

La Capacitación y Asistencia Técnica en Riego en Guanajuato

Gustavo Magaña Sosa¹

¹Secretaría de Desarrollo Agroalimentario y Rural, Gobierno del estado de Guanajuato, México. Av. Irrigación 102 Col. Monte Camargo, CP 38020, Celaya, Gto.

gusmaganas@gmail.com

Resumen

Guanajuato cuenta con 416,000 hectáreas de riego, de las cuales 60% se riegan con agua subterránea. Del agua que se consume en el estado para todos los usos, alrededor de dos terceras partes se extrae de 20 acuíferos, 19 de ellos sobreexplotados; el déficit de agua entre la extracción y la recarga es de alrededor de 867 Mm³. Con el fin de alcanzar el equilibrio, se han venido aplicando diferentes estrategias para hacer más eficiente el uso del agua, entre las que destacan la tecnificación del riego y la capacitación y asistencia técnica. En esta última acción se ha venido trabajando de manera ininterrumpida durante los últimos 17 años, y se ha logrado establecer metodologías y desarrollar software (MATRI y RISUR) que han demostrado su alta eficacia en incrementar la eficiencia en la aplicación del riego. En el presente artículo se presenta la metodología desarrollada, así como los principales resultados obtenidos a lo largo de ese período. Producto del trabajo realizado, se alcanzó una eficiencia en la aplicación del riego, en promedio, del 85.4% en riego por gravedad, 86.5% en aspersión y 92.1% en goteo, lo que permite ahorros de agua superiores a 1,500 m³/ha por ciclo agrícola. Con estos resultados se tiene un potencial para ahorrar 63.2 Mm³ anualmente, equivalente al agua utilizada por los habitantes de los municipios de Celaya, Salamanca y Silao juntos. El costo por metro cúbico de agua ahorrada en los últimos 6 años es de \$1.37, por lo que la capacitación y la asistencia técnica se consolida como opción de alta prioridad para el ahorro de agua.

Palabras clave: eficiencia del riego, tecnificación, ahorro de agua y de energía.

Introducción

El agua es sin duda el elemento más importante en el sector agrícola por ser el factor que más limita y condiciona la producción, y no solo eso, sino que también condiciona las actividades en el sector industrial y la subsistencia o el bienestar de la población en las ciudades y demás comunidades. En la actualidad el acceso al agua cobra especial relevancia, pues la escasez del vital líquido es un problema creciente en muchas regiones de México, lo que dificulta la producción agrícola. Esta situación sin duda es una de las consecuencias provocadas por el cambio climático y por el cambio de uso de suelo. En cuanto a los usos del agua, a nivel mundial el 65% del volumen total disponible se utiliza en la agricultura, y a nivel nacional se utiliza el 76%.

En Guanajuato el 86% del agua disponible, tanto superficial como subterránea, es de uso agrícola. Es importante resaltar que, del agua utilizada para todos los usos, dos terceras partes provienen de los acuíferos.

De acuerdo con información generada por la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG, 2023), considerando únicamente las aguas de origen subterráneo utilizadas en el estado, el 83% del agua extraída de los acuíferos se utiliza en agricultura, el 13% es de uso público urbano y el 4% se usa en la industria. Cada año se extraen de los acuíferos 3,487 Mm³ de agua, y se presenta un déficit estimado en 867 Mm³ anuales. A partir de esta información se deduce que en la actividad agrícola se utilizan 2,894 Mm³. La sobreexplotación de los mantos acuíferos provoca que la profundidad en la extracción del agua sea cada vez mayor, presentando descensos del nivel freático de hasta 3 m por año, situación que debería activar las alarmas, y motivar a establecer medidas para hacer eficiente el uso del agua y establecer control en las extracciones de este vital líquido.

