferencia de tecnología

no ha tenido éxito, por lo que se ha tenido que apoyar a los productores con créditos, programas de fomento, entre otros aspectos (Aguilar y Ortiz, 2000).

Según Galindo (2004), algunas de las razones de la escasa aplicación de tecnologías en el campo mexicano son: A) baja coordinación entre las instituciones que realizan investigación y las que transfieren tecnologías; B) falta de continuidad en los programas de generación y validación de tecnología; C) carencia de una estrategia de difusión tecnológica acorde con las características socioculturales de los productores; D) la generación de innovaciones tecnológicas no responde en ocasiones a las necesidades de los productores y consumidores; E) es baja la participación de los habitantes del medio rural en las actividades de difusión, validación y transferencia de tecnología; F) la capacitación a los productores es limitada y no se dispone de mecanismos para su ejecución y seguimiento; y G) los productores agropecuarios desconocen las nuevas tecnologías generadas en las instituciones de investigación y enseñanza.

Tanto en el sector agrícola como el sector industrial del país, se presentan dos tipos de producción, la realizada por los campesinos con baja productividad y tecnología artesanal, que producen en cultivos de temporal para el mercado interno y reciben pocos apoyos gubernamentales; y el segundo grupo, que está conformado por empresarios con productividad alta y tecnología avanzada, además posee mayor apoyo del gobierno para una mejor infraestructura, lo que en economía serían las economías de escala, producción artesanal e industrial (Aguilar y Ortiz, 2000).

Aguilar y Ortiz (2000), mencionan que en México el proceso de transferencia de tecnología consta de tres componentes: a) un centro generador el cual está conformado por investigadores y/o científicos que generen tecnologías, conocimientos y materiales; b) un usuario, el cual es quien aplicara la tecnología generada para sus actividades específicas y c) un promotor, este es el encargado de trasladar desde el centro generador hasta el usuario la tecnología desarrollada. Algunos modelos de transferencia empleados en el país son el básico, difusionista, de paquete, entre otros (tabla 4).

Cuadro 4. Modelos de transferencia de tecnología propuestos para México. Fuente:(Aguilar y Ortiz, 2000).

Modelo	Descripción
Básico	En este se observa el enlace entre el centro de investigación y el productor (usuario) unidos por un promotor, el cual se encarga de difundir entre estos la información necesaria para el funcionamiento del modelo de transferencia.
Difusionista	Se centra en la comunicación de información, la motivación y persuasión de los mensajes y comunicados para inducir al ensayo y uso de innovaciones tecnológicas. Este involucra principalmente a los promotores ya que estos son los encargados de transmitir dicha información.
De paquete	Se realiza mediante la coordinación del centro de investigación con dependencias que brindan servicios al productor conformados en dos paquetes, uno tecnológico (experimentación en terrenos agrícolas) y otro de servicios (créditos, insumos, asistencia técnica, comercialización, comunicación, evaluación).
Productor experimentador	Este modelo emplea al usuario como extensionista o agente de cambio, que desarrolla algún experimento con apoyo del centro de investigación y promotor. En este la tecnología es adoptada por otros productores vecinos por imitación.
Agrónomo-productor	Esta transferencia se ejecuta con la participación de un experto agrónomo, el cual aplicara el paquete tecnológico que el centro de investigación determine , apoyado también por una fuente financiadora.
De comunicación para la transferencia de tecnología agrícola (CCTA)	En este se hace más eficaz la labor de promotor, capacitándolo para atender a los usuarios.
De transferencia de tecnología UACH-ICAMEX *	Su objetivo es la formación y capacitación de equipos interdisciplinarios de profesionales , cuya responsabilidad es la asistencia técnica agropecuaria.
Modelo propuesto por CONACYT	Se basa en un marco lógico y un análisis de costo-beneficio. El marco lógico consiste en la descripción y análisis de las causas que dan lugar a un proyecto de investigación, es una herramienta para presentar, evaluar y darle seguimiento a la tecnología transferida. Mientras que el análisis costo-beneficio identifica, cuantifica y valora la inversión realizada así como su rendimiento.

**Nota: UACH-ICAMEX es Universidad autónoma de Chapingo-Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México.*

En dichos modelos se observa que las prioridades son determinadas por los investigadores, quienes generan la tecnología en centros de investigación y laboratorios, siendo esta transferida por los servicios de asesores a los productores. Por lo que la generación y adopción de tecnología continúan siendo un proceso vertical, directivo y autoritario, lo que dificultan la difusión y adopción de innovaciones agrícolas (Aguilar y Ortiz, 2000).

1.3.6. La transferencia de tecnología como alternativa para el desarrollo rural

El desarrollo rural se concibe como un proceso de cambio por medio del cual las regiones, las comunidades y las familias rurales acceden permanentemente a mejores condiciones de calidad de vida y de bienestar. No obstante, es deseable que se presente un desarrollo rural con un crecimiento sostenido y bien distribuido de la producción agrícola (Santoyo, H., Ramírez, P., y Suvedi, M., 2000).

Mediante el desarrollo agrícola se obtiene una mejor producción comercial con los recursos agropecuarios disponibles a través de: 1) La diversificación de la producción; 2) el cambio tecnológico; 3) la intensificación de la inversión de capital; 4) el incremento de la productividad; 5) cambios en la infraestructura productiva; y 6) los controles de inocuidad y sustentabilidad, entre otros (Santoyo, et al., 2000).

El desarrollo agrícola ha traído consigo un cambio de una agricultura tradicional basada en la autosuficiencia a una agricultura orientada al mercado, con lo cual han surgido problemas en el sistema agroalimentario, ya que existe una desigualdad entre la oferta y la demanda alimentaria. Por lo cual, los productores deben balancear tres aspectos, productividad, aprovechamiento y sustentabilidad (Aguilar y Ortiz, 2000).

La agricultura está sobrepasando los límites de los recursos naturales, especialmente los hídricos disponibles. Los futuros incrementos en la producción agrícola tendrán que basarse en innovaciones tecnológicas que conduzcan a perfeccionar la eficiencia de la operación de los sistemas agrícolas, para producir más alimentos y fibras dejando de un lado la expansión territorial (Aguilar y Ortiz, 2000).

1.4. Importancia del riego

Una buena práctica de riego permite la duración del agua en el tiempo, en suficiente cantidad y calidad para los cultivos (WWF, 2009). Para implementar un programa de riego se deben tener en cuenta diversos factores, como el balance y requerimientos hídricos, el coeficiente de cultivo, la cantidad y frecuencia de riego y calidad del agua (Arias, et al., 2007). Además, se debe de seleccionar el tipo de riego y sistema de

riego adecuados para cubrir las necesidades hídricas del cultivo, sin dejar de lado el uso legal del agua (WWF, 2009).

1.4.1. Balance hídrico

El balance hídrico permite observar y medir las condiciones hídricas promedias de una zona, considerando los valores medios de evaporación y precipitación. Además, permite establecer las necesidades de riego o los excesos de agua para diferentes periodos de observación (Arias, et al., 2007).

1.4.2. Requerimientos hídricos

Los Requerimientos hídricos de un cultivo dependen de varios factores, como el clima (temperatura y humedad relativa), el suelo (textura, densidad, porosidad, drenaje y topografía) y la variedad. Es necesario determinar el requerimiento de agua del cultivo en cada etapa de este (inicial, desarrollo, media y final) (Arias, et al., 2007).

Para cubrir el requerimiento de agua de las plantas, los riegos deben aplicarse en el momento adecuado, en cantidad suficiente y es recomendable distribuirlos en forma homogénea (Prieto, et al., 2012).

1.4.3. Coeficiente de cultivo (KC)

El coeficiente de cultivo, sirve para determinar la demanda de agua de un cultivo, ya que es un coeficiente de tipo empírico, que relaciona el consumo de agua con la etapa de desarrollo del cultivo (Arias, et al., 2007).

1.4.4. Cantidad y frecuencia de riego

Regar a destiempo y en cantidades inadecuadas, daña los cultivos, lo que resulta ineficiente, pues se pierde agua y dinero (Arias, et al., 2007). Para decidir cuándo y cuánto regar, es necesario conocer la cantidad de agua que requiere el cultivo en cada momento de su desarrollo, y realizar el balance entre la cantidad de agua disponible y la cantidad requerida por el cultivo. También, se debe considerar la humedad relativa y temperatura del ambiente, así como, el tipo de contenedores y sustrato utilizado (Prieto, et al., 2012).

Para determinar cuándo regar, se puede emplear un tensiómetro, el cual es un instrumento de medición preciso, este permite determinar el contenido del agua en el suelo (Prieto, et al., 2012).

1.4.5. Calidad de agua

La calidad del agua es un factor a considerar antes de su uso en el riego de las plantas, las características químicas, físicas y biológicas del agua influyen en la calidad de las plantas (Prieto, et al., 2012).

La calidad de agua empleada en la agricultura es determinante para la producción y la calidad de los cultivos, así como, para el mantenimiento de la productividad del suelo de manera sostenible y la protección del medio ambiente. Por ejemplo, la estructura y permeabilidad del suelo son muy sensibles al tipo de iones intercambiables que provengan del agua de riego (Arias, et al., 2007).

Existen diferentes parámetros para medir la calidad del agua (tabla 6) y entre los más importantes se puede mencionar el pH, la conductividad eléctrica y las concentraciones de iones tóxicos, entre otros factores (Prieto, et al., 2012).

Cuadro 5. Parámetros para medir la calidad del agua. Fuente: (Arias, et al., 2007).

Parámetro	Efecto en las plantas
pH	Influye en la nutrición y crecimiento de las plantas. Incide en la asimilación de nutrientes.
Conductividad eléctrica	Permite conocer la salinidad del agua, la cual, si es alta, puede reducir el agua disponible para el crecimiento de las plantas
Concentración de iones tóxicos	Causa toxicidad principalmente en iones de sodio, cloro y boro

Para determinar la calidad del agua, es indispensable conocer el contenido de minerales tóxicos, en especial metales pesados, de microorganismos contaminantes, como los coliformes y el pH, y compararlos con los niveles máximos permisibles (NMP) establecidos (Flores, et al., 2014).

1.5. Tecnologías hídricas empleadas en el sector agrícola

1.5.1. Tecnologías hídricas empleadas en la agricultura de riego

Los sistemas de riego son tecnologías que ponen a disposición de los cultivos el agua necesaria para que cubran sus necesidades, complementado el agua recibida de forma natural (precipitaciones). La calidad de un sistema de riego depende de la uniformidad y eficiencia en la aplicación de este (WWF, 2009).

El agua debe de estar distribuida por igual en toda el área de la parcela regada, una buena uniformidad garantiza que todas las plantas estén correctamente regadas, sin que unas reciban agua en exceso y otras presenten algún nivel de estrés hídrico, asegurando así, el desarrollo homogéneo del cultivo y su máxima capacidad productiva (WWF, 2009).

En el proceso de riego las perdidas ocurren en diferentes momentos, por ejemplo, durante el transporte del punto de suministro a la parcela o distrito de riego, durante la aplicación del riego (ej. Fuga en tuberías o por evaporación) y en el suelo cuando este se encuentra saturado (WWF, 2009).

Los sistemas de riego pueden clasificarse en tres grandes categorías (tabla 5): riego por gravedad, riego por aspersión y riego localizado (WWF, 2009).

Cuadro 6. Tipos de sistema de riego. Fuente: (Flores, et al., 2014; CIIDIR Durango, 2016).

Tipo de sistema de riego	Descripción	Ventajas	Desventajas
Riego por aspersión	El agua es conducida a presión. Éste tipo de riego se caracteriza, porque el agua alcanza a las plantaciones por medio de una lluvia restringida a cierto sector. Por lo que puede efectuarse en suelo poco uniformes, con pendientes.	<ul style="list-style-type: none"> • Puede emplearse en terrenos que no está nivelado. • Humedece no solo el suelo sino también a las plantas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Inversión alta • Si existe mucho calor en la zona el agua se evapora rápidamente

<p>Riego por gravedad</p>	<p>El agua empleada se desplaza por los cultivos a través de gravitación. Este tipo de sistema suele mojar la totalidad del terreno, y requiere la distribución del agua a través de modificaciones físicas en el terreno, como surcos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • No necesita grandes inversiones en equipos. • Con surcos en contorno se reduce el peligro de erosión del suelo. • Se pueden usar tuberías y sifones para regular los caudales aplicados a los surcos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdidas excesivas de agua. • Exige mayores costos de agua y de mano de obra que otros métodos. • Se pueden presentar dificultades para lograr un riego uniforme.
<p>Riego localizado</p>	<p>En este sistema, se realizan pequeñas aportaciones de agua en forma continua y frecuente, manteniendo el agua alrededor del sistema radicular y mojando solo la parte del suelo próxima a la planta. El agua llega mediante tuberías hasta las plantas. Existen diversos sistemas de riego localizado, como lo son las cintas de exudación y riego subterráneo, pero el más conocido es el riego por goteo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce de manera importante la evaporación del agua en el suelo. • Permite automatizar completamente el sistema de riego, y por ende se tienen ahorros en mano de obra. • El control de las dosis de aplicación es más fácil y completo. • Tiene una adaptación más fácil en terrenos irregulares, rocosos o con fuertes pendientes. • Reduce la proliferación de malas hierbas en las zonas no regadas (mientras no exista lluvia).. • Permite el aporte controlado de nutrientes con el agua de riego sin pérdidas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costos elevados de adquisición e instalaciones. • Consumo de energía. • Necesidad de mano de obra especializada. • Necesidad de un buen diseño

1.5.2. Tecnologías hídricas empleadas en la agricultura de temporal.

La captación y conservación del agua de lluvia es una práctica importante en los cultivos de temporal. Al momento de quitar las malas hierbas y preparar los terrenos para la siembra, se recomienda la implementación de técnicas de cosecha de agua (Flores, et al., 2014), esto debido a que las técnicas de cosecha de agua, contribuyen a la conservación del suelo y mejoran la disponibilidad de agua para la planta. Entre sus principales efectos se encuentran la reducción de escurrimientos, los cuales remueven las partículas del suelo, con lo cual se incrementa la cantidad de agua que

se filtra en el perfil del suelo humectando la planta. Algunas técnicas de cosecha de agua son el surcado al contorno y el pileteo (Flores, et al., 2014).

1.5.2.1. Surcado al contorno

El surcado al contorno o curvas de nivel se basa en el trazo de los surcos perpendiculares a la pendiente, siguiendo una curva a nivel (figura 8). Esto implica que las actividades agrícolas como el barbecho, surcado, siembra y el resto de las prácticas de mantenimiento de los cultivos se realicen siguiendo las curvas a nivel y no perpendiculares o en dirección de la pendiente (SAGARPA, s.f.).

Esta técnica, es empleada en terrenos agrícolas con pendiente desde 1% hasta 7%, permite conservar la humedad y reducir la pérdida de suelo por erosión (Flores, et al., 2014). Además, particularmente en las áreas de precipitación limitada, promueve la infiltración del agua en la zona radicular de las plantas en desarrollo (SAGARPA, s.f.).

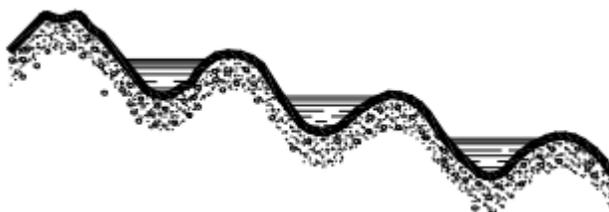


Figura 8. Almacenamiento de agua por medio de la técnica de surcado al contorno. Fuente: (SAGARPA, s.f.).

Dentro de sus ventajas, se encuentran el reducir la erosión, reducir el transporte de sedimentos y otros contaminantes del agua, así como la velocidad del escurrimiento superficial, también, promover la infiltración de agua en el suelo, y aumentar la humedad disponible para el crecimiento de las plantas (SAGARPA, s.f.).

1.5.2.2. Pileteo

Consiste en la formación de bordos de tierra, a distancias regulares (1.5 y 3.0 m dependiendo de la pendiente del terreno), en los surcos sembrados con frijol. Los bordos se forman con una pileteadora, la cual puede utilizarse desde el momento de la siembra, primera y segunda escarda. El pileteo (figura 9) favorece la acumulación de agua, y por ende, el crecimiento, desarrollo y productividad de los cultivos de secano, donde el rendimiento de estos depende de la lluvia (Prieto, et al., 2012).

Una de las ventajas de esta técnica es que favorece la conservación del suelo y la sustentabilidad productiva del cultivo. Sin embargo, dentro de sus desventajas esta la inversión en la adquisición de la pileteadora, y que en años muy lluviosos la acumulación excesiva del agua en las piletas ocasiona daños en la planta (Prieto, et al., 2012).

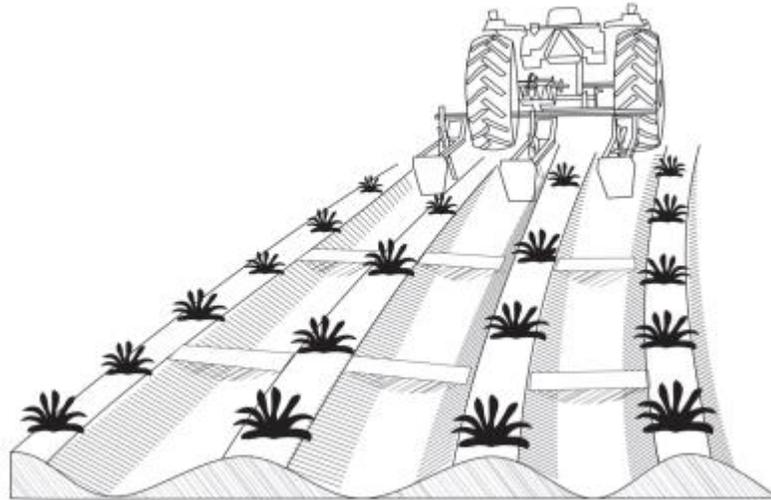


Figura 9. Representación esquemática de la técnica de pileteo. Fuente: (Prieto et al., 2012).

Es recomendado realizar un análisis fisicoquímico del suelo y levantamiento topográfico, con el fin de establecer la técnica de cosecha de agua más apropiada (Prieto, et al., 2012).

1.6. Los polímeros como estrategia para el aprovechamiento sustentable del agua

1.6.1. Hidrogeles

Los retenedores de agua, polímeros hidrofílicos o hidrogeles, “son materiales poliméricos superabsorbentes, son sólidos granulares caracterizados por tener una estructura tridimensional entrecruzada de cadenas flexibles” (Barón, et al., 2007). Estos polímeros se caracterizan por ser biodegradables, y tener la capacidad de absorber y retener grandes cantidades de agua y nutrientes cuando son introducidos en el suelo u otros medios de cultivo (Hernández, 2012), por lo que son una opción de

alta tecnología ante la escasez creciente de la disponibilidad de agua (Campaña, 2016).

Los hidrogeles son una alternativa para la conservación del agua y suelo, pues disminuyen el consumo de agua, en los suelos mejoran sus propiedades para la liberación y retención del recurso hídrico, lo que promueve una mayor producción y resistencia de las especies vegetales en condiciones hostiles. Además, los polímeros hidrofílicos, al liberar mayor cantidad de agua, las plantas presentan alivio energético, por lo que estas pueden usar esa energía en funciones de crecimiento, formación de frutos, etc. Así mismo, se desaprovecha menor cantidad de agua, aumentando la cantidad de agua útil en el suelo (Barón, et al., 2007).

Los retenedores de agua empleados en sustratos pueden clasificarse en tres tipos: polímeros derivados del poli (ácido acrílico), como lo son los poli acrilatos y las poliacrilamidas con sus respectivos copolímeros; los polímeros derivados del poli (vinil alcohol), dentro de los cuales se encuentran los copolímeros de vinil alcohol y ácido acrílico; y por último los derivados del almidón (polisacáridos), como lo son el almidón de maíz, trigo y papa (Peña, 2007).

Los hidrogeles son originarios de Alemania, Francia y Estados Unidos (Trujillo, 2009). El interés en estos polímeros creció a principios de los años cincuenta, cuando la empresa Monsanto desarrollo el "Krilium", el cual es una mezcla de polímeros como el acetato de vinilo, ácido málico y polyacrilonitrilo hidrolizado. Sin embargo, el producto no tuvo el éxito esperado, ya que su capacidad no excedió 20 veces su masa. Una década después, se creó un polímero superabsorbente, perteneciente al grupo de las poliacrilamidas, desde entonces han surgido distintos polímeros que actúan como retenedores de agua (Peña, 2007). En la actualidad, el hidrogel se encuentra en el mercado bajo distintos nombres y calidades, algunos de estos son: Silos de Agua, Hidokeeper, Agua sólida, Aguagel, entre otros (Campaña, 2016).

1.6.1.1. Funcionamiento

Al ser hidratados los polímeros, el agua se desplaza al interior de la partícula del hidrogel, a medida que el agua se difunde en la partícula esta incrementa su tamaño

y las cadenas poliméricas se mueven para acomodar las moléculas de agua, en forma simultánea, la presencia de puntos de entrecruzamiento impide que las cadenas en movimiento se separen y por lo tanto se disuelva el agua. Dicho proceso se presenta a distintas velocidades, según el grado de polimerización del material (Hernández, 2012).

El aumento-disminución de la partícula es proporcional a su diámetro. Mientras mayor sea el diámetro de esta mayor será su capacidad de absorción, no obstante, perderá antes el agua que contiene (Peña, 2007).

Por lo general, los hidrogeles no contaminan el suelo, agua ni otros organismos, siempre y cuando las concentraciones de acrilamida en la poliacrilamida sean menores de 0.05%, ya que esta es una neurotóxica y un cancerígeno. Además, los retenedores de agua poseen un pH neutro, en su descomposición no dejan residuos peligrosos, son biodegradables, y no son tóxicos, ni volátiles (Peña, 2007).

1.6.1.2. Hidrogeles en los sectores agrícola y forestal

En la actualidad, ha aumentado el interés del uso de estos polímeros en la agricultura, con el fin de aumentar la capacidad de retención de agua en el suelo, favoreciendo así el desarrollo de las plantas. El uso de hidrogeles permite un mejor aprovechamiento del agua de lluvia o riego, ya que se pierde menor cantidad del recurso hídrico por filtración y se disminuye la evaporación de la misma. Además, la utilización de polímeros produce una mejora de la estructura del suelo por lo que promueve la recuperación de zonas semiáridas o terrenos de cultivo abandonados y poco fértiles cuando se emplea de forma extensiva (Rojas, et al.,2006).

Según estudios de Barón, et al, (2007), el uso de retenedores de agua retrasa el inicio de marchitamiento hasta un 400% en especies forestales y en el caso de sequías prolongadas la cantidad de plantas marchitas desciende un 250%. Además, la misma cantidad de irrigación y frecuencia, ante condiciones de sequía, las acacias cultivadas en suelos con hidrogel continúan su crecimiento y desarrollo por más tiempo, en comparación con aquellas cultivadas en suelos sin acondicionamiento. Los suelos acondicionados con hidrogeles, presentan una mayor retención de agua, lo que

permite sobrevivir a las especies forestales cultivadas bajo condiciones de sequía (Barón, et al., 2007).

En el sector forestal una de las marcas más utilizadas es Hidrokeeper®, este hidrogel tiene la capacidad de absorber en promedio hasta 350 veces su peso en agua, además posee un tiempo de vida útil que va entre los cuatro y siete años. Los hidrogeles pueden ser aplicados en cualquier especie, ya que actúa en los sistemas radiculares de las plantas (Trujillo, 2009).

1.6.2. Poli acrilato de potasio: desarrollo tecnológico para el aprovechamiento sustentable del agua

El agua sólida también conocida como poli acrilato de potasio o hidrogel, es un polímero derivado del petróleo, fabricado con acrilatos absorbentes de agua. Su composición química es de 90% poliacrilaminas y 10% aditivos (acrilatos de potasio y silicatos de aluminio) (figura 10). Un polímero es una sustancia química resultado de enlaces entre moléculas de poca masa que forman una molécula de mayor tamaño y de alto peso molecular mediante polimerización (Alarcón, 2003).