Por su parte, en la superficie que aún no está tecnificada con sistemas modernos de riego, tan solo en la aplicación del agua en las parcelas se desperdicia más de la mitad del agua y solo la mitad de ella se queda en la zona de raíces disponible para el desarrollo de las plantas, es decir, la eficiencia de aplicación del agua es de alrededor del 50%. Esto significa que, del agua extraída de los acuíferos, prácticamente la mitad es utilizada por los cultivos para producir, y la otra mitad se desperdicia. De acuerdo con esta información, en la agricultura cada año se desperdician 1,447 Mm³, volumen que supera el déficit de agua de los acuíferos.

De los dos párrafos anteriores se desprende una conclusión elemental: si lo que se busca es alcanzar la sustentabilidad en el uso del agua, la gran área de oportunidad la encontramos en hacer un uso eficiente del agua dentro de las parcelas. Una vez que se entienda esto, se estará en condiciones de diseñar una estrategia para una gestión eficiente del agua en el sector agrícola a gran escala, pues con un incremento del 20% en la eficiencia global del riego, podemos alcanzar el equilibrio entre la extracción y la recarga de agua de los acuíferos. De ninguna manera esto significa que no se deba dar importancia a las acciones para ahorrar el agua que usa la población y la industria; simplemente se pone de manifiesto que es imprescindible atender en proporción las causas del uso ineficiente del agua en el campo.

En diversos trabajos realizados en diferentes partes del país, principalmente en Guanajuato, ha quedado de manifiesto que las acciones que mayor impacto han tenido en el uso eficiente del agua en la agricultura, es la instalación de sistemas modernos de riego, la capacitación y asistencia técnica en riego, y la nivelación de tierras.

La capacitación y la asistencia técnica en riego es un servicio que se proporciona a las personas dedicadas a la agricultura de riego a través de agentes de cambio, con el fin de transferir conocimientos,

prácticas y tecnologías que favorezcan un uso eficiente en la aplicación del agua en sus parcelas, incluyendo capacitación en temas de cómo, cuándo y cuánto regar. Este tipo de servicios se ha proporcionado a los productores del estado Guanajuato desde el 2006 hasta el 2024 de manera ininterrumpida en un total de 42,140 hectáreas como una estrategia para mejorar la eficiencia del riego a nivel parcelario, que es donde más agua se desperdicia, y efectivamente ha demostrado su eficacia, pues las eficiencias alcanzadas en la superficie atendida son muy cercanas a la que potencialmente puede alcanzarse con los diferentes tipos de sistemas modernos de riego. De ahí, que este tipo de acciones sean una de las opciones más económicas para el ahorro de agua.

En el presente trabajo se expone la metodología que se ha venido utilizando para el desarrollo de la asistencia técnica en riego, la cual se ha venido mejorando a través de los años, y ha sido complementada con el desarrollo de software especializado, lo que ha permitido a los agentes de cambio que participan en el programa de capacitación y asistencia técnica en riego, puedan realizar su trabajo de manera sencilla y eficaz. Así mismo, se muestran los resultados obtenidos, en lo que destaca las altas eficiencias de riego alcanzadas, reflejadas en grandes ahorros de agua y energía que contribuyen de manera significativa al uso sustentable de estos recursos.

Objetivo

Dar a conocer los resultados obtenidos en el estado de Guanajuato en materia de capacitación y asistencia técnica en riego, así como la metodología de trabajo utilizada que garantiza altas eficiencias en el uso del agua.

Antecedentes

En las dos últimas décadas el estado de Guanajuato ha destacado a nivel nacional por la gran cantidad de recursos y acciones relacionadas con el uso eficiente del agua, destinados al sector agrícola, con lo que se ha logrado tener una mejor infraestructura hidroagrícola que ha permitido incrementar la eficiencia en el manejo del riego. En 2020 se realizó un estudio para determinar el impacto de la tecnificación del riego en el estado y se determinó que aun cuando la tecnificación del riego ha contribuido a un incremento significativo en las eficiencias de aplicación del riego, por sí sola no es suficiente, y pone de manifiesto la necesidad de complementar estas acciones con capacitación y asistencia en riego para alcanzar la eficiencia potencial para la que se diseñan los sistemas de riego (Gobierno del Estado de Guanajuato, 2020).