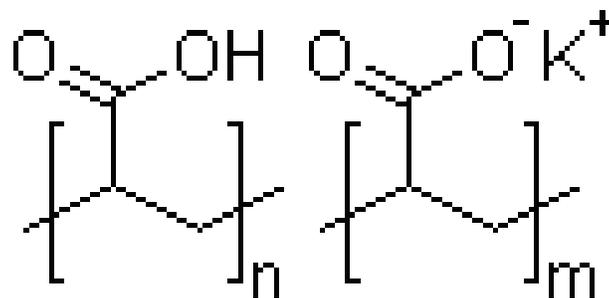


Figura 10. Molécula de poli acrilato de potasio. Fuente: (Alarcón, 2003).

El agua sólida al ser un polímero altamente higroscópico, es decir, que absorbe grandes cantidades de humedad, tiene la capacidad de retener en su estructura hasta 500 veces el peso de su masa en agua a diferencia de otros polímeros hidrofílicos que solo logran retener no más de 20 veces el peso de su masa. Ocho gramos de poli acrilato de potasio son capaces de retener hasta cuatro litros de agua (Paz y Ortiz, s.f.).

Es importante diferenciar el agua sólida de los silos de agua, ya que, aunque ambos son polímeros hidroabsorbentes su estructura química es distinta. Los silos de agua están formados a base de sodio lo cual lo hace menos capaz de retener agua y su vida útil es de una cuarta parte del poli acrilato de potasio, lo que lo convierte en contraproducente para los cultivos o plantas (Paz y Ortiz, s.f.).

Al actuar como un reservorio de agua, el agua sólida permite que el agua almacenada sea absorbida por las raíces de las plantas de acuerdo con sus requerimientos y necesidades, manifestando un crecimiento estable y saludable de los cultivos. Esto debido a que mantiene la humedad y los nutrientes hasta por espacio de nueve meses dependiendo de la calidad del agua y del suelo. Una vez pasado este periodo los acrilatos regresan a su estado original y son capaces de absorber nuevamente agua, ya sea que esta provenga de riego o de lluvia (Alarcón, 2003).

El proceso de rehidratación del polímero puede realizarse aproximadamente durante 10 años, tiempo considerado como la vida útil del polímero ya hidratado, pasado este tiempo se integra al suelo hasta desaparecer ya que es totalmente biodegradable (Rico, 2015).

1.6.2.1. Funcionamiento del Poli acrilato de potasio

El poli acrilato de potasio está compuesto por un conjunto de cadenas de polímeros que conforman una red, cuando el agua entra en contacto con una de estas cadenas, se introduce en la molécula del polímero por medio de ósmosis (figura 11), cuando el suelo pierde humedad, el polímero libera hasta el 95% del agua absorbida (Alarcón, 2003).

Al ser muy voluminoso, la capacidad de bioacumulación del polímero es nula, por lo cual no puede ser absorbido por los tejidos y las células de las plantas (Alarcón, 2003).

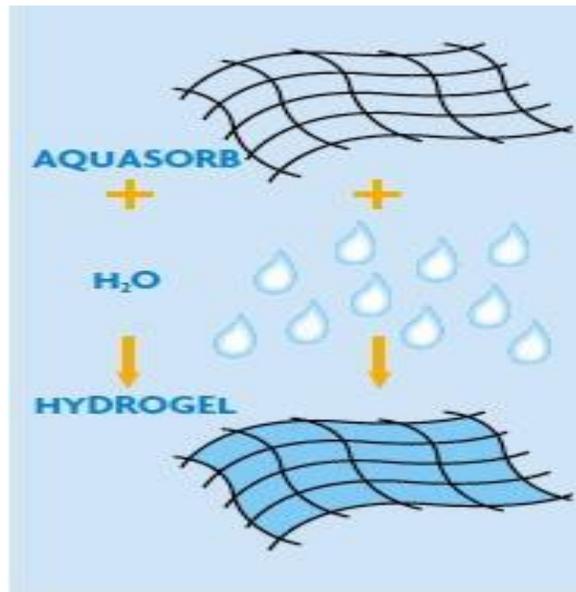


Figura 11. Funcionamiento del poli acrilato de potasio. Fuente: (Alarcón, 2003).

Según (Alarcón, 2003). mientras más alta sea la temperatura del agua (temperatura no especificada por el inventor), más rápida será la absorción de la misma agua por el poli acrilato de potasio.

Según su inventor, el ingeniero mexicano Sergio Rico Velasco, algo muy importante a considerar es que una vez hidratado, el polímero no se debe exponer durante periodo prolongados a la luz de sol. Ya que al ser un polímero es muy sensible a la acción de los rayos ultravioleta que transforman los polímeros en moléculas de menor tamaño (oligómeros), es decir que la luz ultravioleta cristaliza el polímero y promueve la evaporación del agua ya contenida (Alarcón, 2003).

El poli acrilato de potasio es muy sensible a los procesos aeróbicos y anaeróbicos de la degradación microbiológica, lo cual permite que se degrade naturalmente en el suelo entre un 10% y 15% aproximadamente por año, esto en presencia de dióxido de carbono (CO₂), agua y compuestos de nitrógeno (Alarcón, 2003).

El agua sólida puede ser administrada de dos formas: de forma hidratada (poli acrilato de potasio cargado con agua) y sin hidratar (poli acrilato de potasio sin agua en el suelo). Por ejemplo, para cultivos de frijol, se aplica el hidrogel antes de sembrar la

semilla, a una profundidad de entre 7 cm a 12 cm en el suelo, con una dosis en seco de 25 kg/ha (Alarcón, 2003).



Figura 12. Chavarría, E., Así funciona el agua sólida (infografía). Recuperado de <http://www.razon.com.mx/spip.php?article109467>.

1.6.2.2. Beneficios del Poli acrilato de potasio

A decir de Rico (2015), inventor de la tecnología denominada agua sólida, esta posee múltiples beneficios, algunos de estos son: 1) reduce la erosión del suelo; 2) no contamina ya que es un producto biodegradable; 3) reduce el consumo de agua; 4) reducción significativa en la mano de obra, combustibles, desgaste de equipos, etc.; 5) reduce el uso de fertilizantes debido a que al reducir riegos algunos nutrientes ya no son lixiviados al subsuelo; 6) acelera el crecimiento del cultivo; 7) incrementa la densidad de los cultivos (figura 13); 8) reduce el estrés hídrico en plantas durante periodos de sequía o por falta de lluvia; 9) es posible iniciar la siembra sin esperar la temporada de lluvia; 10) se reducen costos de sistemas de riegos; 11) mejora la calidad

del cultivo; 12) ofrece la posibilidad de almacenar la lluvia en costales y de forma sólida; y 13) se puede emplear aun cuando el cultivo ya fue plantado.

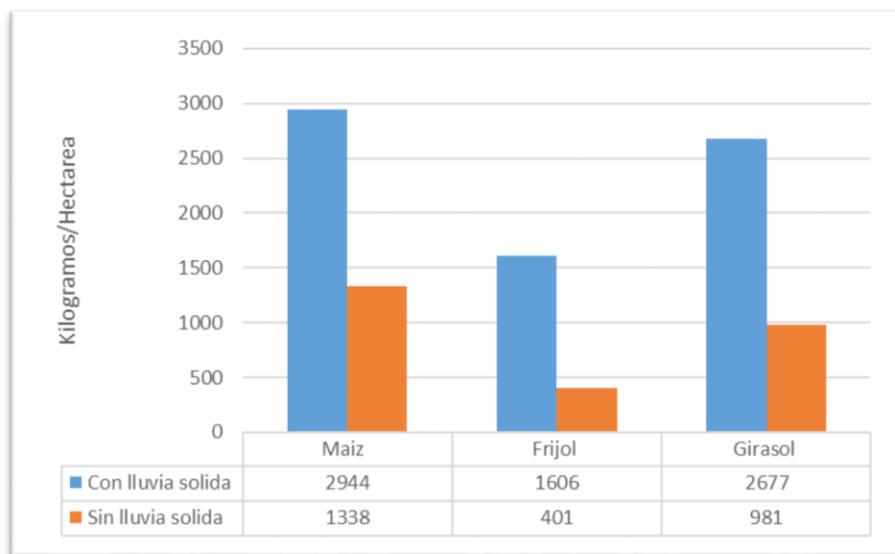


Figura 13. Diferencia entre los cultivos con y sin lluvia sólida. Recuperado de: <http://sitios.dif.gob.mx/dgadc/wp-content/uploads/2012/10/LluviaSolida.pdf>

El agua sólida representa un sistema de riego ideal para aquellas tierras de temporal expuestas a los efectos del cambio climático (Paz y Ortiz, s.f.). En las áreas de riego, ayuda a disminuir la sobreexplotación de mantos acuíferos y recursos hídricos, permitiendo así la estabilidad ecológica en los ecosistemas (Rico, 2015).

La ingesta o inhalación del agua sólida no producen daños perjudiciales que puedan poner en riesgo la vida de las personas (tabla 7), es decir, el agua sólida no es un producto tóxico (Alarcón, 2003).

Cuadro 7. Información toxicológica del poli acrilato de potasio. Fuente: (Alarcón, 2003).

Inhalación	El polvo puede irritar el tracto respiratorio
Ingestión	Puede causar incomodidad o molestias gastrointestinales. Baja toxicidad oral.
Ojos	El polvo puede producir irritación leve
Piel	Puede causar irritación, específicamente después de contactos prolongados y repetidos
Toxicidad crónica	No conocida

1.6.2.3. Aplicación del Poli acrilato de potasio

Al mezclar el hidrogel con sustrato, incrementa el rendimiento, crecimiento y probabilidades de sobrevivencia de las plantas. Por lo que es usado en la agricultura, horticultura, fruticultura y el sector forestal, hidroponía, invernaderos, viveros, en césped y mezclas de sustratos para jardinería. No obstante, su uso no es apto en la agricultura de rotación, pues la utilización de maquinaria como el tractor puede destruir el hidrogel (Gómez, 2014).

Al respecto, Gómez (2014), menciona que “El hidrogel también ha demostrado su eficiencia en la agricultura a gran escala, especialmente en el momento de la germinación y el desarrollo de la red de raíces, debido a una buena aireación del suelo” (Citado en Tornado, 2012).

Según Gómez (2014), el hidrogel ha sido analizado en la germinación y desarrollo de *Pinus gregii*, *Abies vejari*, *Taxodium mucranatum*, *Pinos arizonica*, entre otras especies vegetales. También existen estudios del hidrogel en el cultivo de papas y rábanos, y en la germinación de tomate, en los cuales el poliacrilato de potasio mostró resultados favorables.

Tal fue el caso de Vélez (s.f.), quien evaluó el efecto y la rentabilidad del poli acrilato de potasio en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad crespita Salad. Para esto empleó un diseño experimental de bloques completos al azar, cuyos factores de estudio fueron; el riego (con y sin riego) y la aplicación del poli acrilato de potasio (aplicación en raíz y suelo, en raíz, en suelo y sin aplicación), por lo que el experimento constó de ocho tratamientos, de tres repeticiones. En este estudio, los mejores resultados se obtuvieron al usar el poli acrilato de potasio en raíz y suelo, combinado con riego; en dichos tratamientos se presentó un mayor peso de planta completa (159.83 gr.), un mayor peso en la parte aérea de la planta (143 gr.) y un mayor peso en la raíz (19.67 gr). En cuanto a la rentabilidad del hidrogel, se efectuó un análisis de presupuesto parcial, el cual arrojó como tratamiento más rentable la aplicación del poli acrilato de potasio en raíz y suelo con riego, cuyo beneficio fue de 10.789 USD/Ha, lo

que fue equivalente a un incremento del 72% en comparación con el tratamiento de riego sin el polímero.

Así mismo Sanz (2015), en su trabajo de tesis doctoral, realizó la caracterización fisicoquímica del poli acrilato de potasio y el estudio de sus efectos para subsanar suelos, así como la evaluación del impacto en parámetros agronómicos en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones de clima Mediterráneo. Dentro de su estudio analizó el impacto del polímero en el pH, conductividad eléctrica y propiedades hídricas de los suelos, y los efectos en parámetros de crecimiento, rendimiento y calidad de tomate de industria en condiciones de campo. Teniendo como resultado un efecto positivo en el establecimiento del cultivo, en el crecimiento vegetativo y en el rendimiento.

Hernández (2012), comparó el efecto en el suelo del poli acrilato de potasio con el producto Algaenzims y la mezcla de ambos, tomando como variables de respuesta la retención del agua en el suelo y el desarrollo de las plantas (peso seco, altura y cantidad de clorofila), empleado como cultivo indicador el frijol en condiciones de invernadero. Concluyó que la aplicación del poli acrilato de potasio presentó un efecto significativo en las variables fisiológicas de altura y peso seco de la planta, y una significativa retención de humedad en el suelo arcilloso. De igual manera, la aplicación de la mezcla del poli acrilato y el Algaenzims en el suelo tuvo un efecto sinérgico en la capacidad de retención en el suelo arcilloso y el sustrato peat moss, así como en el contenido de clorofila en la planta.

Otro que estudio el poli acrilato de potasio en cultivo de frijol fue Alarcón (2003). Este evaluó el poli acrilato de potasio en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de invernadero y condiciones de campo, con el fin de determinar la capacidad de retención del polímero y evaluar el rendimiento en un cultivo nativo y una variedad mejorada de frijol sometidas a la aplicación del polímero, así mismo, realizar un análisis económico del uso del poli acrilato de potasio en del cultivo de frijol. En condiciones de campo, con el uso del poli acrilato, el frijol altinense presentó un aumento del 37% en comparación con el frijol en condiciones de campo sin el uso del polímero, y el frijol de la variedad parramos en condiciones de campo tuvo un aumento

del 49%. En cuanto al rendimiento en condiciones de invernadero, el uso del poli acrilato de potasio en el frijol altense tuvo un incremento del 60% en su rendimiento, y en el frijol parramos fue del 46%. La capacidad de absorción del polímero fue de 138 veces su peso en agua.

Además del frijol, el poli acrilato de potasio también ha sido estudiado en Habas. Tal es el caso de trabajo de tesis de grado de Campaña (2016), el cual tuvo como objetivo estudiar el efecto de la aplicación del agua sólida en el cultivo de habas bajo un ambiente controlado. Dicho estudio tuvo resultados que la variedad Sangre de Cristo-con una dosis de 1.12 g (dosis media) en 3 kg de sustrato recuperado de cangagua presento un mayor crecimiento (66 cm en promedio) en comparación con los demás tratamientos; en cuanto al mayor número de raíces, lo presentó el tratamiento de la variedad Sangre de Cristo-con una dosis de 0.45 g (dosis baja) en 3 kg en suelo recuperado de cangagua, con una media de 53 raíces. Campaña concluyó que la mejor dosis de poli acrilato es de 1.8 g (dosis alta) en 3 kg de sustrato.

En lo que respecta a México, según Alarcón (2013), en el estado de Yucatán el hidrogel se aplicó en diez hectáreas temporales de frijol, maíz y durazno, incrementado sustancialmente el rendimiento de estos cultivos. Además, en Zacatecas, la implementación del hidrogel en cultivos de frijol tuvo como resultado un aumento del 30% en la producción de este cultivo.

1.6.2.4. Costos lluvia sólida

Cuadro 8. Costos de la lluvia sólida. Fuente: <http://www.lluviasolidashop.com/index.php>.

Presentación	Cantidad	Rendimiento (litros agua)	Costo (sin IVA)	Marca
Costal	25 kg	*Cubre hasta 1/3 de hectárea	\$6466.00	Lluvia sólida , innovación mexicana.
Frasco	500 gr	200	\$216.00	
Frasco	150 gr	15 a 20	\$78.00	

1.7. Cultivo de frijol

El frijol es una planta originaria de Mesoamérica, esta ha sido cultivada desde hace 8 mil años, por lo que se han desarrollado una amplia diversidad de tipos y calidades de frijol. Existen alrededor de 150 especies de frijol, México cuenta con 50 de estas, entre

las que destacan el frijol combo (*Phaseolus lunatus* L.) y frijol tepari (*Phaseolus acutifolius* Gray), frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y el frijol acoyote (*Phaseolus coccineus* L.), siendo estas últimas dos las especies más relevantes en el país (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, s.f.).

México produce alrededor de 750 cultivos a nivel nacional, por lo que el gobierno mexicano seleccionó 38 cultivos que conforman un grupo estratégico para el crecimiento del sector agrícola en la nación, entre estos se encuentra el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) (SAGARPA, s.f.). Este es uno de los principales cultivos alimenticios que genera beneficios económicos para los productores agrícolas en el país, por lo que se produce en todo el territorio mexicano (Flores, et al., 2014).

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es una planta herbácea proveniente de la familia de las *fabaceae*, tiene tallos delgados y débiles, cuadrangulares, hojas trifoliadas de ápice acuminado, además posee una raíz pivotante principal que permite el desarrollo de raíces secundarias, en las cuales se desarrollan nódulos con bacterias fijadoras de nitrógeno (Biodiversidad mexicana, s.f.). La planta de frijol puede alcanzar una altura de 50 a 70 cm. Su desarrollo está dado por nueve etapas fenológicas, divididas en 2 fases, fase vegetativa y fase reproductiva (figura 14) (Fernández, Gepts y López, 1986).

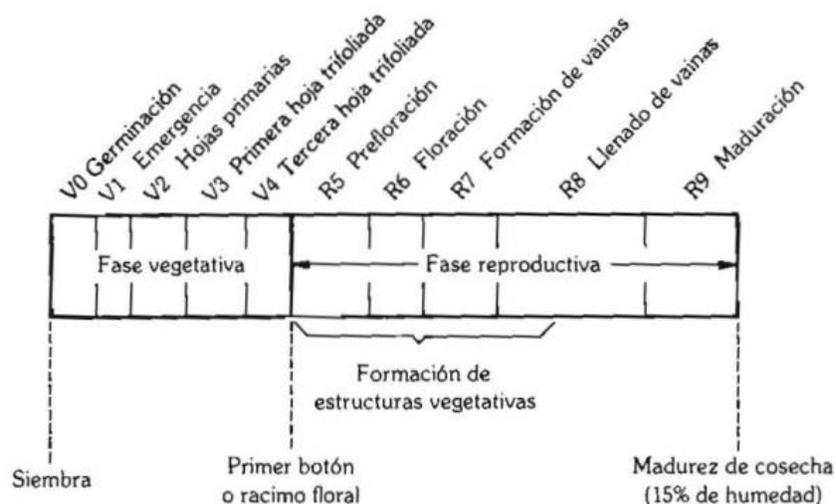


Figura 14. Etapas fenológicas del frijol. Fuente: (Fernández, Gepts y López, 1986).

El frijol es de gran importancia en la dieta de los mexicanos, ya que es una fuente importante de proteínas, minerales y vitaminas. Éste cultivo representa el 15% de los alimentos que ingieren habitantes de las zonas rurales. Además, el frijol es considerado un elemento de identificación cultural, comparable con otros productos, como lo son el maíz y el chile (CONAGUA, s.f.).

1.7.1. Producción de frijol en México

La producción de frijol en México creció alrededor de un 22.5% entre los años 2015 y 2017, en estos 3 años, la producción de esta legumbre se incrementó de 942, 579 toneladas a 1,154,682 toneladas. Los estados que mayor aportan a esta producción son Zacatecas, Durango y Chihuahua, estos en conjunto, aportan entre el 52 y 56 % de la producción total anual en el país (figura 15) (SIAP, 2015-2017).

Respecto a la superficie sembrada de este cultivo, a nivel nacional, esta pasó de ser 1,682,092 hectáreas sembradas en 2015 a ser 1,676,658 hectáreas sembradas en 2017, esto equivale a una reducción del 0.32% (SIAP, 2015-2017).

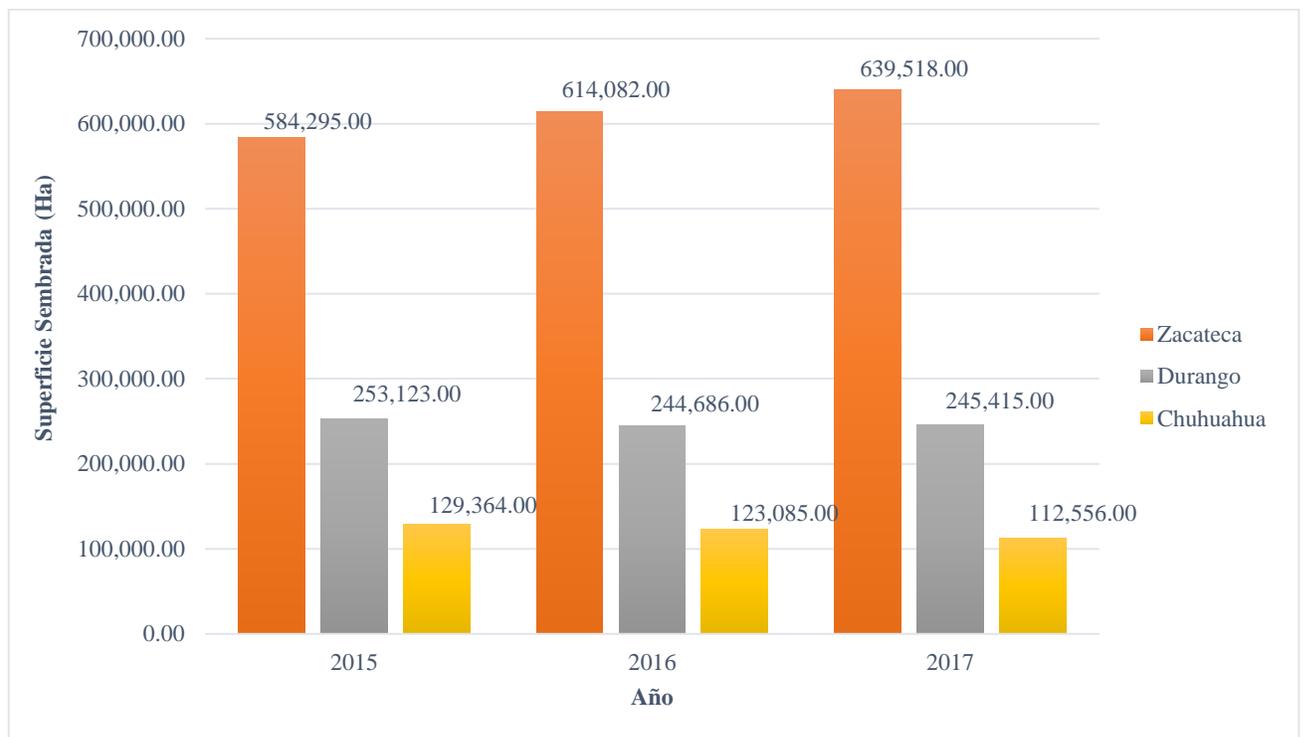


Figura 15. Producción de frijol de diciembre del 2015 a diciembre del 2017. Fuente: (SIAP, 2015-2017).

1.7.2. Producción de frijol en Durango

Durango ocupa el segundo lugar a nivel nacional en la producción de frijol (SIAP, 2015-2017), por lo que la producción de este cultivo, es una de las principales actividades económicas del estado. Sin embargo, en Durango la producción del frijol se realiza en cultivos de temporal (figura 16), en zonas áridas y semiáridas, donde la disponibilidad de agua es limitada y las pérdidas de rendimiento en los cultivos son comunes (INIFAP, 2017).

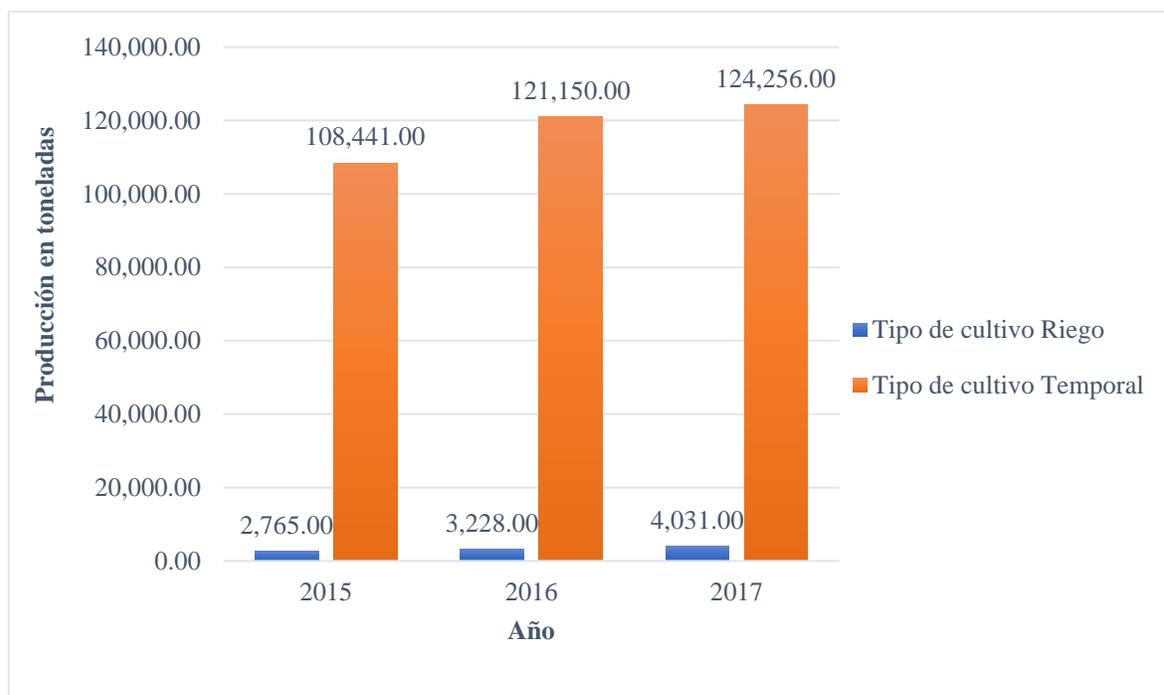


Figura 16. Producción de frijol en el Estado de Durango, periodo del 2015-2017. Fuente: (SIAP, 2015-2017).

La producción de frijol en el estado, se realiza en su mayoría en áreas con clima seco y semiseco (Flores, et al., 2014). Las principales áreas productoras de frijol de temporal en Durango son: Cuencamé, Guadalupe Victoria, Panucó de Coronado, Peñón Blanco, Vicente Guerrero, Canatlán e Indé. En cuanto a la producción de frijol bajo riego, los municipios de Nombre de Dios, Poanas, Vicente Guerrero y Durango suman el 90% de la superficie sembrada bajo esta modalidad (INIFAP, 2017).

Respecto a la superficie sembrada en el estado, la mayor superficie sembrada se presentó en los cultivos de tipo temporal. Sin embargo, esta se redujo de 250,477 ha sembradas en 2015 a 242,647 ha sembradas en 2017 (figura 17), lo que equivale a una disminución del 3.1% (SIAP, 2015-2017).

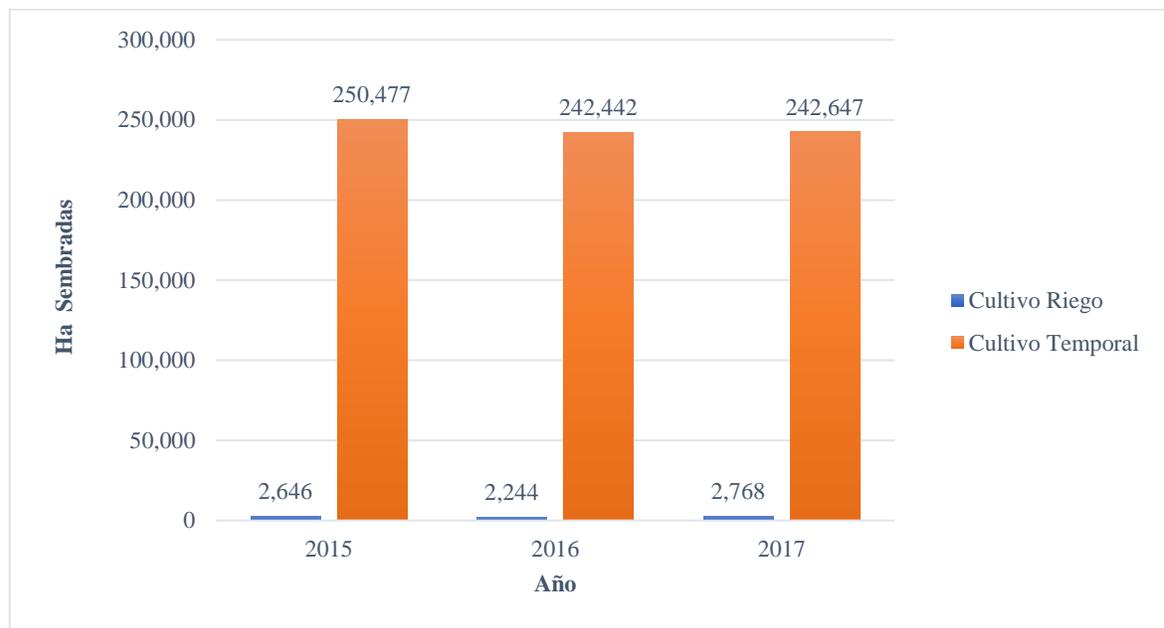


Figura 17. Superficie de cultivos de frijol sembrada del año 2015 al 2017. Fuente (SIAP, 2015-2017).

II. JUSTIFICACIÓN

Durango es el segundo productor de frijol a nivel nacional. A pesar de su importancia, la mayor área se cultiva en sistema de temporal, por lo que el clima y la limitada disponibilidad de agua generan pérdidas en el rendimiento de dicha legumbre. Tal es el caso del municipio de Nuevo Ideal, entre otros, en el cual el frijol de temporal es el segundo cultivo en genera mayores ingresos (figura 18) (SIAP,2016).

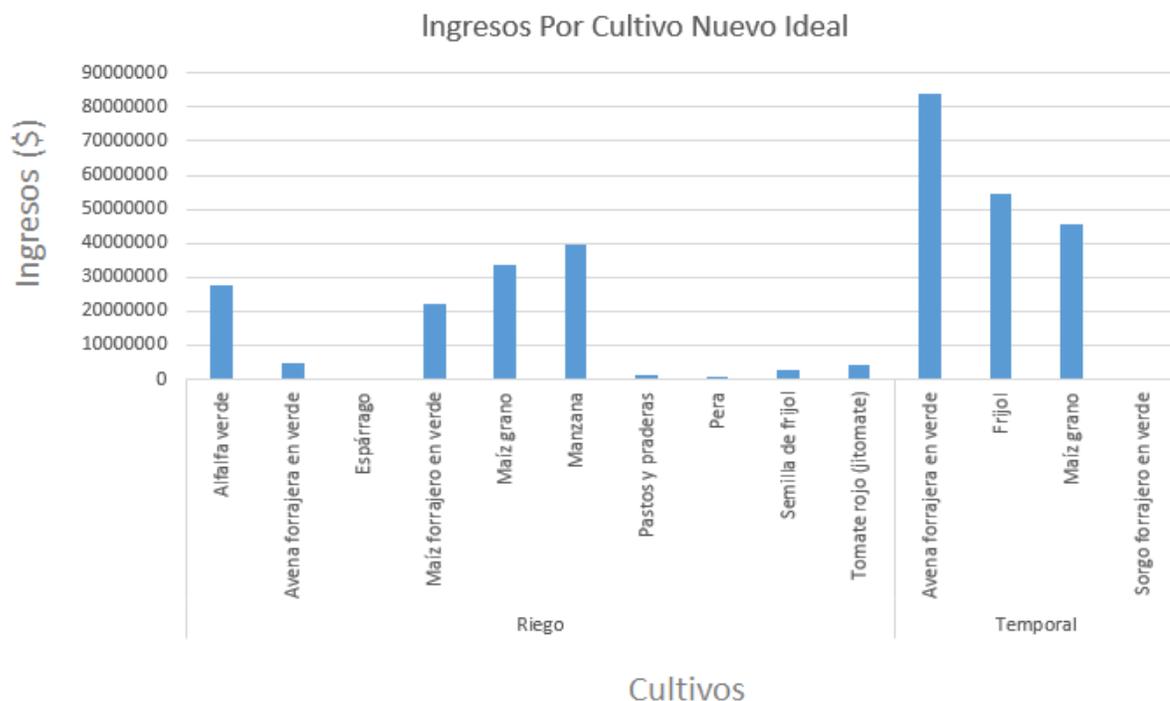


Figura 18. Ingresos por cultivo, Nuevo Ideal, Durango. Fuente: (SIAP, 2016)

El déficit hídrico en el frijol, en las etapas fenológicas de floración, formación de vaina y llenado del grano puede causar una disminución del 50 hasta el 70% en el rendimiento del cultivo (Aguilar, et al., 2012). Debido a los fenómenos de sequías, este cultivo ha presentado pérdidas; un ejemplo de esto fue la sequía del 2005 en la que se perdió el 75% de la producción de frijol en el municipio de Nuevo Ideal.

A causa del cambio climático, se proyecta una disminución de 2 a 10% en la precipitación media anual del Estado de Durango, al igual que incrementos en la temperatura de 3°C a 4°C, lo que afecta la disponibilidad del recurso hídrico en el estado (Salinas, Colorado y Maya, M.E,2015).

Debido a lo anterior y la importancia que tiene la actividad agrícola, en específico el cultivo de frijol de temporal en el Municipio de Nuevo Ideal, surge la necesidad de buscar alternativas para hacer eficiente el aprovechamiento del recurso hídrico en las actividades de agricultura temporal de la zona.

De acuerdo a la GIRH en relación a la generación de tecnologías para el aprovechamiento sostenible del agua y la necesidad de transferir aquellas tecnologías generadas en el país para este propósito, además de ser Durango uno de los principales productores de frijol, la presente investigación aborda la problemática ambiental centrada en el recurso hídrico del ejido de Nuevo Ideal y su relación con las actividades de agricultura temporal, en específico el cultivo del frijol de temporal. Esto mediante la evaluación técnica y social de tecnología del agua sólida, buscando responder las siguientes preguntas de investigación: 1) ¿la tecnología del poli acrilato de potasio incide en el aprovechamiento eficiente y eficaz del recurso hídrico en cultivos de frijol de temporal?, 2) ¿el poli acrilato de potasio disminuye el estrés hídrico del cultivo de frijol de temporal e incide en la mejora de la producción de dicho cultivo? y 3) ¿sería posible que el ejido de Nuevo Ideal fuera un lugar viable para la implementación de la tecnología del poli acrilato de potasio?

III. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar si la tecnología del poli acrilato de potasio como herramienta de la GIRH, contribuye a la eficiencia del uso del agua de lluvia en el cultivo de frijol de temporal, y pudiera representar una alternativa viable para el ejido de Nuevo Ideal, Durango, México, en el ciclo 2018-2019.

3.2 Objetivos específicos

- Evaluar la viabilidad técnica de la Lluvia sólida en el cultivo de frijol de temporal (en una parcela demostrativa, en el ejido de Nuevo Ideal), con el objetivo de conocer cómo influye en la eficiencia del aprovechamiento del agua.
- Evaluar la percepción social de la tecnología de la Lluvia sólida en cultivo de frijol, con el fin de conocer la viabilidad cultural en relación a ésta.

- Proponer estrategias de gestión sectorial para la transferencia de tecnológica a productores del ejido de Nuevo Ideal, con el fin de mejorar la eficiencia en el aprovechamiento del agua en dicho ejido.

IV. HIPÓTESIS

La tecnología del poli acrilato de potasio como herramienta de la GIRH, contribuye a la eficiencia del uso del agua de lluvia en el cultivo de frijol de temporal, representando una alternativa viable para el ejido de Nuevo Ideal.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente proyecto abordará un estudio mixto (cualitativo y cuantitativo). Para el cual se definieron como variables a analizar el aprovechamiento sustentable del agua y la validación de la tecnología. Para cada variable se definieron indicadores, así como escalas o categorías para la medición de los mismos (Cuadro 9).

Cuadro 9. Operacionalización de variables.

	Concepto	variable	Definición	Indicadores	Definición	Escala o categoría
Dependiente	Gestión integrada del recurso hídrico	Aprovechamiento sustentable del agua.	Aprovechamiento del agua de manera eficiente, garantizando su calidad y disponibilidad para generaciones futuras.	Eficacia	Lograr que se cumpla el objetivo deseado	<ul style="list-style-type: none"> • Baja • Mediana • Alta
				Eficiencia	Es el uso óptimo que se le da al recurso	
Independiente	Validación de la tecnología	Validación social de la tecnología	Verificar la hipótesis establecida de que una opción tecnológica disponible supera	Percepción	Es el acto de recibir, interpretar y comprender la tecnología. //Es el mecanismo individual que realizan los seres	<ul style="list-style-type: none"> • Mala • Indiferente • Buena • Excelente

			en alguna de sus características a aquella que se encuentra en uso. (Galindo, 2004)		humanos que consiste en recibir, interpretar y comprender las señales que provienen desde el exterior, codificándolas a partir de la actividad sensitiva.	
--	--	--	---	--	---	--

Para la variable de aprovechamiento sustentable del agua se optó por realizar una evaluación técnica de la tecnología, mientras que para la variable de validación social de la tecnología se optó por hacer una evaluación social (cuadro 11).

Cuadro 10. Proceso metodológico propuesto.

variable	Tipo de Evaluación	Indicadores	Técnicas
Aprovechamiento sustentable del agua.	Evaluación técnica	Eficacia	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realización de pruebas de saturación del hidrogel, para corroborar su capacidad de almacenamiento de agua. Es decir, si este es tan eficaz como algunos autores lo mencionan. 2. Implementación en campo de un diseño factorial de 3X2. con el objetivo de conocer cómo influye en la eficiencia del aprovechamiento del agua.
		Eficiencia	
Validación de la tecnología	Evaluación Social	Percepción	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aplicación de encuestas, con el fin de medir la percepción que tienen los productores así esta tecnología. 2. Análisis estadísticos y de contenido de dichas encuestas.

5.1. Descripción del área de estudio

El área de estudio es el ejido de Nuevo Ideal, ubicado en la parte noroeste del estado de Durango y al oeste de la cabecera municipal de Nuevo Ideal, a dos kilómetros de esta (figura 19) (Comisión Nacional Forestal, 2005).

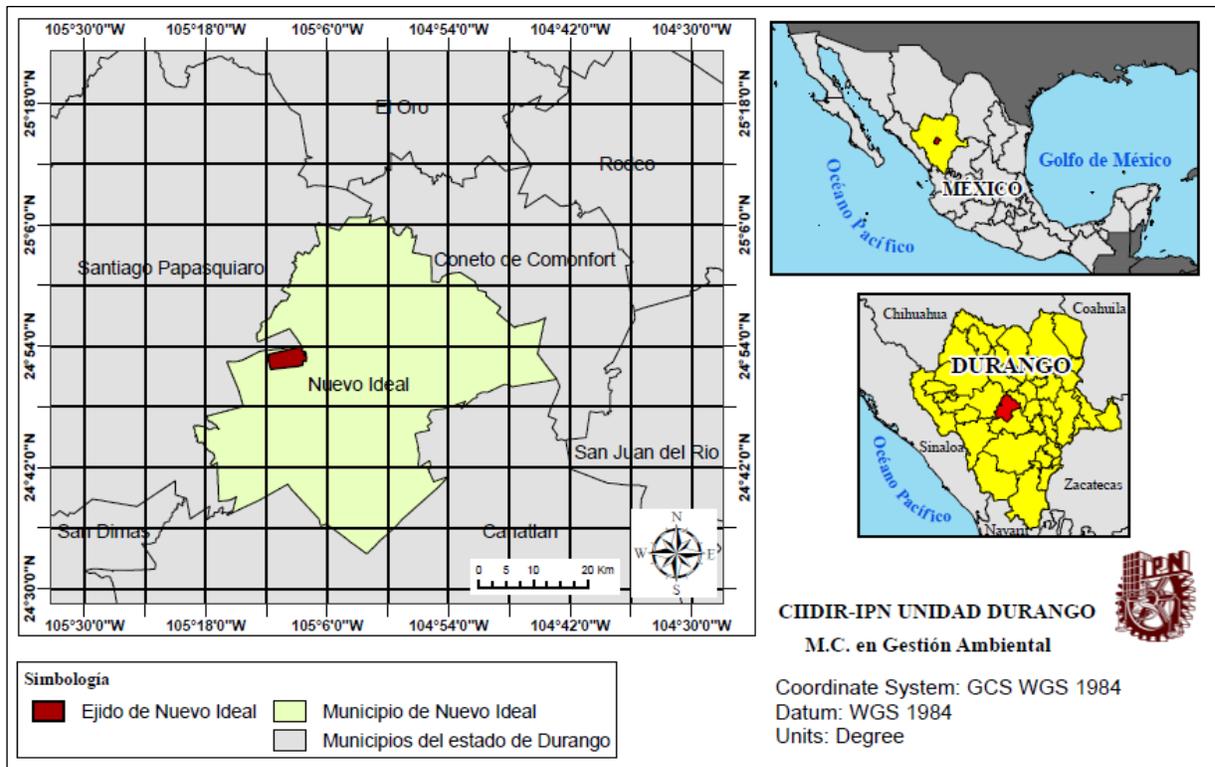


Figura 19. Ubicación del Ejido de Nuevo Ideal. Fuente: Elaboración propia.

El ejido de Nuevo Ideal colinda al norte con la propiedad privada Alfredo Quiñones, al sur con el ejido Villahermosa, al este con terrenos nacionales de pequeños propietarios y al oeste con el ejido Candidato. Este ejido cuenta con un total de 389 ejidatarios (Comisión Nacional Forestal, 2005).

Una parte del presente trabajo se realizó en una parcela demostrativa ubicada en dicho ejido. En una Latitud de 24.8827° y una longitud de -105.0896°.

5.2. Población objetivo

La población objetivo del presente proyecto son los productores agrícolas del ejido de Nuevo Ideal, en específico aquellos dedicados al cultivo de frijol.

5.3. Metodología del estudio

Etapa 1. Obtención, revisión, clasificación y análisis de información secundaria, que permitió la elaboración, presentación y defensa de protocolo de investigación, así como el marco teórico del presente trabajo.

Etapa 2. Evaluación técnica de la lluvia sólida, esta se dividió en dos partes:

2.1. Evaluación de la eficacia del hidrogel: realización de pruebas de saturación.

2.2. Evaluación de la eficiencia del hidrogel: Implementación de un diseño experimental en campo. Incluyendo las actividades de preparación de parcela experimental, como recolección y revisión de información de campo.

Etapa 3. Evaluación social de la lluvia sólida: Consistió en el diseño de formato, validación y aplicación de una encuesta. Al igual que la realización de dos pláticas introductorias sobre la lluvia sólida, una en la validación del instrumento y otra en la aplicación del mismo a la población objetivo, incluyendo la elaboración de material didáctico para dichas pláticas.

Etapa 4. Procesamiento de información. Ordenamiento de la información obtenida en las etapas uno y dos, seguido del procesamiento, análisis y discusión de los resultados, a fin de proponer estrategias de gestión sectorial del agua a productores de frijol del ejido de Nuevo Ideal.

5.4. Evaluación técnica

5.4.1. Evaluación de la eficacia de la lluvia sólida: Pruebas de saturación.

En la Central de Instrumentación del Instituto Politécnico Nacional – CIIDIR Unidad Durango, se realizaron pruebas de saturación al hidrogel con el objetivo de verificar si este retiene 500 veces su peso en agua y si es que la temperatura del agua influye en su capacidad de saturación.

Utilizando vasos de precipitado con capacidad de 200 mililitros (ml) cada uno, se definieron cuatro muestras. A las muestras Exp 1 y Exp 3 se les añadió 100 ml de agua a cada muestra, mientras que las muestras Exp 2 y Exp 4 se les agregó 150 y 200 ml de agua respectivamente. El agua de las muestras Exp 1 y Exp 3 se manejó a temperatura ambiente, en cambio el agua de las muestras de 150 y 200 mililitros se calentó a 40°C en una placa calefactora con superficie de cerámica. A cada muestra se le agregó 0.5 gramos de lluvia sólida (cuadro 11).

Cuadro 11. Muestra de las pruebas de saturación de la lluvia sólida.

ID muestra	Dosis hidrogel (gramos)	Volumen de agua (milímetros)	Temperatura del agua
Exp 1	0.5 gr	100	Ambiente
Exp 3	0.5 gr	150	Ambiente
Exp 2	0.5 gr	100	40°C
Exp 4	0.5 gr	200	40°C

Las muestras se dejaron reposar durante 2 días. Después de este periodo se pudo obtener la saturación del hidrogel, para lo cual se drenó el agua sobrante y se pesó el gel formado. Sin embargo, previo al drenado, se pudo observar en el vaso de precipitado la medida de saturación.

5.4.2. Evaluación de la eficiencia del hidrogel: Implementación de diseño experimental en campo.

Como parte de la evaluación técnica de la lluvia sólida se llevó a cabo un diseño experimental en una parcela experimental en el ejido de Nuevo Ideal. Esto mediante un Diseño de bloques al azar con arreglo factorial de AxB, donde el factor de estudio "A" representa la dosis y el factor "B" la profundidad de aplicación de lluvia sólida. Para el factor A se manejaron tres niveles (dosis), estas fueron tres gramos, cuatro gramos

y cinco gramos; mientras que para el factor B se asignaron dos niveles (profundidades) 15 y 20 centímetros(cm) (figura 20).

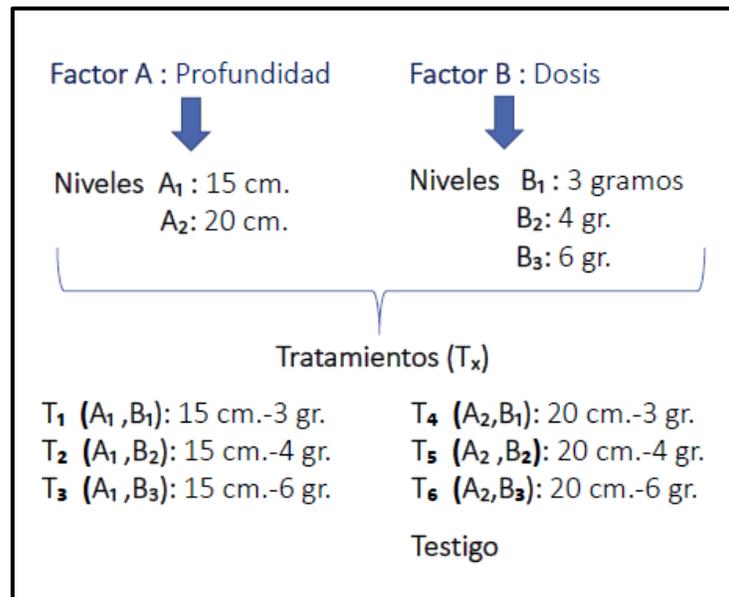


Figura 20. Diseño estadístico del experimento en campo.

El experimento consto de seis tratamientos y un testigo, para cada tratamiento se contó con cuatro repeticiones, excepto para el testigo, ya que este tuvo solo tres repeticiones, dando un total de 27 unidades experimentales. La forma de la parcela fue rectangular, con 27 metros (m) de largo 1.5 metros de ancho, en esta superficie se manejaron tres surcos (surco A, B y C), con una distancia entre surco de 50 cm (figura 21). Cada unidad experimental consto de 1 m de largo por 1.5m de ancho, por cada metro lineal de surco se plantaron 12 plantas (figura 22).

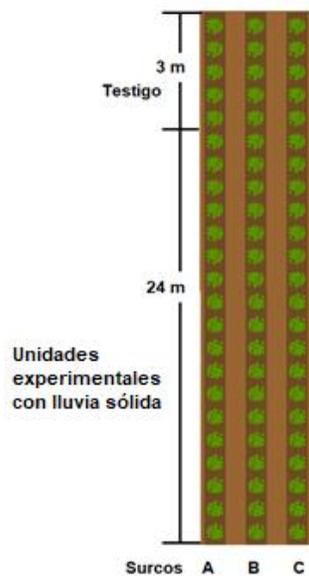


Figura 21. Distribución de las unidades experimentales

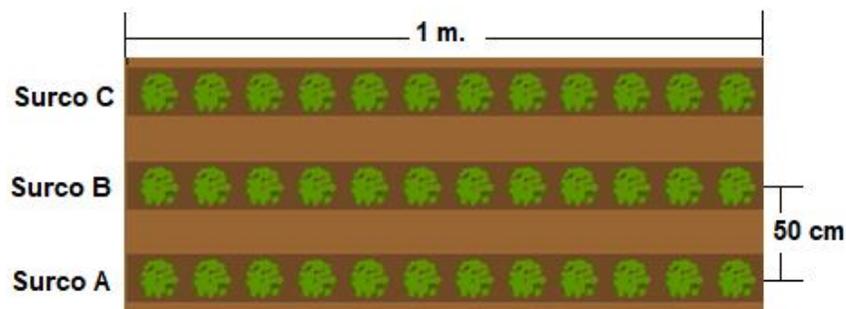


Figura 22. Dimensiones por unidad experimental.