En 1998 iniciaron los primeros trabajos de capacitación y asistencia técnica en riego en Guanajuato, con la implementación del Programa de Asistencia en Riego, (PAR), que dos años más tarde cambió su nombre a Centro de Estudios y Asistencia en Riego (CEAR). La entonces Secretaría de Desarrollo Agropecuario, perteneciente al gobierno del estado, aportó los recursos para que la Fundación Guanajuato Produce A.C. realizara la parte operativa del programa. Se contrataron agentes de cambio a los que se les dotó de vehículos, equipo topográfico, de cómputo y de comunicación, con el fin de que realizaran de la manera más efectiva su trabajo.

La metodología de trabajo que se implementó en ese entonces, una vez identificados los productores con los que se iba a trabajar, consistía en realizar un levantamiento topográfico de la unidad de riego para definir las características geométricas de cada parcela; se realizaron muestreos y análisis de suelos para determinar sus propiedades con fines de riego; se generó la recomendación de riego mediante el uso del Rigrav y del Sirmod; Una vez generada la receta de riego, ésta se la proporcionó al productor para su implementación, y se le dio seguimiento al menos durante un ciclo agrícola.

Durante ese período se avanzó en la elaboración de estudios técnicos y de proyectos ejecutivos, mismos que de acuerdo con la metodología establecida fueron bien elaborados, sin embargo, se descuidó la parte del acompañamiento al productor en la aplicación del riego en sus parcelas, por lo que la capacitación y la asistencia técnica no tuvo el impacto esperado.

En el 2003 se puso en pausa el programa con el fin realizar una evaluación en campo de los resultados obtenidos, misma que se llevó a cabo durante ese año. Una vez concluido el estudio y revisadas las conclusiones, se decidió realizar un replanteamiento de la estrategia de trabajos que permitiera alcanzar los objetivos de incrementar la eficiencia del riego en las parcelas, proceso que se llevó a cabo durante el ejercicio fiscal de 2004.

En 2006 se dio continuidad a los trabajos de capacitación y asistencia técnica en riego con una nueva metodología, y para su ejecución, la entonces Secretaría de Desarrollo Agropecuario, hoy Secretaría de Desarrollo Agroalimentario y Rural (SDAyR), realizó convenios de participación con instancias operadoras para que a través de ellas se ejercieran los recursos, de acuerdo con las reglas de operación que la propia Secretaría elabora en cada ejercicio fiscal. Para el desarrollo de los trabajos en campo, las instancias operadoras contaron con presupuesto para el pago de honorarios de los agentes de cambio (o extensionistas), coordinadores, renta de oficina para desarrollo de reuniones y trabajos de gabinete, compra de equipo especializado, honorarios para un especialista en informática, capacitación de los propios agentes de cambio y para capacitación las personas productoras participantes en el programa.

En 2010 se desarrollaron herramientas informáticas para facilitar el manejo y el análisis de la información generada, entre las que destaca la creación de dos aplicaciones de escritorio que ayudaron de manera significativa a simplificar y estandarizar los procesos de la asistencia técnica en riego: el MATRI y el RISUR.

A partir de 2014 también se desarrolló el programa de Cultura del Agua en el Campo, que en sus primeros años se realizó en concurrencia con recursos de la Comisión Nacional del Agua y después se dio continuidad solo con recursos estatales. Entre las acciones realizadas con este programa pueden mencionarse la realización de diferentes foros de cultura del agua, cursos de capacitación, desarrollo de materiales didácticos, equipamiento de espacios de cultura del agua, entre otras.

En 2020 se sumó el Fondo de Agua Guanajuato A.C. con recursos del sector privado a las acciones del uso eficiente del agua en el estado, coordinándose con la SDAyR para aplicarlos en algunas tareas de capacitación y asistencia técnica, así como en la nivelación de tierras. Esto adquiere relevancia, pues muestra el interés de la iniciativa privada en la atención del cuidado del agua.

La estrategia para mejorar la eficiencia del riego dentro de las parcelas, que fue mejorando con el paso de los años, se consideró como la más efectiva para alcanzar el objetivo planteado. No obstante, había áreas de oportunidad en las que se empezó a trabajar, entre ellas, en 2021 se trabajó para escalar el MATRI a una aplicación en entorno web, agregándole nuevas funcionalidades entre las que destacaba el seguimiento del riego en tiempo real, para cada una de las parcelas atendidas. El desarrollo del MATRI como una aplicación web estaba considerada como una acción estratégica para mejorar sustancialmente la efectividad de la asistencia técnica en riego, en beneficio de los productores.

La forma de trabajar antes descrita fue modificada en 2022, y a partir de ahí solo se destinó presupuesto para el pago de los honorarios de los agentes de cambio y de un coordinador. Esta nueva forma de trabajar obligó a cancelar el desarrollo y actualización de software especializado (MATRI y RISUR), y retomar el uso de una buena cantidad de formatos y formas de trabajo a base de un manejo de

información fraccionada en numerosos archivos electrónicos. Esta desacertada decisión de modificar las reglas de operación evidentemente impactó de manera negativa en la efectividad del programa.

Durante la vida del programa se han desarrollado diferentes herramientas y productos que han sido de gran utilidad para facilitar la efectividad de los agentes de cambio, así como de los mismos productores. Algunos de estos productos son los siguientes:

- Aplicación de escritorio RISUR para el diseño y evaluación del riego por gravedad. Esta ha sido clave para alcanzar excelentes propuestas en el manejo eficiente del riego por gravedad. No es el objetivo de este documento realizar la descripción y fundamentos de este sistema, sin embargo, puede mencionarse que esta aplicación cuenta con un modelo matemático de simulación del riego por surcos o melgas, que facilita a los agentes de cambio el análisis y el diseño del riego para alcanzar las más altas eficiencias en la aplicación del agua en la parcela. Por su precisión y facilidad de uso, es ampliamente utilizado en el país para realizar diseños y evaluaciones de riego por gravedad.
- Aplicación de escritorio MATRI, la cual se diseñó con el fin de administrar y sistematizar la información que se genera producto de la capacitación y asistencia técnica en riego, en Guanajuato, así como para facilitar el análisis de ésta y reducir los tiempos en la generación de recetas de riego, además de auxiliar a los agentes de cambio y coordinadores en la evaluación de los avances, la valoración de los impactos del proyecto y en las generaciones de sus reportes de trabajo. Posee procedimientos para el análisis y evaluación de los diferentes tipos de riego (gravedad, goteo y aspersión). El RISUR forma parte integral del MATRI. En 2012 el MATRI fue reconocido con el primer lugar del Premio Estatal en la modalidad de “Prácticas exitosas que hayan aportado notorios beneficios a la Administración Pública Estatal”.
- “*Manual de asistencia técnica en riego*”, que es un instructivo que está preparado en un lenguaje sencillo dirigido a productores. El manual contiene información sobre el agua y su entorno, la importancia de regar bien, y distintos criterios para que el productor conozca su parcela, ayudándole a saber cuándo, cuánto y cómo regar.
- “*Manual de Capacitación y Asistencia Técnica en Riego para Asesores Técnicos*” el cual es una guía que proporciona a los agentes de cambio elementos técnicos básicos, que les permiten realizar buenos diseños de riego parcelarios, y describe el procedimiento para implementar, dar seguimiento y validar, junto con la participación de los productores, una propuesta de riego que se refleja en ahorros sustanciales de agua, y por consecuencia, de energía eléctrica.
- “*Conoce tu pozo. Manual práctico para la operación de pozos agrícolas*”. Es una guía para productores usuarios de agua subterránea que les ayuda a conocer lo básico de los componentes del pozo para un correcto y mejor aprovechamiento de éste.
- “*Manual de riego por goteo*”. El manual está dirigido a los productores que cuentan con un sistema de riego por goteo, y contiene información básica sobre el uso eficiente del agua, ventajas del riego por goteo, así como una descripción de cada uno de los componentes del sistema, su operación y recomendaciones para un mejor uso.