Las variables a estudiar se dividieron en dos clases, aquellas referentes al desarrollo de la planta (Índice de germinación, altura, etapa fenológica y cantidad de nódulos en raíz) y aquellas relacionadas con el rendimiento de la planta (cantidad de vainas por planta, longitud de vaina, granos por vaina y peso de granos).

Para la cosecha se seleccionaron un total de 100 plantas, extrayendo alrededor de 2 a 4 plantas (incluyendo raíz) por unidad experimental, para su posterior análisis de rendimiento en las instalaciones de CIIDIR-DGO.

5.4.2.1. Aplicación de la Lluvia Sólida en campo

La lluvia sólida se aplicó en forma seca y el proceso de siembra fue manual (figura 23). Según el productor cooperante, el terreno en el que se implementó el experimento

anteriormente fue empleado en cultivos de maíz y cebolla, también en este se acostumbra hacer actividades de barbecho y agregar estiércol como abono.



Figura 23. Proceso de aplicación del agua sólida.

5.4.2.2. Descripción del ciclo del cultivo del experimento

El ciclo del cultivo inicio el día 05 de julio del 2018 (fecha de siembra), y finalizó el día 22 de noviembre del 2018 (anexo 3). Durante este periodo se contó con una temperatura promedio de 18.6°C. Las temperaturas máximas se registraron en el mes de junio, con una media de 21.7°C, siendo la temperatura más alta de 30.6°C. En cuanto a las temperaturas más bajas, estas se registraron en el mes de noviembre, con una media de 13.8°, siendo la temperatura más baja de 3.4°C. Además, se instalaron en la parcela tres pluviómetros (figura 24), esto con el objetivo de conocer la precipitación que se presentó durante el ciclo del cultivo, teniendo una precipitación total de 319.67 mm (figura 25).



Figura 24. Pluviómetro en campo.

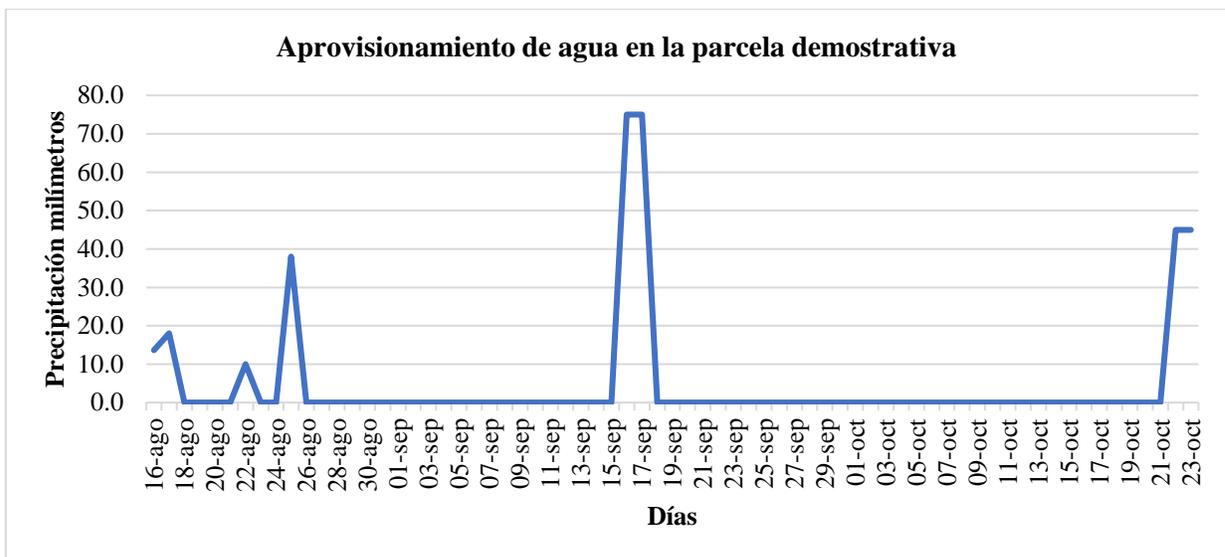


Figura 25. Aprovisionamiento de agua en la parcela demostrativa.

Durante el ciclo del cultivo se presentó una plaga de Conchuela (*Epilachna varivestis*), en etapa de larva y adulto (figura 26). Para su control, el productor cooperante empleó el insecticida Borey.



Figura 26. Conchuela (*Epilachna varivestis*) encontrada en campo.

5.4.2.3. Análisis de suelo

Se tomaron muestra de suelo, previo a la siembra. La central de instrumentación del CIIDIR- DGO, realizo un análisis a dichas muestras con el fin de conocer las características físicas y nutrimentales de suelo presente en el diseño experimental en campo, en el ejido de Nuevo Ideal, Dgo.

5.4.2.4. Índice de germinación

Previo a la siembra, con el fin de corroborar el potencial de germinación de las semillas, se pusieron a germinar en la estufa a 30°C (figura 27) un total de tres cajas Petri, cada una con 10 semillas (figura 28). Se dio un periodo de germinación de 10 días.



Figura 27. Germinación de semillas de frijol en estufa.



Figura 28. Germinación de semillas de frijol.

El índice de germinación se obtuvo de dividir el número de semillas germinadas entre el total de semillas a germinar, y multiplicar dicho cociente por 100.

5.4.2.5. Índice de emergencia

Seis semanas después de la siembra se tomaron datos para el cálculo del índice de emergencia, mediante un conteo de plantas en campo, esto sin considerar el testigo ya que aún no estaba definido.

El índice de emergencia se obtuvo de dividir el número de plantas en campo entre el total de semillas sembradas, y multiplicar dicho cociente por 100.

5.4.2.6. Obtención de datos

Altura y etapa fenológica

Se tomaron datos en campo de la altura y la etapa fenológica los días 26 de septiembre, 19 de octubre y 09 de noviembre del presente año. Sin embargo, dado que en la primera fecha aún no se definía un testigo, solo los días 19 de octubre y 09 de noviembre cuenta con datos para comparar el testigo con los tratamientos.

Las etapas fenológicas se identificaron según la escala de desarrollo de la planta del frijol común propuesta por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). En cuanto a las mediciones de altura, estas se realizaron por planta. Se midió desde el inicio del tallo hasta el fin de la guía.

Nódulos presentes en raíz

De las 100 plantas traídas de campo se contaron los nódulos presentes en su raíz (figura 29) y se procedió a registrar los datos para un posterior análisis estadístico.



Figura 29. Nódulos en raíz.

Datos referentes a las etapas reproductivas de la planta

Para la obtención de estos datos se procedió a contabilizar el número de vainas por planta (figura 30), en las 100 plantas, así como los granos encontrados en cada vaina y en cada planta (figura 31). Además, se midió la longitud de vaina, para la obtención este dato se empleó una cinta métrica, se midió desde el pedicelo hasta el ápice de la vaina (figura 32). Así mismo para obtener el rendimiento se obtuvo el peso de cosecha y el peso balanceado (con una humedad no mayor de 13%) de 25 granos por unidad experimental (figura 33). Para la obtención del peso balanceado, se pusieron a secar los granos en el invernadero, durante 13 días.

Todas estas mediciones se realizaron dentro de las instalaciones de CIIDIR-DGO.



Figura 30. Conteo de vainas.



Figura 31. conteo de granos.



Figura 32. Medición de la longitud de vaina.



Figura 33. Peso de cosecha de 25 granos de frijol.

5.4.2.7. Análisis estadístico de los datos obtenidos en el diseño experimental

Para el análisis estadístico se definieron como variables de estudio; 1) altura promedio de la planta, 2) Número promedio de nódulos por planta, 3) Peso promedio de la raíz

seca, 4) Cantidad promedio de vainas por planta, 5) Longitud promedio de vaina, 6) Cantidad promedio de granos por planta, 7) Peso de 25 granos y 8) Etapa fenológica.

A los datos originales se les realizó un análisis exploratorio inicial con el fin de conocer su distribución y detectar posibles problemas en ellos. Dicho análisis incluyó; 1) Obtención de estadísticas descriptivas (estadísticos de tendencia central, de dispersión y de forma), 2) Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk (valor p de Shapiro-Wilk > 0.05) y 3) Elaboración de histogramas. Ya que no todas las variables de estudio seguían una distribución normal, se optó por transformarlas mediante la aplicación de logaritmo natural.

Se realizó un análisis de varianza de un factor, por cada variable de estudio, para el cual se definió como hipótesis alterna (H_1): “La variable de estudio no varía entre los tratamientos”. Además, el análisis incluyó una prueba de comparación de medias de Tukey. A los residuales de este análisis se le confirmaron los supuestos de igualdad de varianza (valor p de Levene's > 0,05), Independencia [(p/r) \neq 0] y normalidad en la distribución (valor p de Shapiro-Wilk > 0,05), según Montgomery (2013).

Para las variables de estudio que presentaron diferencias significativas se realizó un análisis de varianza de dos factores (dosis y profundidad), teniendo el factor de dosis tres niveles (3, 4 y 6 gr), mientras que el factor de profundidad conto con 2 niveles (15 y 20 cm). Las hipótesis alternas (H_1) planteadas fueron las siguientes; 1) La profundidad no influye en la variable de estudio, 2) La dosis no influye en la variable de estudio y 3) La interacción entre dosis y profundidad no influye en variable de estudio.

También se realizó un análisis estadístico exploratorio para conocer la relación existente entre las variables evaluadas, este consistió en aplicar correlación de Pearson entre las variables de estudio y la técnica multivariada biplot. Esta última se fundamenta en el análisis de componentes principales y muestra de manera gráfica las similitudes entre los tratamientos, las variables de estudio que los caracterizan y los valores relativos de las observaciones para cada vector variable. También se efectuó un análisis de agrupamiento (cluster) con las variables de estudio previamente

transformadas (mediante logaritmo natural) que presentaron homogeneidad de varianza, este análisis se basó en el método Ward y distancia euclidiana (López, et al., 2010).

5.5. Evaluación social

5.5.1. Diseño del instrumento

Para la validación social de la lluvia sólida se diseñó el formato de la encuesta (anexo 2) con el objetivo de evaluar la percepción que tienen los productores sobre la tecnología de la Lluvia sólida, así como la percepción que tienen los productores hacia una tecnificación. Los puntos a analizar en este formato son los siguientes: 1) el productor conoce la tecnología (¿Qué es?, ¿Cómo funciona?, ¿para qué sirve?), 2) el productor cree tener la necesidad de implementar tecnologías para el aprovechamiento sustentable del recurso hídrico, 3) qué considera el productor como tecnología, 4) el productor considera la lluvia sólida como una tecnología, 5) el productor considera la lluvia sólida como una alternativa factible (referente a funcionamiento y costo) y 6) el productor estaría dispuesto a usarla.

El instrumento tuvo dos tipos de preguntas, informativas y de medición de percepción. Estas últimas se respondían mediante la escala de Likert con valores del 1 al 5 donde el 1 es “estoy en total desacuerdo” y el 5 “estoy en total acuerdo”, mientras que las preguntas informativas tuvieron respuestas de tipo opción múltiple y abiertas.

5.5.2. Validación del instrumento

Para validar el instrumento se aplicó una prueba piloto a 20 productores de frijol del ejido de Independencia y Libertad (figura 34).



Figura 34. Validación del instrumento (prueba piloto) en el Ejido de Independencia y Libertad, Durango.

La confiabilidad del instrumento se validó mediante el Alpha de Cronbach, mientras que la validez de éste se verificó por medio de una correlación cruzada (valor p de correlación < 0.05). Se obtuvo un Alpha menor a 0.8 (Alpha de Cronbach = 0.618). En cuanto a la correlación, se encontró que de las 21 preguntas analizadas solo tres no tenían relación con las demás preguntas (¿considera que puede pagar el precio de la lluvia sólida?, ¿sabe dónde adquirir la lluvia sólida? Y ¿recomendaría la lluvia sólida a otros productores?), tampoco se pudo determinar un valor de correlación de la pregunta “usted, ¿ha utilizado la lluvia sólida?”, ya que todos los individuos encuestados dijeron no haber utilizado la lluvia sólida. Debido a los resultados obtenidos el instrumento requirió de modificaciones.

5.5.3. Aplicación del instrumento a productores del Ejido de Nuevo Ideal

Una vez modificado el instrumento (anexo 3), este se aplicó a los productores de frijol del ejido de Nuevo Ideal. La aplicación del instrumento se efectuó durante una reunión ejidal, para esta se elaboró un programa de actividades (Anexo 4). De manera previa se efectuaron las siguientes preguntas disparo; ¿Quiénes son productores de frijol? y ¿Quiénes conocen la lluvia sólida? Posterior a esto se realizó una plática introductoria referente a la tecnología (¿Qué es?, ¿Cómo funciona?, etc.) y por último se aplicó el instrumento (figura 35).



Figura 35. Aplicación del instrumento a productores de frijol del Ejido de Nuevo Ideal, Durango.

Tanto para la plática para la validar el instrumento como la plática en el ejido de nuevo ideal, se crearon como material didáctico una vitrina demostrativa y unas botellas. Esto con el fin de dar a conocer el agua sólida. En dicha vitrina se replicaron las profundidades utilizadas en campo y se agregó un testigo (figura 36). Mientras que en las botellas se replicaron las dosis aplicadas en campo (figura 37). Se emplearon botellas de 1.5 litros, las cuales fueron cortadas 23 cm de la boca de la botella a la base de ésta. Además, el agua sólida se colocó a 10 cm de profundidad y cada botella contó con 1.652 kg de suelo y tres semillas para su germinación.

Como mantenimiento del material didáctico, a las plantas se les aplicó fertilizante triple 19 e insecticida. Así mismo, estas fueron regadas según las necesidades de las plantas.



Figura 36. Vitrina demostrativa.



Figura 37. Botellas con agua sólida.

5.5.4. Análisis estadístico de los datos obtenidos en la encuesta.

El análisis estadístico de los datos obtenidos en la encuesta se dividió en varias partes: 1) análisis de las preguntas informativas; 3) análisis de las preguntas de percepción enfocadas a la GIRH y la apertura a una tecnificación; 4) análisis de las preguntas de percepción enfocadas a la tecnología de la lluvia sólida.

A los datos obtenidos se les realizaron estadísticas descriptivas, así como gráficos de frecuencias, a fin de caracterizar la muestra encuestada. En cuanto a las preguntas de percepción estas se volvieron a validar mediante el Alpha de Cronbach y correlación cruzada.

5.6. Análisis FODA: Propuesta de estrategias.

Para el cumplimiento del tercer objetivo, se efectuó un análisis FODA (acrónimo de: Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas), el cual es una herramienta de la planificación estratégica, que proporciona la información necesaria para la implementación de acciones y medidas para la generación de nuevos proyectos o proyectos de mejora (Vázquez, s.f.). Mediante este se busca hacer un análisis de la situación actual de la aplicación tecnología del poli acrilato potasio en cultivos de frijol de temporal del ejido de Nuevo Ideal, y en base a esto realizar un diagnóstico para, mediante una Matriz CAME proponer estrategias que incidan en el uso eficiente del agua en dicho cultivo.

La Matriz CAME, CAME son las siglas de las palabras Corregir, Mantener, Afrontar y Explotar. En esta Matriz se enlistan las medidas (estrategias) necesarias para: Corregir las Debilidades, Afrontar las Amenazas, Mantener las Fortalezas y Explotar las Oportunidades (Asociación de Emprendedores y Empresarios Autónomos, s.f.).

VI.RESULTADOS

6.1. Resultados obtenidos en la evaluación de la eficacia de la lluvia sólida:

Pruebas de saturación.

En los experimentos realizados se concluyó que la Lluvia Sólida se satura a los 100 ml, es decir, que este puede almacenar hasta 200 veces su peso en agua. Sin embargo, cuando este almacena 100 veces su peso en agua (50 ml de agua para 0.5 gramos de lluvia sólida), se puede apreciar mejor la formación del hidrogel (figura 38).



Figura 38. Pruebas de Saturación del agua sólida.

6.2. Resultados obtenidos en la evaluación de la eficiencia del hidrogel:

Implementación de diseño experimental en campo

6.2.1. Análisis de suelo

Las características fisicoquímicas en el suelo de acuerdo con Castellanos (2000), presentó una granulometría ligera de tipo textura franco arcillosa y pH moderadamente alcalino. El contenido de materia orgánica en este tipo de suelo se considera alta y por consiguiente presenta buena capacidad de retención de agua y nutrimentos (cuadro 12). En general, suelos con textura arcillosa pueden presentar un alto contenido de materia orgánica siendo una buena condición para el suelo.

La conductividad eléctrica es mediana sin problemas para el cultivo de frijol. El contenido de macronutrimentos, fue bajo el suministro de Nitrogeno total, alto contenido de Fósforo disponible. El Potasio presenta un nivel medio, moderadamente alto en Calcio y nivel medio de Magnesio. El Sodio se observa moderadamente alto. En general el suelo presenta características buenas para el uso agrícola.

Cuadro 12. Características físicas y nutrimentales del suelo empleado en el diseño experimental en el ejido de Nuevo Ideal, DGO.

Determinación Física	Suelo	Unidades	Descripción
Textura	Franco arcilloso		Textura ligera
Determinación Química			
pH	7.8		Moderadamente alcalino
Materia orgánica	2.9	%	Alta
Conductividad eléctrica	0.016	mS/cm ⁻¹	Mediano
Nitrógeno total	0.194	%	Bajo
Fosforo	323	ppm	Alto
Potasio	266	ppm	Medio
Calcio	3188	ppm	Moderadamente Alto
Magnesio	243.30	ppm	Medio
Sodio	223	ppm	Moderadamente alto

Resultados de análisis de acuerdo a la NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis.

6.2.2. Índices de germinación y emergencia

Se obtuvo un índice de germinación igual al 76.77%. De las 30 semillas que se pusieron a germinar, solo germinaron 23.

En cuanto al índice de emergencia, fue de 35.99%, es decir que de las 864 semillas que se sembraron solo se encontraron 311 plantas. Sin embargo, de estas 311, se encontraron marchitas 88, por lo que se procedió a realizar una segunda siembra.

Tres semanas después se procedió a calcular nuevamente el índice de emergencia, pero esto no fue posible, ya que se encontraron individuos de la primera y segunda siembra, por lo que solo se contabilizo el total de plantas que se tenían en campo hasta esa fecha. Se encontraron un total de 213 plantas sin contar el testigo. El día 09 de noviembre en campo se contó un total de 168 planta incluyendo el testigo.

6.2.3. Análisis de Varianza (ANOVA) de un factor y prueba de medias

La variable de Etapa fenológica, no cumplió con el supuesto de homogeneidad de varianza (valor p de Levene's < 0,05), por lo que no se le efectuó ninguna prueba.

Respecto a la variable altura promedio de planta, El tratamiento cinco tuvo la media más grande de todos los tratamientos, con valor de 3.88 (48.42 cm). Los tratamientos dos y seis presentaron las medias más altas respecto a la variable de numero promedio de nódulos por planta, con valores de 2.59 y 2.58 respectivamente, lo que equivale alrededor de 13 nódulos por planta. El tratamiento seis presento la media más alta en cuanto a la variable peso promedio de raíz seca, esto con un valor de media de -0.63 (0.530 gramos) (cuadro 12).

Cuadro 13. Medias e intervalos de confianza de las variables altura promedio de planta, numero promedio de nódulos por planta y peso promedio de la raíz seca.

Tratamiento	Variable de estudio								
	Altura promedio de planta			Numero promedio de nódulos por planta			Peso promedio de la raíz seca		
	M	I.C. al 95%		M	I.C. al 95%		M	I.C. al 95%	
		L.I.	L.S.		L.I.	L.S.		L.I.	L.S.
1	3.88	3.45	4.31	1.82	1.30	2.34	-0.40	-1.07	0.26
2	3.67	3.19	4.15	2.59*	1.43	3.75	-0.63*	-1.45	0.18
3	3.74	3.50	3.98	2.04	1.23	2.85	-0.55	-0.74	-0.36
4	3.73	3.44	4.01	2.10	2.01	2.20	-0.59	-0.96	-0.23

5	3.93*	3.65	4.21	2.33	0.93	3.72	-0.51	-1.20	0.17
6	3.80	3.30	4.30	2.58*	1.65	3.52	-0.34	-0.98	0.28
T	3.91	3.71	3.90	2.08	0.89	3.27	-0.43	-1.34	0.46

Nota: I.C.= intervalo de confianza; M= media; L.I.=límite inferior; L.S.=límite superior; los valores con asterisco () representan las medias más altas entre los tratamientos de cada variable.

Para la variable cantidad promedio de vainas por planta, el testigo fue el que presentó la media más alta entre los tratamientos, está con un valor de 2.91, es decir cerca de 18 vainas por planta. No obstante, este tratamiento presentó el intervalo de confianza más amplio de todos los tratamientos. En cuanto a la cantidad promedio de granos por planta, el tratamiento dos tuvo la media más alta con un valor de 3.74 (42 granos). En el caso de la variable de peso de cosecha de 25 granos la media más alta la tuvo el tratamiento cinco con un valor de 2.01, que equivale a 7.46 gramos (cuadro 13).

Cuadro 14. Medias e intervalos de confianza de las variables cantidad promedio de vainas por planta, cantidad promedio de granos por planta y peso de cosecha de 25 granos.

Tratamiento	Variable de estudio								
	Cantidad promedio de vainas por planta			Cantidad promedio de granos por planta			Peso de 25 granos		
	M	I.C. al 95%		M	I.C. al 95%		M	I.C. al 95%	
		L.I.	L.S.		L.I.	L.S.		L.I.	L.S.
1	2.35	1.43	3.26	3.61	2.67	4.55	1.98	1.84	2.11
2	2.47	1.53	3.41	3.74*	2.60	4.87	1.89	1.80	1.98
3	2.49	1.82	3.16	3.56	3.16	3.96	1.87	1.51	2.24
4	2.25	1.30	3.21	3.42	2.25	4.58	1.93	1.79	2.07
5	2.49	1.23	3.75	3.68	2.35	5.01	2.01*	1.80	2.22
6	2.45	1.59	3.31	3.65	2.68	4.63	1.99	1.89	2.10
T	2.91*	1.36	4.46	3.62	2.43	4.81	1.93	1.86	1.99

Nota: I.C.= intervalo de confianza; M= media; L.I.=límite inferior; L.S.=límite superior; los valores con asterisco () representan las medias más altas entre los tratamientos de cada variable.

En el Análisis de Varianza efectuado a cada una de las variables anteriores no se aceptó la hipótesis nula ($P \geq 0.05$), es decir que las variables no varían entre los tratamientos. Así mismo, en la prueba de medias de Tukey realizada a cada una de estas variables no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos (valor $p \geq 0.05$). No obstante, la variable de longitud promedio de vaina fue la única en aceptar la hipótesis nula, es decir en presentar diferencias entre los tratamientos (valor de $p = 0.0186$) (cuadro 14). En cuanto a la prueba de Tukey aplicada a esta variable, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos dos y cuatro (valor $p =$

0.017) (figura 39), los tratamientos 1,5 y 6, sin diferencias estadísticas promovieron numéricamente mayor longitud de vaina.