En cuanto a la asistencia técnica en otras partes del país, destaca la implementación del programa Riego por Gravedad Tecnificado, RIGRAT, que fue llevado a cabo por la Comisión Nacional del Agua en diferentes estados, en el periodo de 2014 al 2019. Sus principales objetivos fueron: Tecnificar el riego por gravedad en los distritos y unidades de riego del país mediante la aplicación diseñada y controlada de las láminas por aplicar, la nivelación de tierras, y la entrega y cobro por volumen al

usuario, para el ahorro del agua de riego; transferir este esquema tecnológico al usuario-regador mediante la capacitación y asistencia técnica; e Incrementar la productividad del agua de riego y el rendimiento de los cultivos que siembran en los distritos y unidades de riego, que se riegan por métodos de gravedad.

Con el programa RIGRAT, el IMTA coordinó los trabajos en 9,000 hectáreas en cuatro módulos del distrito de riego 063 Guasave, Sinaloa, donde se logró incrementar la eficiencia de aplicación del riego lo que se reflejó en un volumen ahorrado de agua de 1.3 Mm³, (Herrera, et al., 2019). Por su parte, la Universidad Autónoma de Querétaro atendió superficie en los distritos de riego 023 San Juan del Río, 085 La Begoña y 011 Alto Río Lerma en donde la eficiencia en la aplicación del riego pasó del 42 al 85%, con lo que lograron ahorros de agua del orden de 1,500 m³ por hectárea (Chávez y López, 2019).

Metodología

Durante los últimos 17 años en que ha operado el Programa de Capacitación y Asistencia Técnica en Riego en el estado de Guanajuato, hoy Programa de Mejores Usos del Agua en el Campo, se ha establecido una metodología de trabajo que a lo largo del tiempo se ha venido mejorando con el fin de hacer más efectivo el trabajo que se realiza. En la metodología establecida, los agentes de cambio que participan en el programa han aportado sus ideas con base en su experiencia de campo, y esto ha hecho que se tengan procedimientos cuya efectividad ha sido ampliamente probada. No obstante, y dado que los avances tecnológicos han jugado un papel muy importante, constantemente se han venido mejorando, tanto los procedimientos, como el software utilizado en la administración y análisis de la información, con el fin de generar mejores y más eficientes propuestas de riego.

Enseguida se describe la metodología empleada en la capacitación y asistencia en riego utilizada en el estado de Guanajuato. Es importante señalar, no obstante que se hace énfasis en el manejo del riego por gravedad, se tiene procedimientos muy bien definidos para evaluar el riego por goteo y por aspersión que permiten definir el coeficiente de uniformidad de la aplicación del riego, así como las eficiencias de aplicación y requerimiento del riego. Con base en estas evaluaciones, se proponen acciones que redundan en un mejor uso del agua. Con el fin de no hacer un documento extenso, en este artículo no se describen los procedimientos de evaluación de los sistemas de riego por goteo y por aspersión.

Definición de los productores participantes.

En el programa se cuenta con dos tipos de productores participantes: Nuevos y de seguimiento. Dado que el programa de capacitación y asistencia técnica en riego se ha alineado a los ejercicios fiscales, la atención a los productores inicia en enero y concluye en diciembre. La selección de los productores nuevos se define durante el segundo semestre del año previo, y se realiza con base en el interés mostrado por los propios productores u organización de productores ante la Dirección del programa, o bien, los agentes de cambio en sus recorridos de campo detectan a los productores con interés en participar. A estos *productores nuevos* se les atiende durante todo el ejercicio fiscal, y al año siguiente se le atiende como *productores de seguimiento*.

Caracterización de la unidad de riego.