Cuadro 15. Resumen de ANOVA de un factor de la variable longitud promedio de vaina.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados (SC)	Grados de libertad	Cuadrado Medio (CM)	F	P
Entre grupos	0.0380	6	0.0063	3.36	0.0186
Dentro de grupos (error experimental)	0.0377	20	0.0019		
Total	0.0757	26			

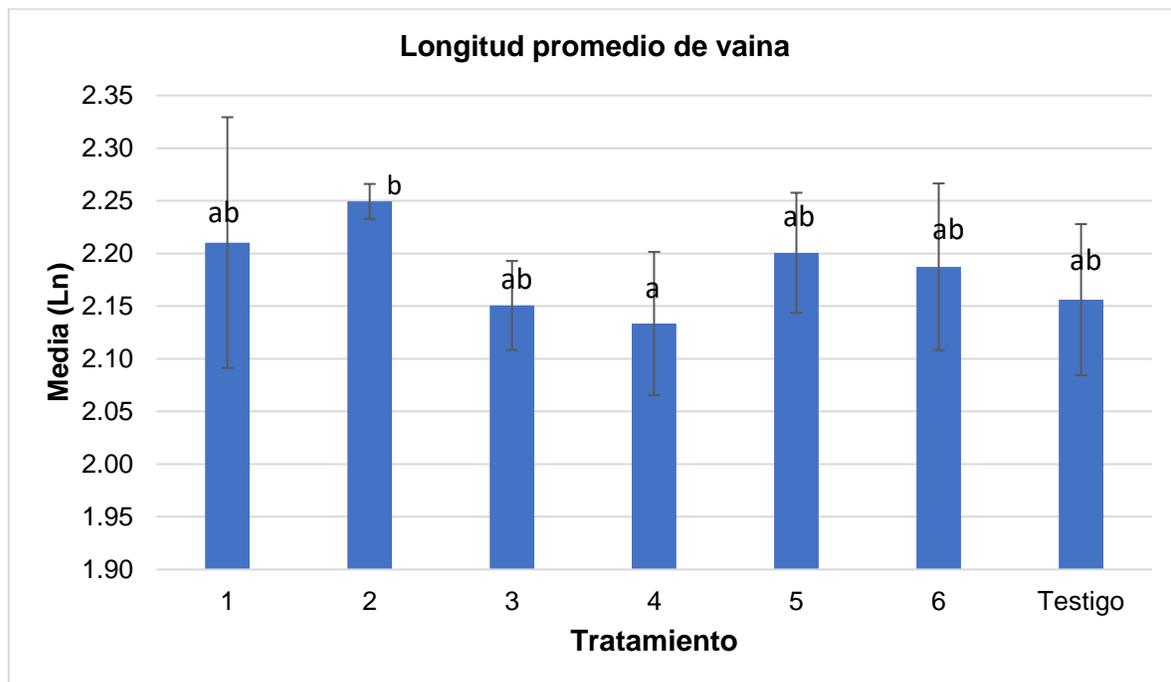


Figura 39. Gráfico de medias de la variable longitud promedio de vaina.

6.2.4. Análisis de Varianza (ANOVA) de dos factores

Ya que solo se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos en la variable Longitud promedio de vaina, solo se realizó análisis de varianza a esta. Para este caso se aceptó la hipótesis nula “La dosis influye en la variable de estudio” (valor $p=0.037$), mientras que no se aceptaron las hipótesis nulas “La profundidad influye en

la variable de estudio” y “La interacción entre dosis y profundidad influye en variable de estudio” (valor $p > 0.05$) (cuadro 15).

Cuadro 16. Resumen de ANOVA de dos factores de la variable longitud promedio de vaina.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados (SC)	Grados de libertad	Cuadrado Medio (CM)	F	P
Factor Profundidad	0.0053	1	0.0053	2.63	0.122
Factor Dosis	0.0159	2	0.0080	3.98	0.037
Interacción profundidad y dosis	0.0140	2	0.0070	3.50	0.051
Error	0.0360	18	0.0020		
Total	0.0712	23			

6.2.5. Correlación de Pearson

En la matriz de correlación se observa que el 47.6% de los coeficientes resultaron estadísticamente significativos, lo que implica una alta asociación entre las variables de estudio. Las correlaciones más altas correspondieron a los pares de variables cantidad de vainas-cantidad de granos por planta, peso seco de la raíz- cantidad de granos por planta y peso seco de la raíz- cantidad de vainas por planta ($r=0.88$, $r=0.57$ y $r=0.5$ respectivamente). En cuanto a la variable longitud de vaina, esta tuvo las correlaciones más altas con las variables cantidad de granos por planta y cantidad de vainas por planta, con $r=0.33$ y $r=0.15$ respectivamente (figura 40).

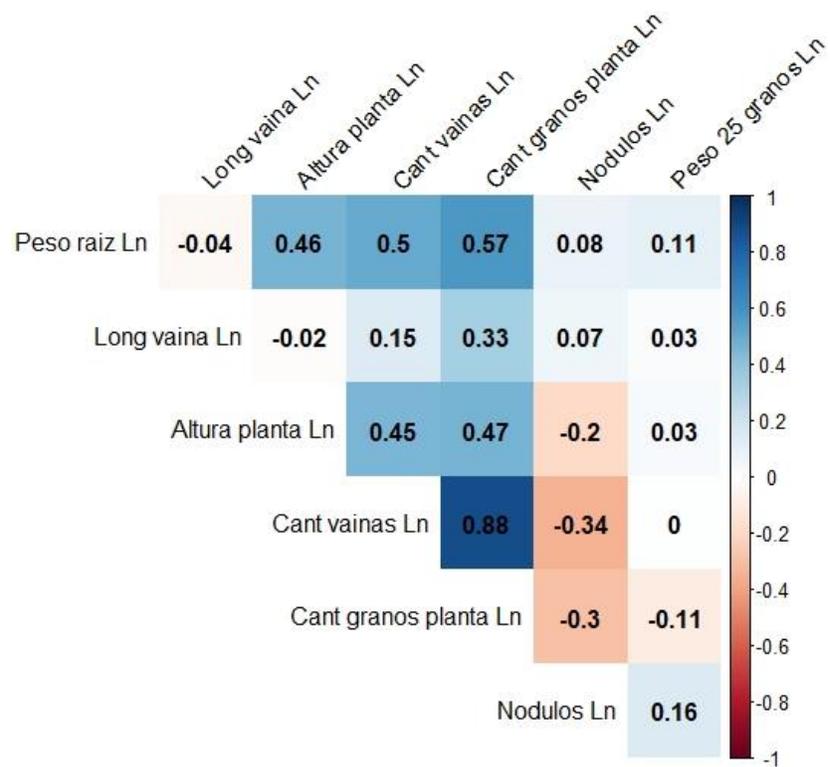


Figura 40. Matriz de correlación de las variables de estudio.

Según Sánchez, et al., (2009), el peso esperado de 100 granos de frijol pinto saltillo debe de estar entre 31 y 34 gramos, por lo que 25 granos deben de pesar 7.75 y 8.5 gramos aproximadamente. No obstante, en campo se tuvieron pesos más bajos (Figura), presentando el tratamiento dos el menor peso (6.61 gr. en promedio) y el tratamiento cinco el peso más alto (7.74 gr. en promedio). Considerando esto y la presencia de una correlación negativa entre las variable Cantidad de granos por planta y Peso de 25 granos (Cor = -0.11), es posible decir, que ya sea la calidad o el tamaño del grano fueron inferiores a los esperados según la variedad de frijol cultivada.

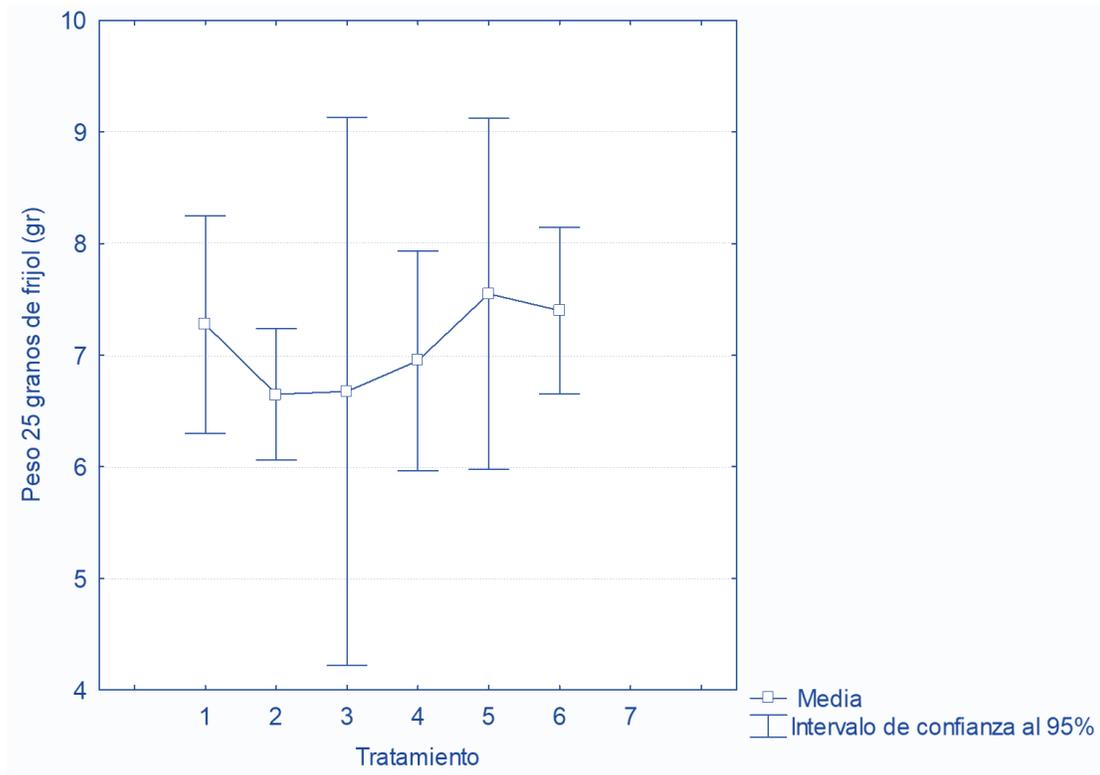


Figura 41. Peso de 25 granos de frijol por tratamiento (medidas sin aplicación de Ln). *Nota: el tratamiento 7 es el testigo.

El tratamiento 2 presentó la media más alta respecto a la variable de cantidad de granos por planta (cerca de 42 granos) (figura 42) y en la variable longitud de vaina (9.4 cm). Pero tuvo el segundo valor más bajo en la variable de Peso de 25 granos (6.64 gr/ 25 granos).

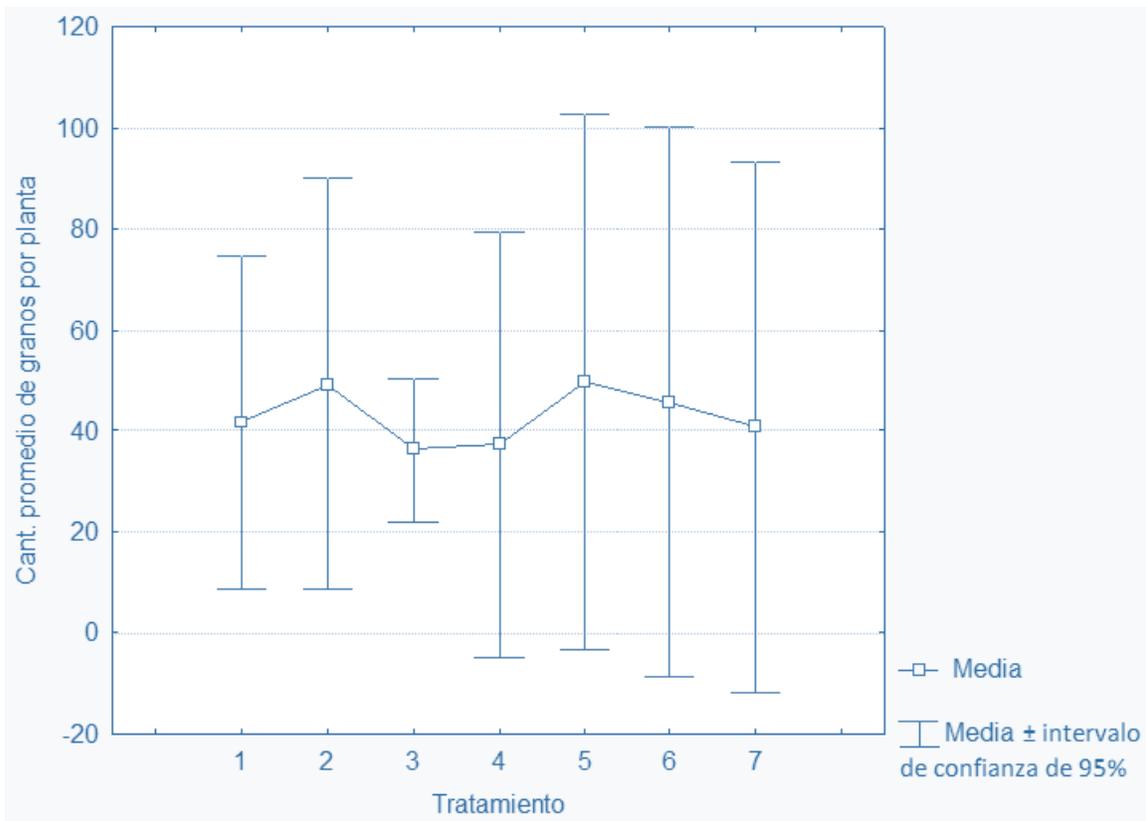


Figura 42. Cantidad promedio de granos por planta por tratamiento (medidas sin aplicación de Ln). *Nota: el tratamiento 7 es el testigo.

6.2.6. Análisis de agrupamiento

El análisis de agrupamiento presentó una separación en dos grupos; el testigo junto con los tratamientos uno(T1), tres(T3) y cuatro(T4) forman un grupo que se separa de los tratamientos dos(T2), cinco(T5) y seis(T6) a una distancia 0.8 aproximadamente, mientras que a una distancia cercana a 0.7 el testigo se diferencia de los tratamientos uno, tres y cuatro. El tratamiento dos es diferente de los tratamientos cinco y seis, a una distancia alrededor de 0.4. Según este análisis los pares de los tiramientos tres-cuatro y cinco-seis son similares entre sí (figura 41).

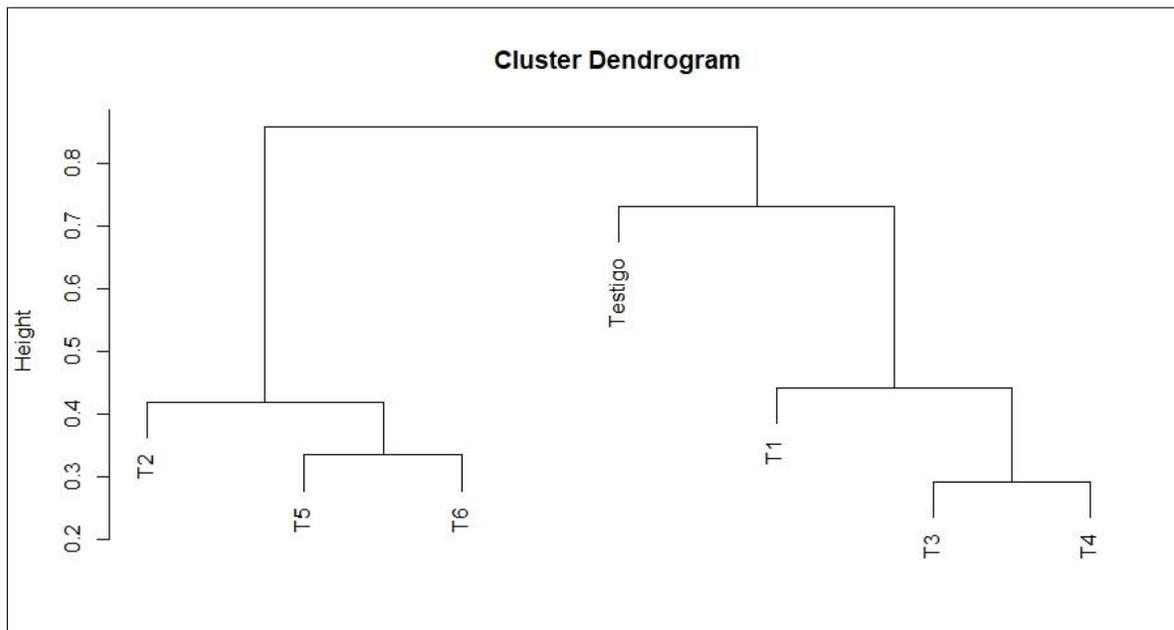


Figura 43. Dendrograma de los seis tratamientos y el testigo usados en el diseño experimental en campo.

6.2.7. Análisis de componentes principales (APC)

En el análisis biplot se halló que los dos primeros componentes principales explican el 68.49% de la varianza de las variables originales, donde el primer componente(CP1) aportó el 36.03% de ese total.

En el componente principal 2 (CP2), se puede ver que la separación de los tratamientos en el análisis biplot es similar a la arrojada por el análisis de agrupamiento. Los tratamientos dos, seis y cinco se localizan en el extremo derecho del lado positivo; mientras que el testigo y los tratamientos uno, tres y cuatro se localizan en el extremo negativo (figura 42).

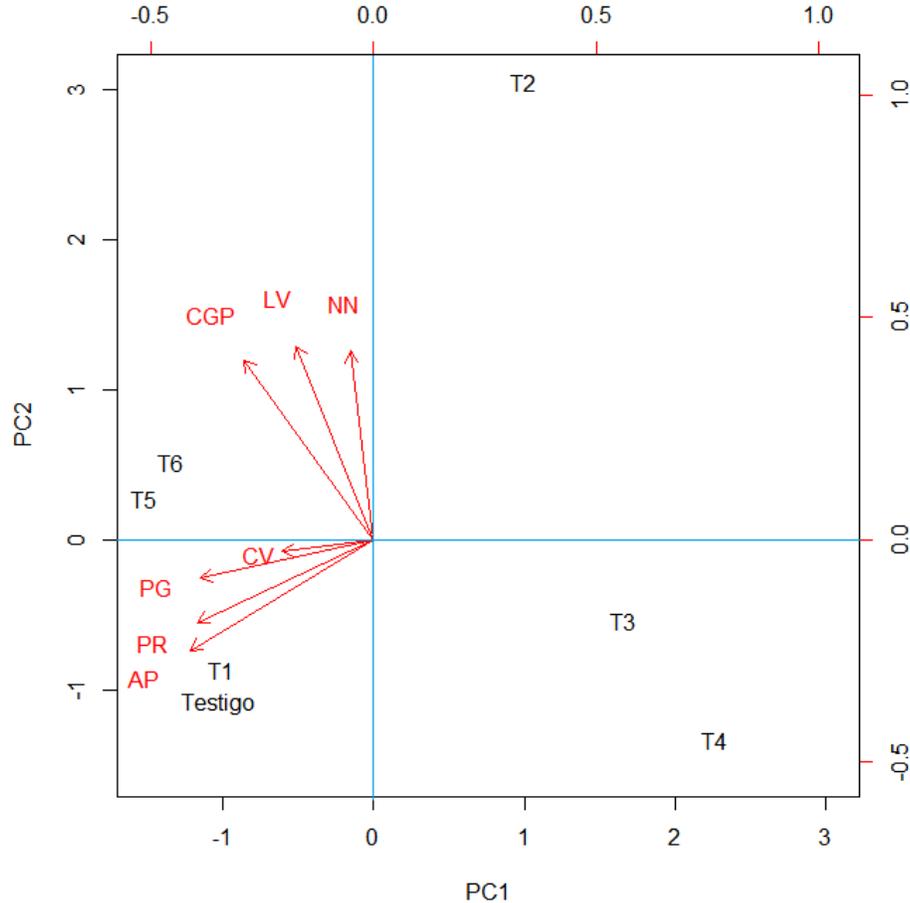


Figura 44. Ubicación de los seis tratamientos y el testigo, y el comportamiento de los vectores variable en base al APC de las siete variables de estudio.

**Nota: AP=Altura promedio de la planta; NN=Numero promedio de nódulos por planta; PR=Peso promedio de la raíz seca; CV=Cantidad promedio de vainas por planta; LV=Longitud promedio de vaina; CGP=Cantidad promedio de granos por planta y PG=Peso de 25 granos.*

Las variables con mayor correlación con el CP1 fueron altura promedio de la planta, peso promedio de la raíz seca, cantidad promedio de vainas por planta y el peso de 25 granos; con coeficientes de correlación de -0.516, -0.496 y -0.486 respectivamente. Por otra parte, las variables cantidad promedio de granos por planta, longitud promedio de vaina y numero promedio de nódulos por planta presentaron mayores coeficientes de relación respecto al CP2 (0.506, 0.545 y 0.531 respectivamente).

Por la dirección y ángulo entre los vectores-variable que definen el grado de correlación, un el grupo lo forman las variables de estudio cantidad promedio de granos por planta, longitud promedio de vaina y numero promedio de nódulos por planta. Su proximidad espacial a los tratamientos cinco y seis revela asociación entre estas

variables y tratamientos. Así mismo, el segundo grupo formado por las variables altura promedio de la planta, peso promedio de la raíz seca, cantidad promedio de vainas por planta y el peso de 25 granos presenta asociación con los tratamientos cinco y seis. En cuanto a los tratamientos dos, cuatro y tres no mostraron asociación con las variables de estudio, esto contemplando solo CP1 y CP2.

6.3. Resultados de la evaluación social de la lluvia sólida: encuesta aplicada a productores de frijol de temporal del ejido de Nuevo ideal

6.3.1. Caracterización de la muestra

La edad de los productores encuestados va desde los 37 hasta los 89 años, Presentando el 53.7% de los encuestados un rango de edad entre los 55 los 74 años. Referente al nivel de estudios, la mayor parte de los encuestados posee estudios hasta secundaria (30.8%), seguido de primaria (23.1%) y nivel superior (25.1%).

Solo 18 productores respondieron cuantas hectáreas de frijol siembran por ciclo, el 50% de éstos siembra de una a seis hectáreas, sembrando su mayoría dos hectáreas, es decir 16.7% del total de los encuestados que respondieron esta pregunta.

La mayoría de los encuestados dijo producir frijol de temporal (95.65%), solo el 4.34% dijo producir frijol de temporal y riego (figura 43), empleando un sistema de riego por aspersión. El 52.2% dijo preparar el suelo mediante labranza mínima con tractor, seguido del 39.1% que dijo emplear labranza convencional (figura 44). Sin embargo, esta información fue brindada solo por 23 de los 26 productores encuestados, es decir que tres productores no respondieron las preguntas referentes al tipo de cultivo método de preparación de suelo.



Figura 45. Tipo de cultivo.

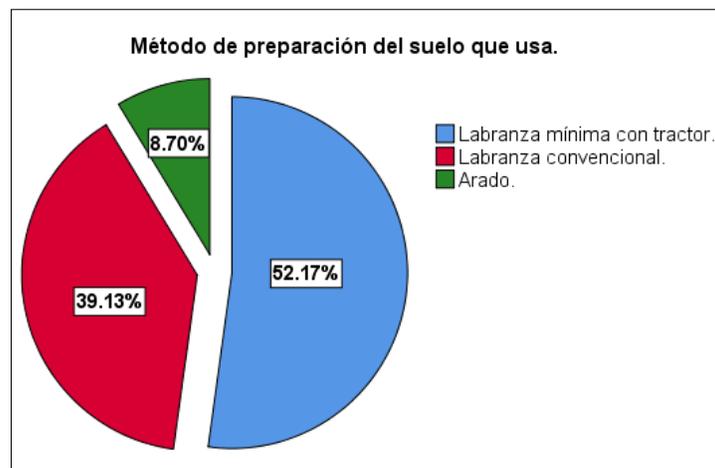


Figura 46. Método de preparación de suelo empleado por los productores de frijol encuestados.

6.3.2. Resultados obtenidos referentes a la gestión integrada del recurso hídrico y tecnificación.

Este apartado fue contestado por 15 de los 26 productores encuestados. En cuanto a las preguntas de percepción estas resultaron confiables, con un alfa de Cronbach de 0.728.

El 83.3% de los productores encuestados dijo no saber que es la gestión integrada del recurso hídrico. Sin embargo, el 73.33% está totalmente de acuerdo en que es

necesario considerar otros recursos (suelo, biodiversidad, etc.) en las actividades de aprovechamiento de agua (figura 45), lo que es uno de los principios de la GIRH.