Una vez definida la participación del productor, se determinan las características de la unidad de riego y de cada una de las parcelas que la componen. Entre otras cosas, se caracteriza la fuente de agua, ya sea pozo o canal, la estación o fuente de energía, si es que la hay, y se determina el gasto total del sistema. Se realizan trabajos para obtener el plano de la unidad en el que se especifica la longitud, el ancho y la pendiente de cada parcela, así como la infraestructura hidráulica para la distribución del

agua. También se realiza un muestreo de suelos mediante los métodos establecidos para ello, con el fin de obtener la textura del suelo de cada parcela, la densidad aparente, las constantes de humedad del suelo, así como la conductividad hidráulica a saturación y el potencial de humedad en frente de humedecimiento del suelo. En esta etapa se anota el cultivo establecido en cada parcela, espaciamiento de surcos o melgas y la fecha de siembra.



Figura 1. Medición de las parcelas.



Figura 2. Muestreo de suelos.

Formación de bloques de parcelas.

Para realizar una recomendación de riego eficiente en una parcela, es necesario conocer las características indicadas en el punto anterior. Particularmente, la conductividad hidráulica a saturación (K_s), el potencial de presión en el frente de humedecimiento (hf), y la rugosidad (n), son parámetros del suelo que son difíciles de determinar a partir de mediciones puntuales, por lo que para obtener valores que sean representativos para un tipo de textura de la parcela, es necesario seguir otras estrategias. En este sentido, la simulación del riego a través del uso de modelos matemáticos físicamente fundamentados, como el RISUR, juegan un papel fundamental. Para encontrar un valor representativo de los parámetros ks , hf y n , se realizan pruebas de riego, y se lleva a cabo un proceso de calibración en RISUR, como más adelante se explica.

Para definir los parámetros del suelo que definen el comportamiento de la aplicación del riego en la parcela, se recomienda realizar al menos 1 prueba de riego. Realizar este tipo de procedimiento para cada una de las parcelas que componen una unidad de riego sería una actividad sumamente laboriosa, costosa y poco práctica. Con el fin de simplificar la tarea del diseño para cada una de las parcelas que integran la unidad de riego, se sigue una estrategia de formación de bloques con parcelas afines. Está

estrategia consiste en agrupar parcelas con textura de suelo similar, formando bloques con una superficie de hasta 30 hectáreas cada uno. De esta forma, las pruebas de riego que se realicen para definir los parámetros del suelo pueden realizarse en cualquiera de las parcelas de este bloque, y una vez definidos los parámetros, estos serán representativos de todo el suelo que conforma el bloque.

En promedio, para un bloque de 30 hectáreas ha resultado práctico realizar 4 pruebas de riego. El proceso de formación de bloques consiste en lo siguiente:

- Identificar el tipo de suelo de toda la unidad de riego, dividiendo dicha unidad en partes según la caracterización visual de la textura, estructura y color del suelo.
- Se toman varias muestras de suelo mediante un método válido, en cada una de las partes en que se dividió la unidad de riego.
- Si el porcentaje de arcilla y/o arena entre dos muestras de textura difiere en más de un 5%, se consideran como tipos de suelo diferentes.
- Al conjunto de parcelas que quedan en cada uno de los grupos de texturas definidos, se le denomina “bloque”.

Una de las grandes ventajas de la definición de los bloques, es que la prueba inicial de riego puede realizarse en una parcela, y las pruebas de seguimiento pueden realizarse en parcelas diferentes, siempre cuando pertenezcan al mismo bloque. De esta manera se simplifica el encontrar los parámetros de diseño del suelo para todo el bloque definido.

Seguir el procedimiento anterior permite a los agentes de cambio atender una superficie mayor en la generación de recetas de riego, y potencializar los resultados de la asistencia técnica en riego, alcanzado con ello a un mayor número de productores.

Calibración de parámetros del suelo.