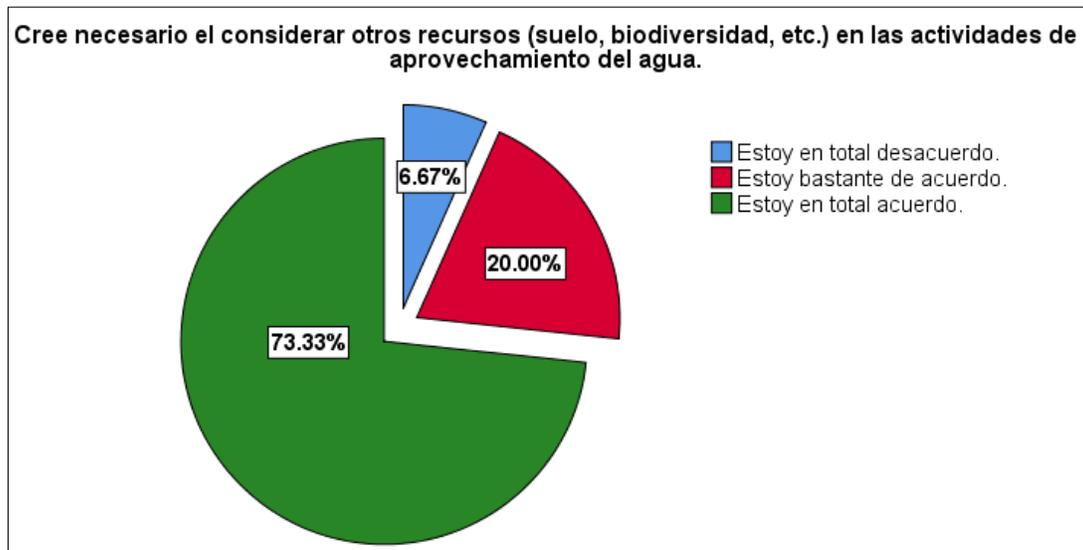


Figura 47. Necesidad de considerar otros recursos (suelo, biodiversidad, etc.) en las actividades de aprovechamiento de agua.

El 46.7% de los encuestados está en total desacuerdo en que el volumen de agua existente en su localidad es suficiente para abastecer sus necesidades hídricas y las de generaciones futuras, es decir, que no cree que el volumen de agua sea suficiente para cubrir dichas necesidades (figura 46).

El 73.33% de los encuestados cree que en los últimos cinco años sus cultivos se han visto afectados por falta de agua (figura 47). Así mismo, el 63.33% considera que han disminuido las precipitaciones en los últimos tres años.

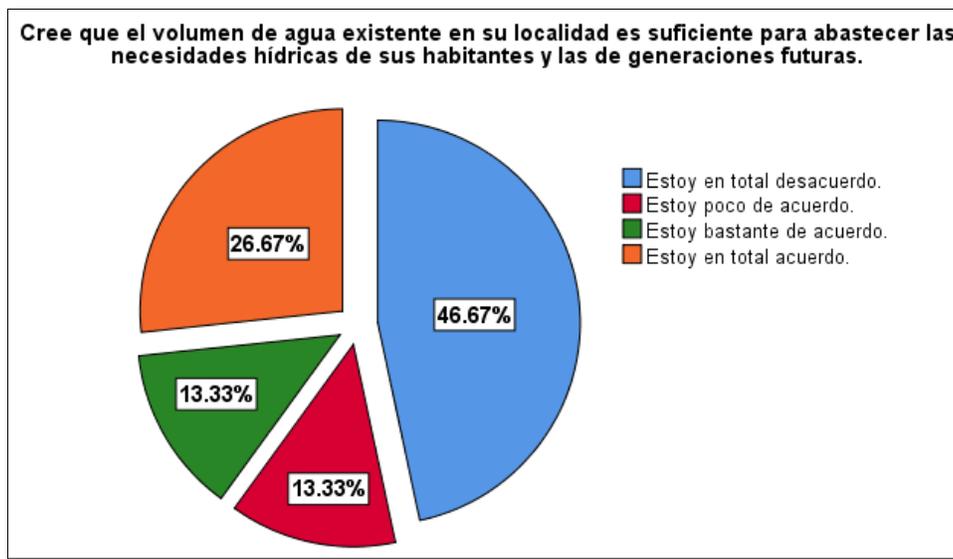


Figura 48. Percepción de los productores encuestados sobre la satisfacción de necesidades hídricas de generaciones presentes y futuras.

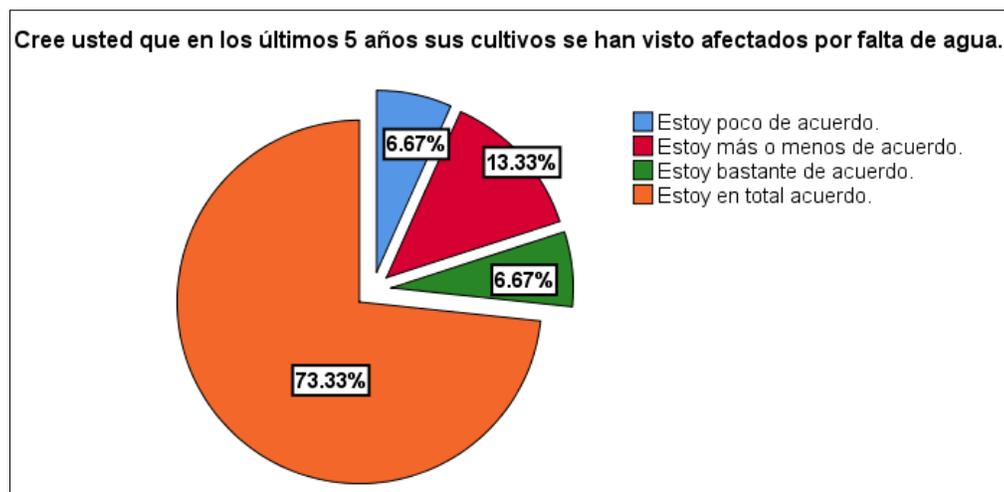


Figura 49. Percepción de los productores encuestados sobre daños en cultivos por falta de agua.

El 40% de los productores encuestados cree no existe la infraestructura necesaria para abastecer de agua sus cultivos, en contraste con el 33.3% que dijo estar en total acuerdo en que existe dicha infraestructura (figura 48). El mismo porcentaje considera eficiente el aprovechamiento del recurso hídrico en sus cultivos, mientras que el 60% no está en total acuerdo de tener un aprovechamiento eficiente de agua (figura 49).

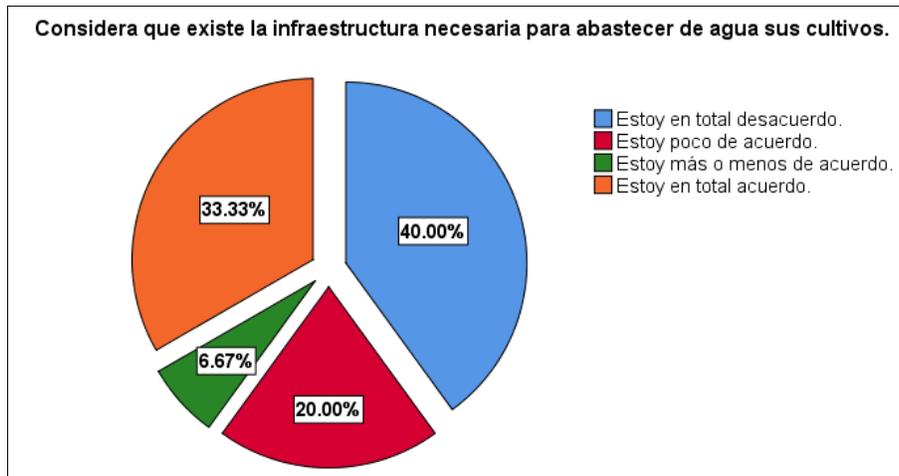


Figura 50. Percepción de los productores encuestados sobre infraestructura para abastecimiento de agua sus cultivos.

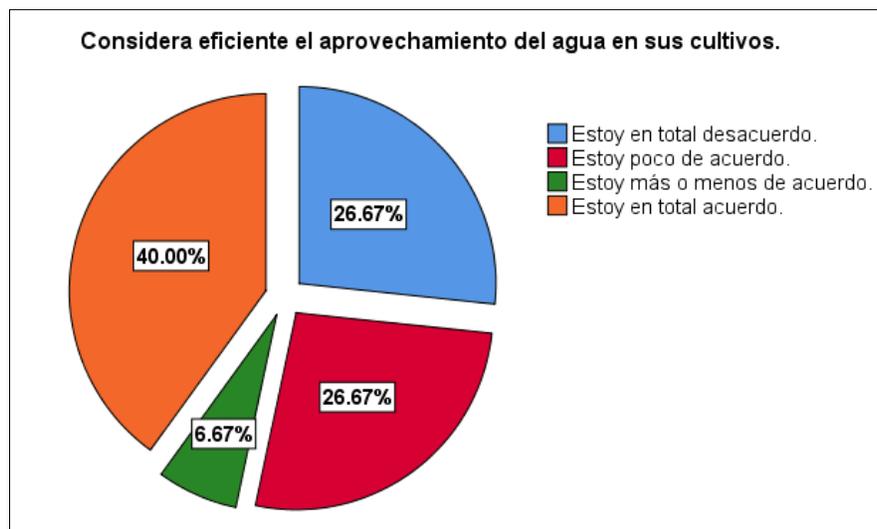


Figura 51. Percepción de los productores encuestados sobre la eficiencia del aprovechamiento del agua en sus cultivos.

La mayoría de los encuestados cree que una tecnificación puede mejorar el aprovechamiento de agua en sus cultivos (73.3%) (figura 50). Por otra parte, el 63.3% considera solos como tecnologías los dispositivos electrónicos y maquinarias.

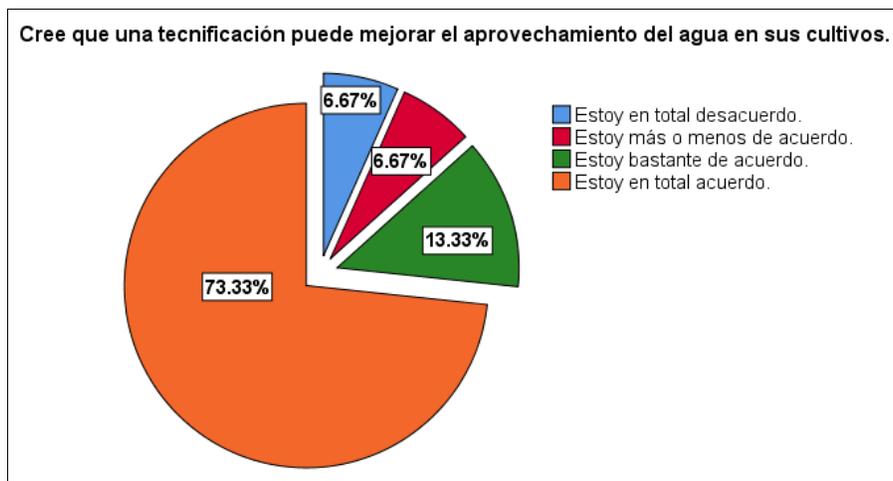


Figura 52. Percepción de los productores encuestados sobre la incidencia de una tecnificación en la mejora del aprovechamiento del agua.

Respecto a una tecnificación, el 73.3% de los encuestados está dispuesto a realizar una tecnificación en sus cultivos con el fin de mejorar el aprovechamiento de agua en estos (figura 51), este mismo porcentaje estaría dispuesto a que un experto los ayudara a adaptar una tecnología para dicho fin. Pero el 40% no cree tener los medios económicos para realizar una tecnificación (figura 52).

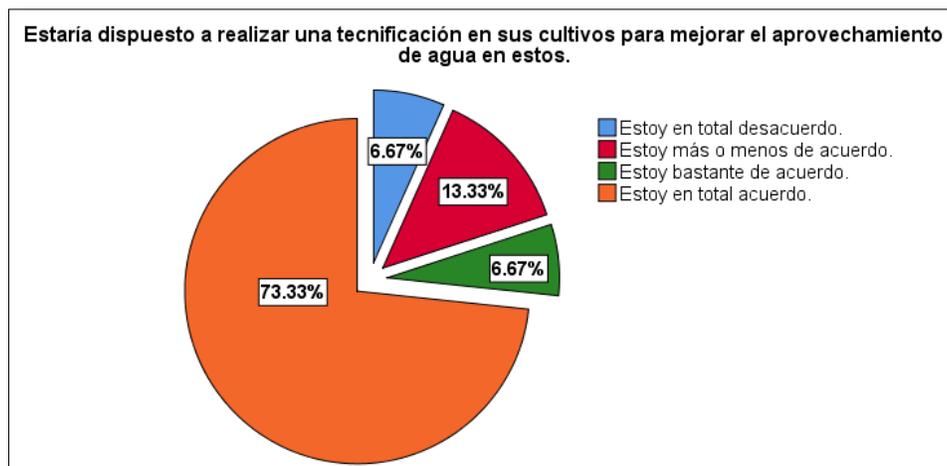


Figura 53. Disposición de los productores sobre una tecnificación para la mejora del aprovechamiento del agua en sus cultivos.

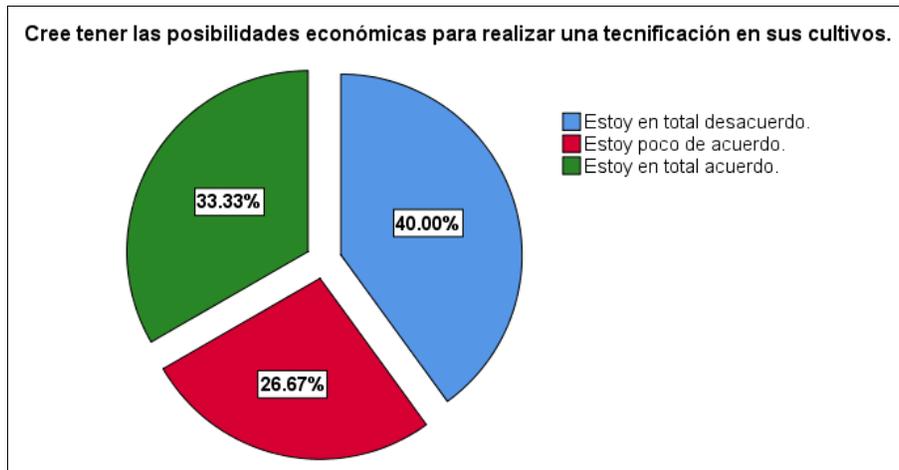


Figura 54. Percepción de los productores encuestados sobre su posibilidad económica para realizar una tecnificación en sus cultivos.

La mayor parte de los encuestados (45.45%) tiene mayor interés en adaptar una tecnología que ayude a mejorar la calidad y los rendimientos en sus cultivos, seguido del 27.7% que tiene más interés en una tecnología que ayude en la recuperación o mejora del suelo (figura 53).

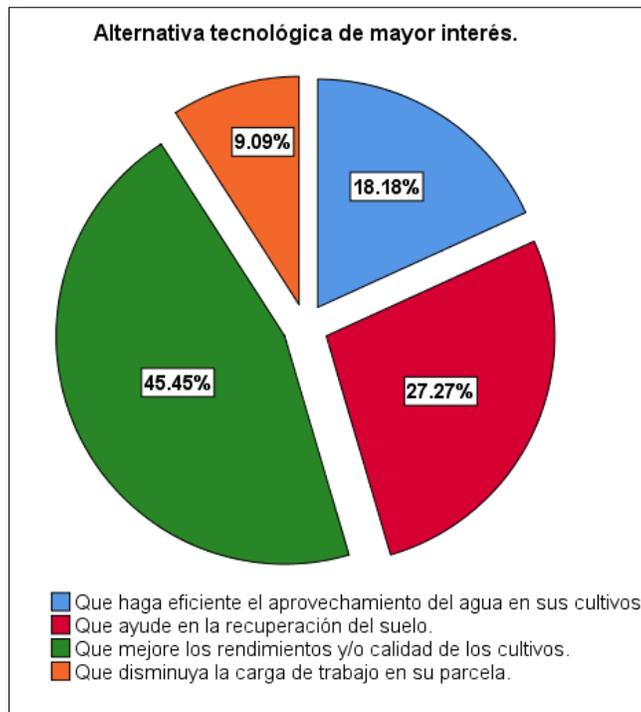


Figura 55. Alternativas tecnológicas de interés para los productores encuestados.

6.3.3. Resultados obtenidos referentes a la Lluvia sólida

De los 22 encuestados que respondieron la pregunta “¿conocía la lluvia sólida?” el 63.64% (14 encuestados) aseguraron no conocerla (figura 54) y el 36.36% contesto no saber cómo funciona.

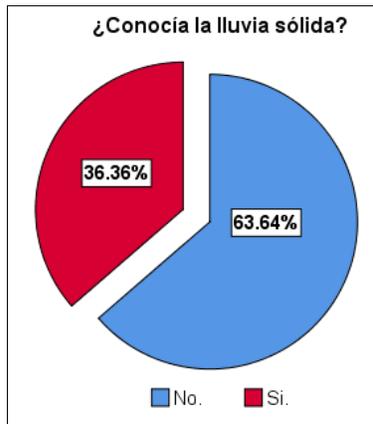


Figura 56. Porcentaje de productores que conocían la lluvia solida previo a la aplicación del instrumento.

Las preguntas de percepción en este apartado resultaron confiables, con un alfa de Cronbach de 0.980; sin embargo, esta parte solo fue contestada por 12 de los 26 productores encuestados. El 75% de estos percibe la lluvia sólida como una tecnología, por otra parte, el 16.67% piensa lo contrario (figura 55).

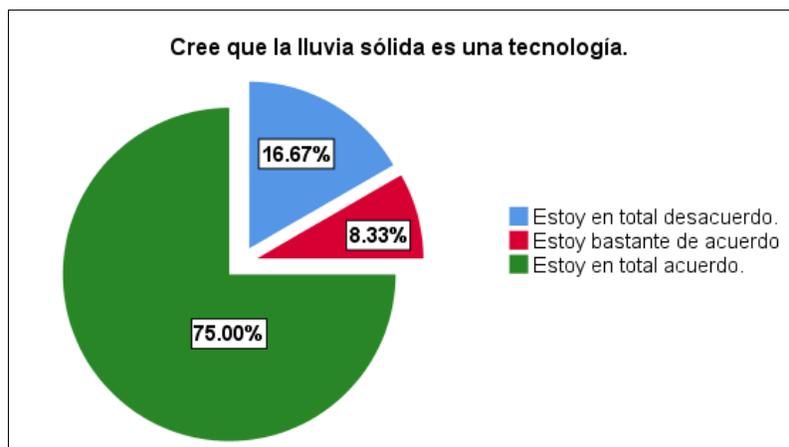


Figura 57. Porcentaje de encuestados que considera la lluvia sólida como una tecnología.

El 66.67% de los productores encuestados cree que la lluvia sólida puede ayudar a aprovechar mejor el agua en los cultivos, ya sean de temporal (Figura 56) o riego (Figura 57).

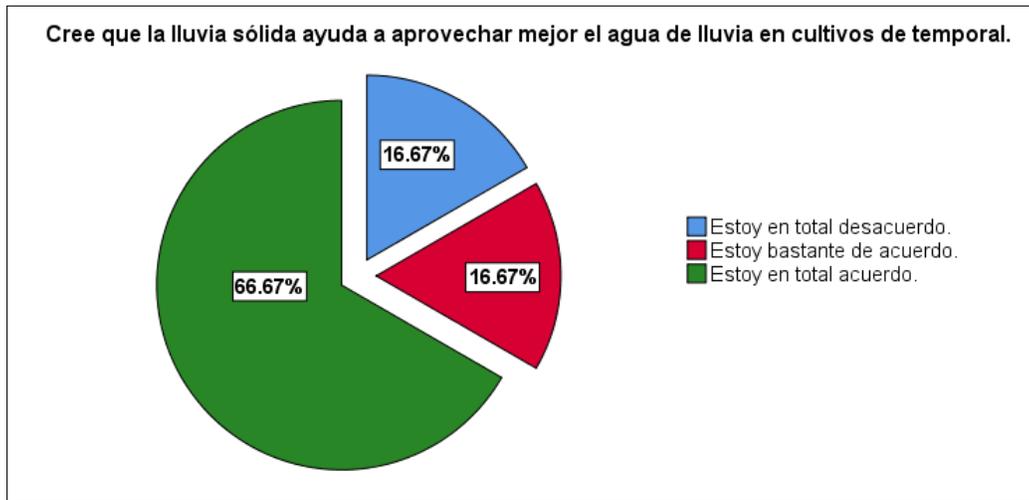


Figura 58. Porcentaje de encuestados que cree que la lluvia sólida puede ayudar a aprovechar mejor el agua en cultivos de temporal.

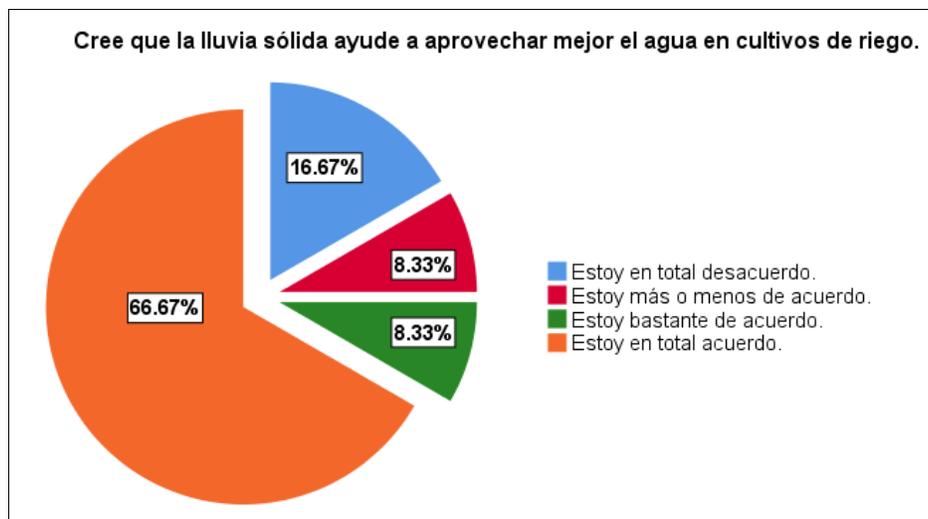


Figura 59. Porcentaje de encuestados que la lluvia sólida puede ayudar a aprovechar mejor el agua en cultivos de riego.

La mayoría de los encuestados (66.67%) considera que la lluvia sólida puede mejorar los rendimientos en sus cultivos de frijol (figura 58). De igual manera, el 66.77% de los productores que contestaron este apartado estaría dispuesto a emplear la lluvia sólida

en sus cultivos (figura 59). Sin embargo, El 50% (seis productores) de los encuestados cree poder pagar el precio de la lluvia sólida (figura 60).

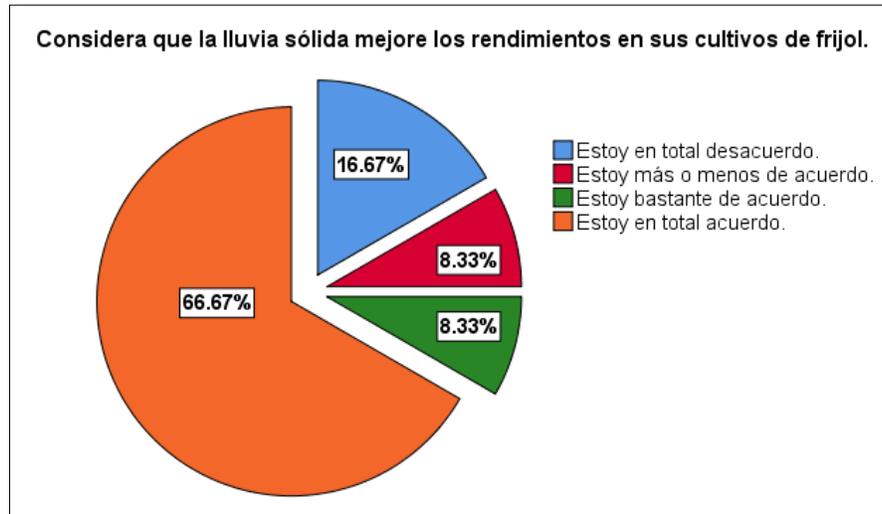


Figura 60. Porcentaje de encuestados que considera que la lluvia sólida puede mejorar los rendimientos en sus cultivos de frijol.

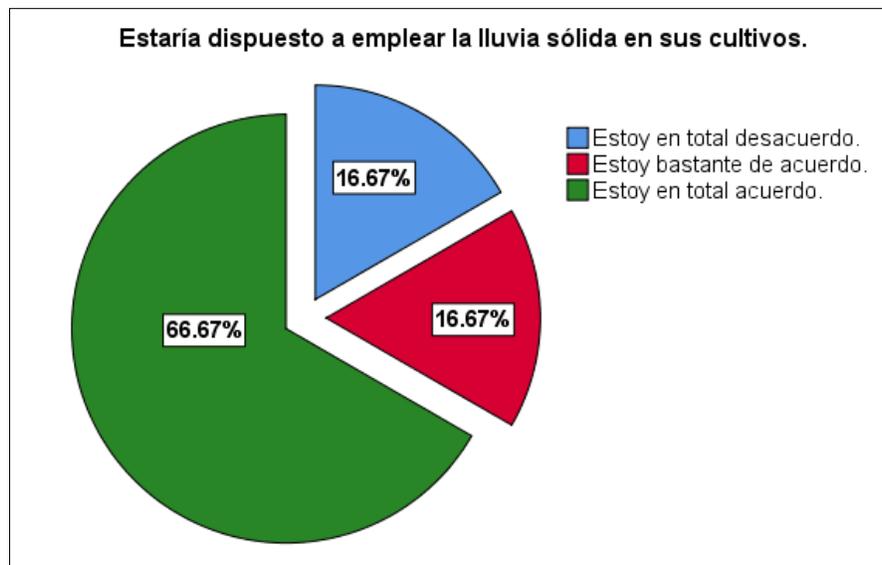


Figura 61. Porcentaje de encuestados que estaría dispuesto a emplear la lluvia sólida en sus cultivos.



Figura 62. Porcentaje de encuestados que considera puede pagar la lluvia sólida.

En cuanto a la adquisición de la lluvia sólida, el 33% de los encuestados dijo no estar totalmente de acuerdo en saber dónde adquirirla a diferencia del 25% que está totalmente de acuerdo en saber dónde conseguir el hidrogel (figura 61). Tres productores (25%) creen que adquirir la lluvia sólida no es sencillo, mientras que el 58.3% piensa lo contrario (figura 62).

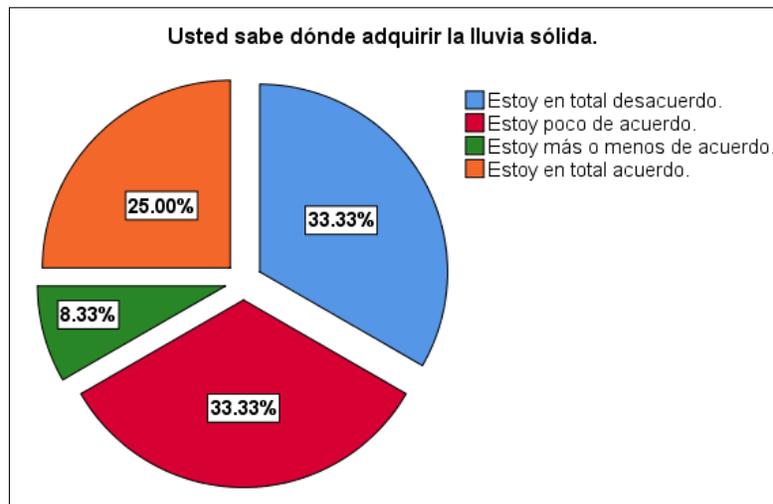


Figura 63. Porcentaje de encuestados que sabe dónde adquirir la lluvia sólida.

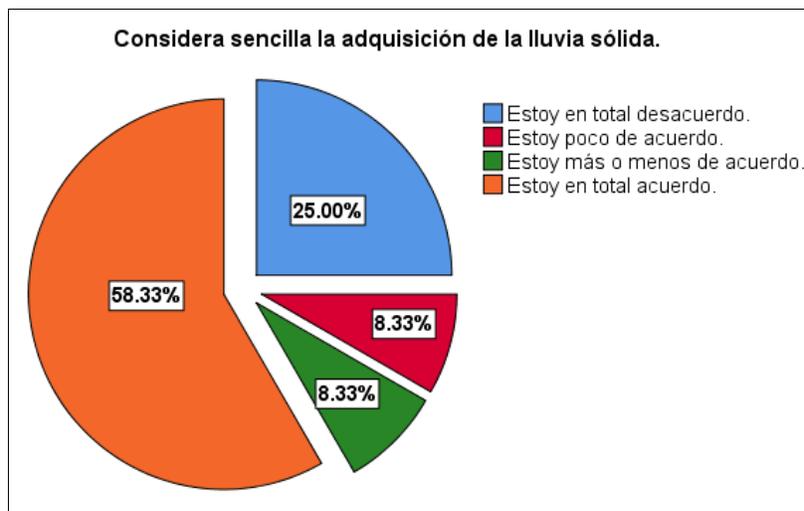


Figura 64. Porcentaje de encuestados que considera sencilla la adquisición de la lluvia sólida.

La mayoría de los productores encuestados que estarían totalmente de acuerdo emplear la Lluvia sólida en sus cultivos tiene una edad superior a los 48 años (figura 65). En cuanto al nivel de estudios, la mayor parte de los encuestados que estarían totalmente de acuerdo emplear la Lluvia sólida en sus cultivos poseen educación superior y Primaria (figura 66).

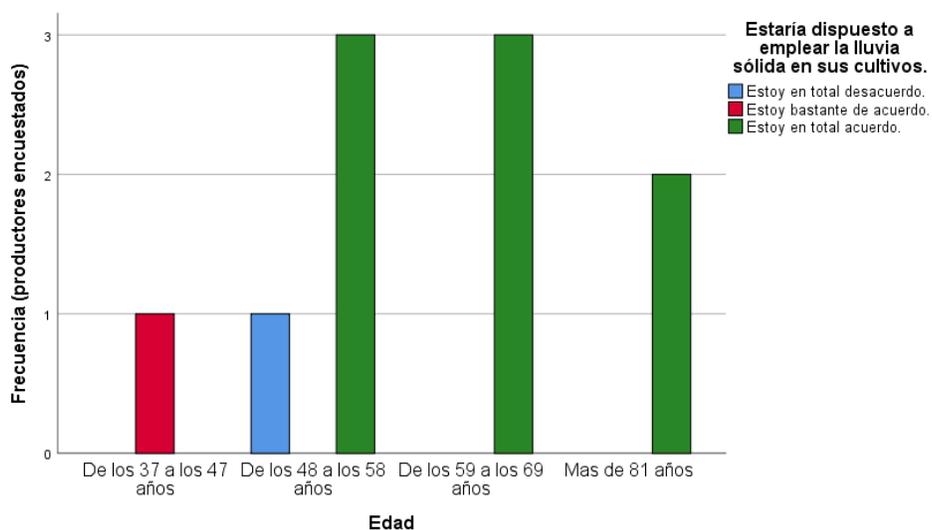


Figura 65. Relación de productores dispuestos a emplear la lluvia sólida según edad.

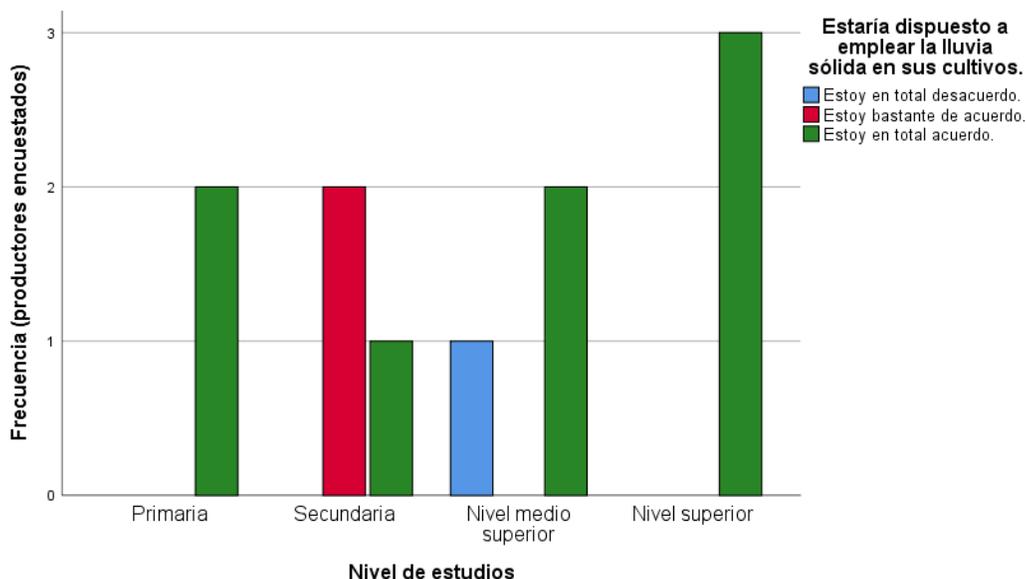


Figura 66. Relación de productores dispuestos a emplear la lluvia solida según nivel de estudios.

6.4. Propuesta de estrategias

Se evaluaron los aspectos tanto negativos como positivos, considerando los factores internos y externos del uso de la tecnología del poli acrilato de potasio en el ejido de Nuevo Ideal Durango. Con lo que se encontró en el análisis FODA, que el uso de esta tiene el mismo número de debilidades como de fortalezas. Además, tanto las debilidades y amenazas, están sustentadas en el vacío de información existente alrededor del uso de la tecnología en dicho ejido (cuadro 16).

Cuadro 17. Análisis FODA de la implementación de Lluvia sólida en el ejido de Nuevo Ideal.

	Aspectos Negativos	Aspectos Positivos
	Debilidades	Fortalezas
Factores internos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se desconoce la dosis óptima de lluvia sólida para su aplicación en cultivos de frijol. 2. El precio de la lluvia sólida es elevado (\$7000.000 MXN por 25 Kg). 3. Se recomienda emplear lluvia sólida bajo sistemas de cero labranza o labranza mínima (Paz y Ortiz, s.f.). 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Retiene agua alrededor de 200 veces el peso de su masa. 2. Se obtuvieron mejoras en el rendimiento de Lechuga (Vélez , s.f.). 3. Con el uso del poli acrilato de potasio puede iniciar la siembra antes del periodo de lluvias (Paz y Ortiz, s.f.).

	<ol style="list-style-type: none"> 4. Al emplear la lluvia sólida es necesario considerar la aplicación de riegos auxiliares (Alarcón, 2003). 5. No presento efectos en la producción de frijol en la parcela demostrativa del ejido de Nuevo Ideal. 6. Su capacidad de retención de agua disminuye con el contacto con sales divalentes (Lépez, et al., 2010). 7. En el estudio realizado se encontró que la aplicación de lluvia sólida no tuvo efectos en la producción del cultivo de frijol de temporal en el ejido de Nuevo Ideal, en el ciclo 2018-2019. 8. Según la metodología "Technology Readiness Level", para el caso del ejido de nuevo ideal el poli acrilato de potasio aún no es una tecnología madura, ya que se encuentra en una etapa de validación. 	<ol style="list-style-type: none"> 4. Permite un ahorro de agua de hasta el 95% en sistemas de riego (Perea y Damián, 2012). 5. La lluvia sólida puede retener el agua hasta por 40 días (Rico, 2015). 6. El poli acrilato de potasio tiene una vida útil de 10 años (Alarcón, 2003). 7. En estados como chihuahua y puebla la lluvia sólida es proporcionada a pequeños productores mediante programas de apoyo (SAGARPA).
<p style="text-align: center;">Factores externos</p>	<p>Amenazas</p>	<p>Oportunidades</p>
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Existen imitaciones de la lluvia sólida en el mercado, de las cuales se desconocen sus efectos. 2. Es fácil de confundir con el poli acrilato de potasio con poli acrilato de sodio. 3. Se desconocen los efectos de la aplicación del poli acrilato de potasio a largo plazo en ambiente. Se desconoce la eficiencia del poli acrilato de potasio en la retención de agua a largo plazo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los productores del Ejido de Nuevo Ideal están interesados en realizar una tecnificación para el uso eficiente del agua en sus cultivos de frijol de temporal. 2. Los productores del Ejido de Nuevo Ideal consideran la lluvia sólida como una alternativa de tecnificación. 3. Hernández (2012), encontró que con la aplicación en suelos arcillosos de Algaenzimis al 20% (vigorizador biológico de plantas) en combinación con el poli acrilato de potasio (dosis de 0.5 gr/ planta) se tiene mejores resultados en la capacidad de retención de agua, en el peso fresco de la planta y en el contenido de clorofila, en comparación con un testigo.

En cuanto a la propuesta de estrategias mediante la Matriz CAME, se obtuvieron un total de 11 estrategias propuestas (cuadro 17).

Cuadro 18. Matriz CAME de la implementación de Lluvia sólida en el ejido de Nuevo Ideal.

	Análisis interno	Análisis Externo
Factores Positivos	Estrategias para corregir debilidades	Estrategias para Mantener Fortalezas
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Emplear en cultivos más rentables, por ejemplo, ejote. 2. Determinar una dosis optima de aplicación. 3. Buscar la manera de subsidiar la tecnología. 4. Implementar preferentemente en cultivos bajo sistemas de riego y de cero labranzas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Elaborar un paquete tecnológico que mantenga las virtudes de la tecnología.
Factores Negativos	Estrategias para Afrontar Amenazas	Estrategias para Explotar Oportunidades
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Evaluar los efectos que tiene la aplicación del poli acrilato de potasio a largo plazo en el suelo, un periodo mínimo de 5 años. 2. Evaluar la eficacia y eficiencia del poli acrilato de potasio a largo plazo. 3. Capacitar a los productores sobre la adquisición y uso del poli acrilato de potasio. 4. Crear un enlace entre inventor de la tecnología y los productores del ejido, a fin de establecer u relaciones de distribución o aprovisionamiento de esta. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Buscar otras alternativas tecnológicas que complementen y mejoren los resultados obtenidos con la aplicación de la Lluvia sólida, por ejemplo, el uso del Algaenzimis. 2. Buscar otras alternativas eco-tecnológicas que incidan en la mejora de la eficiencia del uso del agua en el ejido de Nuevo Ideal, esto por si se presenta el caso de que aun con todas las mejoras, la lluvia sólida no sea una opción factible para el ejido. Por ejemplo, Gutiérrez (2014) propuso la implementación de líneas clave en la Cuenca de la Laguna de Santiaguillo, a la cual pertenece el ejido de Nuevo Ideal.

VII. Discusión

Retención de agua del poli acrilato de Potasio. De acuerdo con la literatura citada por Paz y Ortiz (s.f.) la lluvia sólida puede retener hasta 500 veces su peso en agua; sin embargo, en los resultados obtenidos se observó que su capacidad de retención es de 200 veces su peso en agua. Con lo que este resultado es similar al que tuvo López-Eías, et al. (2016), quien determinó que la lluvia sólida puede retener 225 veces su peso en agua, cuando es hidratado con agua de lluvia. Por otra parte, Alarcón (2013) obtuvo que la lluvia sólida retuvo 138 veces su peso en agua. La diferencia en estos resultados es debido a que la capacidad de retención del hidrogel Lluvia sólida varía según la calidad del agua con que es hidratado (López-Eías, et al., 2016).

En cuanto a la eficacia del hidrogel, al igual que López-Eías, et al., (2016), se obtuvo que la aplicación del poli acrilato de potasio no presentó efecto sobre la producción del cultivo de estudio; siendo el cultivo de estudio en el caso de López-Eías et al. (s.f.) chile Anaheim (*Capsicum annuum* L.) en condiciones de invernadero. En contraste a esto, Alarcón (2013) obtuvo un incremento del 37% en la producción de frijol ICTA Altense en campo, esto respecto a misma variedad, pero sin la aplicación del hidrogel; no obstante, su experimento se realizó en meses reportados con exceso de agua para este cultivo.

De acuerdo a Lopez-Salinas, et al. (2011) las etapas críticas para las plantas de frijol es cuando se encuentran en la anthesis (periodo de floración) y el periodo de formación de semilla y llenado de grano, al sufrir diferentes estados de estrés hídrico puede reducir desde un 20 a un 100% su rendimiento, lo cual depende de la intensidad y duración y la intensidad de la sequía, esta reducción en la precipitación será reflejada en la baja humedad del suelo, sobretodo en el estrato de suelo más próximo a la superficie, en la cual se produce el 50% de la densidad de raíces y donde se lleva a cabo la mayor proporción de absorción de agua y nutrientes (Halterlein, 1983), por lo tanto, las siembras de frijol que dependen del temporal al estar expuestas a sequía durante la floración y formación de las vainas y semillas, pueden presentar una reducción drástica en la biomasa aérea, índice de cosecha, peso o tamaño de la

semilla y rendimiento de semilla además del número de vainas y semillas normales por m² (Muñoz-Perea, et al., 2006; Barrios-Gómez, et al., 2011).

Según Sánchez, et al., (2009), el peso esperado de 100 granos de frijol pinto saltillo es de entre 31 y 34 gramos, por lo que el peso de 25 granos debe ser entre 7.75 y 8.5 granos aproximadamente. No obstante, en campo se tuvieron pesos más bajos, siendo el peso más alto de 7.74 gramos. De acuerdo al registro de lluvias, realizado en campo y lo mencionado anteriormente, permite decir que en el ciclo de temporal P-V 2018, durante el experimento, no se presentó una buena producción debido a lo errático y falta de lluvia de temporal siendo ésta una importante condicionante que limitó el desarrollo y producción del cultivo.

VIII. Conclusiones

De acuerdo a los datos obtenidos en campo. La variable altura promedio de planta, es el tratamiento cinco el que promovió plantas más grandes, con una longitud media de 3.88 (48.42 cm).

Los tratamientos dos y seis presentaron las medias más altas respecto a la variable de número promedio de nódulos por planta, con valores de 2.59 y 2.58 respectivamente, lo que equivale alrededor de 13 nódulos por planta.

El tratamiento seis presento la media más alta en cuanto a la variable peso promedio de raíz seca, esto con un valor de media de -0.63 (0.530 gramos).

En cuanto a la cantidad promedio de granos por planta, el tratamiento dos tuvo la media más alta con un valor de 3.74 (42 granos). En el caso de la variable de peso de cosecha de 25 granos la media más alta la tuvo el tratamiento cinco con un valor de 2.01, que equivale a 7.46 gramos.

Del estudio de correlación de variables, las más altas correspondieron a los pares de variables cantidad de vainas - cantidad de granos por planta, peso seco de la raíz- cantidad de granos por planta y peso seco de la raíz - cantidad de vainas por planta.

En cuanto a la variable longitud de vaina, esta tuvo las correlaciones más altas con las variables cantidad de granos por planta y cantidad de vainas por planta, presentándose en estas correlaciones la lógica fisiológica de la planta de frijol, de acuerdo a la variable más importante para el productor el rendimiento.

Aunque en las variables de estudio los tratamientos en los que se aplicó la lluvia sólida presentaron las medias más altas en comparación con el testigo, con excepción de la variable longitud de vaina, no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos, incluyendo el testigo. Con esto se concluye, dadas las condiciones de falta de precipitación pluvial existentes en el experimento, que la aplicación de poli acrilato de potasio al suelo no presenta efecto sobre la producción del frijol.

Es posible decir que el polímero es eficaz, al presentar una alta capacidad de retención en comparación con sus predecesores. Pero, no fue posible corroborar su eficiencia en la mejora del aprovechamiento del agua en campo, haciendo necesario indagar más en sus atributos físicos y químicos, con el fin de desarrollar un paquete tecnológico, es decir una estrategia del uso del hidrogel la cual considere la calidad del agua de riego, las propiedades del suelo y las actividades culturales que se desprenden al usar el poli acrilato de Potasio.

El uso del poli acrilato de potasio es una herramienta que permite la retención del agua, pero no es un sustituto de ésta, por lo que es necesario considerar la aplicación de riegos de emergencia según las condiciones climáticas que se presenten durante el ciclo del cultivo.

Los productores de frijol de temporal del ejido de nuevo ideal consideran la lluvia sólida como una tecnología y creen que esta puede ayudar a hacer eficiente el uso del agua en sus cultivos, ya sean de temporal o de riego; incluso están interesados en usarla.

La tecnología aun no es viable para una transferencia tecnológica ya que aún no es considerada una tecnología madura. En el caso del ejido de Nuevo Idea, la lluvia sólida se ubica en el nivel 3 (de 9 niveles) de la metodología "Technology Readiness Level" de la NASA; ya que aún se encuentra en etapa de validación, debido a que no se ha desarrollado un paquete tecnológico para su aplicación. Además, antes de iniciar un

proceso de adopción de dicha tecnología, es necesario que los productores adquieran un entendiendo de su aplicación y funcionamiento.

IX. Recomendaciones

Se recomienda desarrollar una estrategia para el uso del hidrogel, adecuando la dosis según la calidad de agua de riego, las propiedades del suelo, y los planes de fertilización y riego. Así mismo, evaluar qué efectos tienen las condiciones climáticas sobre la eficiencia del hidrogel y si este genera a largo plazo daños y/o cambios en el ambiente. También las implicaciones que puede tener el tipo de labranza, ya que al aplicar el hidrogel quedará en el suelo de acuerdo a su vida útil (8 a 10 años) y no se podrá remover con la labranza tradicional de arado de disco.

Se recomienda evaluar si las perturbaciones en el suelo debido a maquinaria o labores del cultivo merman la eficiencia del poli acrilato de potasio. Además, evaluar si el uso de la lluvia sólida mejora la disponibilidad de nutrientes y agua para las plantas.

Al diseñar el paquete tecnológico que implique el uso de la lluvia sólida es necesario realizar una evaluación económica de esta tecnología. Siendo necesario desarrollar estrategias que alarguen el tiempo de vida de la lluvia sólida y a la par disminuya su dosis de aplicación, con el fin de minimizar costos a los productores.

Es necesario buscar y evaluar otras alternativas tecnológicas que promuevan un uso eficiente del agua y una mejora en los suelos de los cultivos de frijol del ejido de Nuevo Ideal.

Aunque la mayor parte de los productores de frijol encuestados del ejido están interesados en una tecnificación que mejore la eficiencia del uso de agua de lluvia en sus cultivos, el desarrollo y la transferencia de una tecnología exitosa tendrá que provenir políticas públicas agrícolas, medioambientales y de recursos hídricos. Siendo la reconversión de cultivos, la tecnificación de riego y un plan de gestión del recurso hídrico a nivel sectorial aspectos clave para lograr un uso eficiente del agua.

X. Bibliografía

- Aguilar, G., Peña, C., García, Ramírez, P., R., Benedicto, G., y Molina, J. (2012). Rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en relación con la concentración de vermicompost y déficit de humedad en el sustrato. *Agro ciencia*, 46:37-50.
- Aguilar, N., y Ortiz, H. (2000). Generación, adopción y transferencia de tecnología, retos del desarrollo sustentable en el agro mexicano. *Estudios Agrarios*, 26: 95-119.
- Aguirre, A. A. (2004). Gestión integral del agua en cuencas hidrológicas desde la perspectiva de un modelo vertical. *Carta Económica Regional*, 17 (89). Recuperado de <http://revistascientificas.udg.mx/index.php/CER/article/view/5732/5252>
- Aguirre, N. M. (2011). La cuenca hidrográfica en la gestión integral de los recursos hídricos. *Revista virtual REDESMA*, 5: 9-20.
- Alarcón, J. (2003). *Evaluación del poliacrilato de potasio, en el cultivo de frijol (Phaseolus vulgaris L.), como práctica de adaptación a la amenaza de sequía, parramos, chimaltenango* (tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Suchitepéquez, Guatemala.
- Asociación de Emprendedores y Empresarios Autónomos. (s.f.). Los análisis DAFO y las Respuestas CAME. Recuperado de <http://www.aeautonomos.es/resources/Los+an%C3%A1lisis+DAFO+y+las+respuestas+CAME.pdf>.
- Bacilio, A. (2016). *Evaluación de transferencia de tecnología en unidades de producción de leche en pequeña escala en el municipio de Aculco, Estado de México* (tesis de pregrado). Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.
- Banco Mundial. (2016). *Agua, Panorama General*. Recuperado de <http://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview#1>
- Barón et al. (2007). Evaluación de hidrogeles para aplicaciones agroforestales. *Revista Ingeniería e investigación*, 23(3), 35-44.
- Barrios Gómez, E. J, C. López-Castañeda, J. Kohashi-Shibata, J. A. Acosta-Gallegos, S. Miranda-Colín y N. Mayek-Pérez. (2011). Avances en el mejoramiento genético del frijol en México por tolerancia a temperatura alta y sequía. *Rev. Fitotec. Mex.* 34:247-255.
- Campaña, I. (2016). *Evaluación de la capacidad de retención hídrica en sustratos con poliacrilato de potasio, para el cultivo de haba en ambiente controlado* (tesis pregrado). Universidad central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Castellanos, R. J. Z. (2000). *Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas*. México: Intagri Gto.

- Chávez, G. (s.f.). *Del gobierno a la gobernabilidad de los recursos hidricos en México*. Recuperado de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/528/gobierno.pdf>.
- Comisión Nacional Forestal. (2005). *Estudio del ordenamiento territorial del Ejido de Nuevo Ideal*.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (s.f.). Frijol. Biodiversidad Mexicana. Recuperado de <https://www.biodiversidad.gob.mx/usos/alimentacion/frijol.html>.
- CONACYT. (s.f.). Desarrollo tecnológico e innovación. Recuperado de <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/el-conacyt/desarrollo-tecnologico-e-innovacion>
- CONAGUA (Comision Nacional del Agua). (2009). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua*. México D.F.: Diario oficial de la federacion del 28 agosto 2009.
- CONAGUA. (2010). *Documentos básicos de los consejos de cuenca*. Recuperado de http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/patt/2._Conceptos_basicos/Documentos_basicos_de_los_consejos_de_cuenca.pdf.
- CONAGUA. (2012). *Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento*. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAA-37-12.pdf>
- CONAGUA. (2011). *Estadísticas del Agua en México Edición 2011*. México. Recuperado de http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/SINA/Capitulo_2.pdf
- CONAGUA. (2016). Atlas del agua en México Edición 2016. Recuperado el 15 de 05 de 2018, de http://201.116.60.25/publicaciones/AAM_2016.pdf
- CONAGUA. (2016). *Estadísticas del Agua en México Edición 2016*. Ciudad de México, México. Recuperado de http://201.116.60.25/publicaciones/EAM_2016.pdf.
- CONAGUA. (2016). *Numerología de México*. México. Recuperado el 15 de 05 de 2018, de http://201.116.60.25/publicaciones/Numeragua_2016.pdf.
- Escalante, L., y Ramírez, L. V. (2009). Gestión Integrada de Recursos Hídricos. Una propuesta de acción social para Panamá. *Textual*, 53: 43-146.
- Fernández, F., Gepts, P., Lopez, M. (s.f.) Etapas de desarrollo en la planta de frijol. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/132691059.pdf>.

- Flores, H., Rosales, R., y Flores, H. (2014). *Técnicas de cosecha de agua para la producción sostenible de frijol en Durango*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).
- Flores, H., Rosales, R., y Flores, M. H. (2014). *Técnicas de cosecha de agua para la producción sostenible de frijol en Durango*. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).
- Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental (FEA), Centro Mexicano de Derecho Ambiental (CEMDA) y Presencia Ciudadana Mexicana. (Ed.) (2006). *El agua en México: lo que todas y todos debemos saber*. Recuperado de http://www.cemda.org.mx/artman2/uploads/agua-mexico_001.pdf.
- Galindo, G. (2004). Estrategias de difusión de innovaciones agrícolas en México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 3:73-99.
- Gómez, A. (2014). *Aplicación del hidrogel como retenedores de agua en la agroforestería* (tesis de pregrado) . Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Coahuila, México.
- Halterlein A. J. 1983. Bean. In: Teare I. D., and M. M. Peet (eds). *Crop–Water Relations*. Wiley Pub., New York. pp: 157–185
- Hernández, M. (2012). *Efecto sinérgico de Algaenzims y poliacrilato de potasio en las variables fisiológicas del cultivo de frijol (Phaseolus vulgaris L.) y en la retención de humedad de cuatro sustratos bajo invernadero* (tesis pregrado). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Coahuila, México.
- HISGA. (s.f.). *Definición de gestión ambiental sectorial*. Recuperado el 26 de marzo de 2018, de <http://hisgaingenieria.com/definicion-gestion-ambiental-sectorial>.
- INIFAP. (2017). Agenda técnica agrícola, Durango y La Laguna. Recuperada de www.inifap.gob.mx/.../Agendas.../2017/Agenda%20Técnica%20Durango%20OK.pdf
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) . (2017). *Anuario estadístico y geográfico de Durango 2017*. Recuperado de https://datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/DGO_ANUARIO_PDF.pdf
- INEGI. (2005). *Guía para la Interpretación de Cartografía Climatológica*. Recuperado de http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1329/702825231781/702825231781_1.pdf
- INEGI. (2017). *Conocer Durango, Séptima edición*.
- Isan, A. (2017). *Distribución de agua en el mundo*. AGUA.org.mx. Recuperado de <https://agua.org.mx/distribucion-del-agua-en-mundo>.
- Lépiz et al. (2010). Características morfológicas de formas cultivadas, silvestres e intermedias de frijol común de hábito trepador. *Rev. Fitotec. Mex.* 33 (1): 21 – 28.

- López-Elías, J., Garza, S., Jiménez, J., Marco, H., y Garrido, O. (2016). Uso De Un Polímero Hidrófilo A Base De Poliacrilamida Para Mejorar La Eficiencia En El Uso Del Agua. *European Scientific Journal* , 12 (15), 160-175, doi: 10.19044/esj.2016.v12n15p160.
- López-Elías, J., Rueda, E., Jiménez, J., Romero, L., Davila, F. (s.f.). *Evaluación de un polímero hidrófilo en chile anaheim (Capsicum annuum L.)* Cultivado en invernadero. XV Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas.
- López-Salinas, E., O. H. Tosquy-Valle, J. A. Acosta-Gallegos, B. Villar-Sánchez, and F. J. Ugalde- Acosta. (2011). *Drought resistance of tropical dry black bean lines and cultivars. Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 14: 749-755.
- Madroñero, S. M. (2006). *Manejo del recurso hídrico y estrategias para su gestión integral en la microcuenca Mijitayo, Pasto Colombia.* Turrialba, Costa Rica.
- Montgomery, D.C. Diseño y análisis de experimentos (2da ed.). México: LIMUSA.
- Muñoz-Perea, C. G., H. Terán, R. G. Allen, J. L. Wright, D. T. Westermann, and S. P. Singh. (2006). *Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars. Crop Sci.* 46: 2111-1120.
- OMS. (s.f.). *Agua, saneamiento e higiene.* Recuperado el 25 de marzo de 2018 de http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases-risks/es.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas) . (2011). *Agua y agricultura en la economía verde.*
- ONU. (2014). *Decenio internacional para la acción "El agua fuente de vida"2005-2015.* Recuperado el 25 de marzo de 2018, de <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml>.
- Ordoñez, J. (2011). Cartilla tecnica: ¿qué es la cuenca hidrológica?. Lima, Peru.
- Palacios , E. (1977). *Introducción a la teoría de la operación de distritos y sistemas de riego.* Chapingo: México .
- Paz, A. A., y Ortiz, A. (s.f.). *Lluvia sólida una alternativa de producción de hortaliza para el consumo familiar ante la sequia del país.*
- Peña, M. (2007). *Evaluación biológica de polímeros hidrofílicos En la producción de trigo (Triticum Aestivum) de riego en Poncitlán, Jalisco* (tesis de pregrado) . Universidad autónoma de Chapingo Chapingo, México.
- Prieto, J., Ríos, J., Monárrez, J., Garcia, J., Mejia, J., y Bustamante, V. (2012). *Recomendaciones para la producción de planta del mezquite en condiciones de vivero.* México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

- Rico, S. (2015). *De líquida a sólida* (Conferencia). Tecnológico de Monterrey, campus Santa Fe, Monterrey México. Recuperada de https://www.youtube.com/watch?v=GuT_haQ2jHE.
- Rodríguez, F. J. (1989). *Transferencia de tecnología* (tesis Doctoral). Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México.
- Rojas, B., Ramirez, M., Aguilera, R., Prin, J., Torres, C. (2006). Los hidrogeles poliméricos como potenciales reservorios de agua y su aplicación en la germinación de semillas de tomate en diferentes tipos de suelos. *Revista Iberoamericana de polímeros*, 7(3), 199-210.
- SEMARNAT. (2006). *La Gestión Ambiental en México*.
- Salinas, J.A., Colorado, G., y Maya, M. E. (2015). Escenarios de cambio climático para México. *Atlas Nacional de Vulnerabilidad hídrica en México ante el Cambio Climático* (41-72). México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).
- Sánchez et al. (2009). Frijol pinto saltillo: variedad mejorada de frijol para el estado de Durango. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).
- Santoyo, H., Ramírez, P., y Suvedi, M. (2000). *Manual para evaluación de programas de desarrollo rural*. México: Grupo Mundi-Prensa.
- Sanz, J. (2015). Characterization and effects of cross-linked potassium polyacrylate as soil amendment (tesis doctoral). España: Universidad de Sevilla.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2015-2017). *Avance de siembras y cosechas, resumen nacional por estado*. Recuperado de http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do.
- Tapias, H. (1996). *Transferencia de tecnología*. Recuperado de http://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/6002/1/TapiasHeberto_1996_TransferenciaTecnologia.pdf.
- Trujillo, E. (2009). Plantines y retenedores de agua. Recuperado de arborizaciones.com/pluginfile.php/212/.../Trujillo.PlantinesRetenedores.agua.pdf.
- Valencia, J., Díaz, J., y Ibarrola, H. (s.f.). *La gestión integrada de los recursos hídricos en México: nuevo paradigma en el manejo del agua*.
- Vázquez, C. (s.f.). Análisis FODA. Recuperado de <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/69284/secme-10976.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Vélez, N. (s.f.). *Efecto de los retenedores de agua en la producción de lechuga (Lactuca sativa L.) variedad Crespa Salad en la granja experimental yuyucocha provincia de*

Imbabura. Recuperado de
<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/6884/3/03%20AGP%20196%20ARTICULO.pdf>

Villagómez, Y., Amorozo, I., & Emanuel, G. (2013). *Los recursos hídricos en las regiones indígenas de México*.

WWF. (2009). *Manual de buenas prácticas de riego propuestas de WWF para un uso eficiente del agua en la agricultura*. Recuperado de
http://awsassets.wwf.es/downloads/buenas_practicas_de_riego.pdf.

AGRADECIMIENTOS

A Dios y mi familia por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad.

Agradezco a mi comité tutorial por compartir sus conocimientos y enriquecer este proyecto. A la Dra. Erika Cassio Madrazo y al M.C. José Natividad Uribe Soto por su apoyo y motivación; a los doctores Jonathan Gabriel Escobar Flores y Eduardo Sánchez Ortiz, cuyas observaciones a lo largo de éste proyecto cambiaron mi visión y mejoraron el producto final. A todos ellos les agradezco el crecimiento personal alcanzado en estos dos años.

A los ejidatarios del Ejido de Nuevo Ideal, en especial a los señores Demetrio y Eliseo, por su hospitalidad y amabilidad.

Al CONACyT por el apoyo recibido en estos dos años y al CIIDIR-IPN Unidad Durango por permitirme cumplir una meta personal.

Por último y no menos importante a mis compañeros de generación con quienes compartí experiencias y creé una buena amistad.

A todos ellos por su compañía y amistad, infinita gratitud.

ANEXOS

Anexo 1. Línea del tiempo del ciclo del cultivo en campo.

1era visita: 05 de julio del 2018 Implementación del experimento en campo.	2da visita 19 de julio del 2018	3era visita 16 de agosto del 2018	4ta visita 07 de septiembre del 2018
			
5ta visita 26 de septiembre del 2018	6ta visita 19 de octubre del 2018	7ma visita 09 de noviembre del 2018	8va visita 22 de noviembre del 2018 Recolección de plantas
			

Anexo 2. Formato de encuesta piloto.

	IPN-CIIDIR UNIDAD DURANGO	Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental
ENCUESTA PARA LA EVALUACIÓN DE LA PERCEPCIÓN DE LA LLUVIA SÓLIDA		
<p><i>La presente encuesta se realiza con el propósito de recabar información en relación a la percepción que los productores de frijol de temporal tienen sobre la tecnología de la lluvia sólida y su eficiencia en el aprovechamiento sustentable del recurso hídrico. La información recabada será empleada para el desarrollo del trabajo de tesis "Evaluación de la tecnología de la lluvia sólida como alternativa para el aprovechamiento del recurso hídrico en cultivos de frijol de temporal en el ejido de Nuevo Ideal, Durango", el cual es realizado con apoyo de CONACYT y del Instituto Politécnico Nacional CIDIIR Unidad Durango. Se guardará confidencialidad del informante.</i></p>		
Nombre: _____ Edad: _____		
Sexo: F <input type="radio"/> M <input type="radio"/> Localidad: _____		
Escolaridad: _____		
1. ¿Forma parte de alguna asociación de productores? Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>		
¿Cuál? _____		
2. ¿Es usted productor de frijol? Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>		
3. Riego <input type="checkbox"/> Temporal <input type="checkbox"/>		
4. ¿Cuántas hectáreas de frijol siembra al año? _____		
5. ¿Cuánto frijol produce al año (ton)? _____		
6. Del frijol que usted produce ¿cuánto de este es destinado para?:		
a) venta _____(ton) b) consumo familiar _____ (ton)		
7. ¿Conoce la lluvia sólida? Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>		
8. Si usted conoce la lluvia sólida ¿Cómo es que supo de esta?		
a) Mediante un conocido <input type="checkbox"/> d) En algún taller o capacitación <input type="checkbox"/>		
b) Mediante un familiar <input type="checkbox"/> e) Otro <input type="checkbox"/> ¿Cuál? _____		
c) Mediante un amigo <input type="checkbox"/>		
9. ¿Usted ha utilizado la lluvia sólida? Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>		
10. ¿En qué? _____		

Hoja 1

11. Si no la ha utilizado, ¿estaría dispuesto a usar la lluvia sólida en sus cultivos de frijol? Si No

12. ¿Por qué?

Instrucciones: A continuación, se presentan una serie de preguntas de opción múltiple, le solicitamos conteste las siguientes preguntas seleccionando la respuesta que más se acerque a su opinión (marque con una X).

	Siempre	Casi siempre	A veces	Casi nunca	Nunca
13. Usted emplea maquinaria para la preparación de sus tierras.					
14. Usted prepara sus tierras de forma tradicional (manual, con tronco o azada).					
15. Usted cuenta con acceso a agua para sus cultivos.					
16. Usted considera que en los últimos 3 años sus cultivos se han visto perjudicados debido a la falta de lluvia.					
17. Siendo usted productor de frijol de temporal, ha tenido la necesidad de aplicar riegos de emergencia en sus cultivos debido a las condiciones climáticas.					
18. Cree usted necesario aprovechar mejor el agua de lluvia en sus cultivos.					
19. Usted considera únicamente como tecnologías a los dispositivos electrónicos y maquinarias.					
20. Usted ya había escuchado antes sobre la lluvia sólida.					
21. Conoce usted cómo funciona la lluvia sólida.					
22. Considera usted que la lluvia sólida es una tecnología.					
23. Usted ha utilizado la lluvia sólida.					
24. Considera usted la lluvia sólida como una buena alternativa para aprovechar mejor el agua de lluvia en sus cultivos de frijol.					
25. Cree usted que la lluvia sólida pueda contribuir a mejorar los rendimientos de sus cultivos de frijol.					
26. Usted considera que puede pagar el precio de la lluvia sólida.					
27. Considera que el precio de la lluvia sólida es caro.					
28. Usted sabe dónde adquirir la lluvia sólida.					
29. Considera sencilla la adquisición de la lluvia sólida.					
30. Usted recomendaría la lluvia sólida a otros productores.					

¡Muchas gracias por su participación!

Hoja 2

Anexo 3. Programa para la aplicación de encuestas en el ejido de Nuevo Ideal, Municipio de Nuevo Ideal.

Actividad	Duración	Observaciones
Presentación	5 minutos	Presentación de la alumna exponente a los ejidatarios presentes en la reunión. Descripción breve sobre el motivo de su asistencia y solicitud de apoyo y participación en la encuesta.
Preguntas disparo	5 minutos	Se efectuará las preguntas disparo; “¿Quiénes han escuchado antes sobre la lluvia o agua sólida”, “¿Quiénes la conocen”, “¿Quiénes saben cómo funciona?” y “¿Quiénes la han utilizado antes?” (se solicitará levanten la mano aquellos asistentes que tengan una respuesta afirmativa). Se efectuará a la par de las preguntas disparo un sondeo, si la mayoría de los asistentes ya conoce la tecnología y sabe cómo funciona se omitirá la exposición introductoria.
Exposición introductoria sobre el agua sólida	10 minutos	Se expondrá en forma clara y sencilla, el proyecto de tesis, su pertinencia, que es la lluvia sólida y como funciona. Se llevará lluvia sólida en físico para mostrarla a los asistentes.
Aplicación de encuestas	De 30 minutos a 1 hora	Se proporcionará un formato por asistente, así como lápiz o pluma para que lo conteste. El equipo de apoyo y la alumna exponente estarán presentes para; aclaración de dudas, dar apoyo a quienes no puedan o sepan escribir, entregar y recoger el material empleado.
Exposición de resultados en parcela testigo	De 15 a 25 minutos	Se hablará sobre el agua solida con más detalle, explicando sobre los beneficios que algunos autores dicen tener, quizás se comentaran algunos estudios previos y el costo de la tecnología. Se expondrá mediante diapositivas de forma breve el trabajo en campo realizado para el presente proyecto de tesis (materiales y métodos, resultados) y se responderán dudas de los asistentes.
Cierre	5 minutos	Se dará cierre a la aplicación de encuestas agradeciendo a los asistentes por asistir y dar su apoyo en la contestación de encuestas. Se dará una cordial despedida.

Anexo 4. Formato de encuesta de la encuesta aplicada a los productores del ejido de Nuevo Ideal.

	IPN-CIIDIR UNIDAD DURANGO	Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental
ENCUESTA PARA LA EVALUACIÓN DE LA PERCEPCIÓN DE LA LLUVIA SÓLIDA		
<p><i>La presente encuesta se realiza con el propósito de recabar información en relación a la percepción que los productores de frijol de temporal tienen sobre la tecnología de la lluvia sólida y su eficiencia en el aprovechamiento sustentable del agua. La información recabada será empleada para el desarrollo del trabajo de tesis "Evaluación de la tecnología de la lluvia sólida como alternativa para el aprovechamiento del recurso hídrico en cultivos de frijol de temporal en el ejido de Nuevo Ideal, Durango", el cual es realizado con apoyo de CONACYT y del Instituto Politécnico Nacional CIIDIR Unidad Durango. Se guardará confidencialidad del informante.</i></p>		
I. DATOS GENERALES		
Nombre: _____ 1. Localidad: _____		
2. Año de nacimiento: _____ 3. Nivel de estudios: _____		
4. ¿Cuántas personas componen su hogar? _____		
5. ¿Es usted productor de frijol? a) Sí <input type="radio"/> b) No <input type="radio"/>		
6. En caso de que sea sí su respuesta su cultivo es de:		
a) Riego <input type="radio"/> b) Temporal <input type="radio"/> c) Ambos <input type="radio"/>		
7. en caso de ser productor de frijol bajo el sistema de riego, ¿qué tipo de riego emplea?		
a) Por aspersión <input type="radio"/> c) Por gravedad <input type="radio"/>		
b) Por goteo <input type="radio"/> d) Otro <input type="radio"/> ¿Cuál? _____		
8. ¿Qué superficie de frijol siembra por ciclo del cultivo? _____ m ²		
9. ¿Cuál de los siguientes métodos emplea para la preparación del suelo para la siembra de sus cultivos?		
a) Cero labranza <input type="radio"/> c) Labranza mín. con tractor <input type="radio"/>		
b) Labranza mínima con tracción animal <input type="radio"/> d) Labranza convencional <input type="radio"/>		
e) Arado <input type="radio"/>		
10. Del frijol que usted produce ¿cuánto destina para?		
a) venta _____ (%) b) consumo familiar _____ (%)		

Hoja 1

II. GIRH Y TECNIFICACIÓN

11. De las siguientes alternativas tecnológicas, ¿Cuál estaría más interesado en implementar? Enumere del 1 al 6 la alternativa según su nivel de interés, siendo la 1 la que este más esté interesado en implementar y las 6 la que menos le interese.

- a) Alguna que haga eficiente el aprovechamiento del agua en sus cultivos ____
- b) Alguna que ayude en la recuperación o mejora del suelo ____
- c) Alguna que mejore los rendimientos y/o calidad de sus cultivos ____
- d) Alguna que disminuya la carga de trabajo en su parcela ____
- e) Otra ¿Cuál? _____

12. ¿Cuál de las siguientes actividades considera que es la que más agua consume en su localidad? Numere del 1 al 6 según nivel de consumo, siendo 1 la que más consumo de agua realiza y 6 la que menos.

- a) Agricultura ____
- b) Ganadería ____
- c) Uso doméstico ____
- d) Industria ____
- e) Actividades recreativas ____
- f) Generación de energía ____
- g) Otros ¿Cuáles? _____

13. ¿Sabe usted que es la gestión integrada del recurso hídrico? a) Si b) No

14. Por favor indique el nivel de preocupación que tiene al respecto de los siguientes problemas (marque con una X).

	Me preocupa tanto que participo activamente en la solución	Mucha preocupación	Poca o algo de preocupación	No me preocupa	Me da igual
1. Escasez o falta de agua					
2. Contaminación del agua					
3. Perdidas de cultivos					
4. Pérdida de biodiversidad					
5. Erosión de suelos					

15. Instrucciones: A continuación, se presentan una serie de preguntas de opción múltiple, le solicitamos conteste las siguientes preguntas seleccionando el valor que más se acerque a su opinión (marque con una X). Siendo el 1 "estoy en desacuerdo" y el 5 "estoy en total acuerdo".

	Esto en total desacuerdo		Estoy en total acuerdo		
	1	2	3	4	5
1. Cree usted que en los últimos 5 años sus cultivos se han visto afectados por falta de agua.					
2. Cree usted que en los últimos 3 años ha llovido menos que en años anteriores.					
3. Cree necesario el considerar otros recursos (suelo, biodiversidad, etc.) en las actividades de aprovechamiento del agua.					
4. Cree que el volumen de agua existente en su localidad es suficiente para abastecer las necesidades hídricas de sus habitantes.					
5. Cree que el volumen de agua existente en su localidad es suficiente para abastecer las necesidades hídricas de sus habitantes y las de generaciones futuras.					
6. Considera que existe la infraestructura necesaria para abastecer de agua sus cultivos					
7. Considera eficiente el aprovechamiento del agua en sus cultivos.					
8. Considera únicamente como tecnologías a los dispositivos electrónicos y maquinarias.					
9. Cree que una tecnificación puede mejorar el aprovechamiento del agua en sus cultivos					
10. Estaría dispuesto a realizar una tecnificación en sus cultivos para mejorar el aprovechamiento de agua en estos.					
11. Cree tener las posibilidades económicas para realizar una tecnificación en sus cultivos.					
12. Estaría dispuesto a que un experto lo ayudara a adaptar una tecnología para mejorar el aprovechamiento de agua en sus cultivos.					

III. LLUVIA SOLIDA

16. ¿Usted conocía la tecnología denominada "lluvia sólida" o "poli acrilato de potasio"? a) Si b) No

Si su respuesta fue "no" por favor responda a partir del apartado 21.