Para determinar los parámetros representativos del suelo para cada bloque de parcelas definidas en el punto anterior (k_s , hf y n), se realiza un proceso de calibración de dichos parámetros que consiste en los siguientes pasos:

- Cuando el productor aplica un riego, y una vez definidas las características físicas de la parcela, la textura del suelo y el gasto disponible de riego, se realiza una prueba de riego que consiste en aforar el agua que entra en cada uno de los surcos o melgas, y medir el avance y la recesión en cada uno los puntos definidos a lo largo de la parcela.
- Con base en los datos obtenidos en la prueba de riego, y mediante el uso del modelo de simulación RISUR, se realiza ajuste en los parámetros k_s y hf del suelo (y si se considera necesario, en la rugosidad n), hasta lograr que el modelo simule el avance y la recesión observada en campo.
- Una vez que el modelo representa con razonable precisión a la prueba de riego realizada, el RISUR nos proporciona indicadores de la calidad del riego como la eficiencia de aplicación del riego, la eficiencia de requerimiento y el coeficiente de uniformidad, para la lámina de riego aplicada.
- Con los valores de k_s , hf y n encontrados, se realiza el diseño para el siguiente riego. Este diseño consiste en encontrar el gasto que debe ingresar en cada surco melga para aplicar la lámina

de riego requerida, de tal forma que los valores para la eficiencia de aplicación del riego, eficiencia de requerimiento y coeficiente de uniformidad, sean máximos.

- La efectividad del diseño debe ser verificada mediante la realización de otra prueba de riego en la misma parcela o en otra diferente que pertenezca al mismo bloque, de tal forma que, al volver a hacer la calibración de los parámetros del suelo, nos permite verificar cómo quedó el agua distribuida dentro de la parcela.

Los valores promedio de los parámetros ks y hf obtenidos mediante las pruebas de diagnóstico y seguimiento realizadas en el bloque, y las demás propiedades físicas del suelo, definen las características del suelo de todo el bloque con fines de diseño de riego.

A la prueba de riego que se realiza cuando el productor aplica un riego en la forma en que él está acostumbrado, se le denomina prueba de **diagnóstico**; cuando la prueba se realiza en un riego producto de un diseño, se le denomina prueba de **seguimiento**. Para cada bloque se recomienda realizar dos o tres pruebas de diagnóstico y dos o tres de seguimiento.

Definición de la línea base y condición final.

Los valores promedio de los indicadores de la calidad del riego (eficiencia de aplicación, eficiencia de requerimiento y coeficiente de uniformidad) obtenidos en las pruebas de diagnóstico, y con la toma de información adicional en campo, se definen las condiciones iniciales o línea base, la cual se complementa con una serie de encuestas realizadas al productor. Entre los indicadores que definen la línea base, se encuentra la lámina total de riego, volumen de agua aplicada por hectárea, costo por metro cúbico de agua, costo del riego por hectárea, productividad del agua (kg/m^3) y el índice de consumo de agua (m^3/kg).

Como parte de la condición final, los valores promedio de los indicadores de la calidad del riego obtenidos en las pruebas de seguimiento, definen el desempeño del riego que se puede alcanzar. Evidentemente, la condición final también está complementada con la medición de los demás indicadores considerados en la condición inicial.

Diseño de riego parcelario para cada parcela.

Con los valores de los parámetros ks y hf definidos mediante el proceso de calibración descrito, y a partir de la definición realizada de las demás propiedades físicas del suelo, se realiza el diseño de riego para cada una de las parcelas que componen el bloque, para un manejo eficiente del agua durante el ciclo agrícola en curso. No es parte del objetivo de este artículo explicar el procedimiento para el diseño de riego parcelario.

La gran ventaja de definir con precisión los parámetros del suelo, es que nos permite rediseñar un riego con alta eficiencia en la aplicación del agua en cualquier parcela del bloque, bajo otras condiciones diferentes, por ejemplo, si se quiere aplicar una lámina de riego diferente, o si se varía el espaciamiento de surcos, o si se cambia el riego de surcos a melgas o viceversa, o si varía el gasto que llega a la parcela. Hoy el uso de la tecnología nos permite generar una receta de riego prácticamente en el momento en que el productor va a aplicar el agua a su parcela.

Seguimiento de la asistencia técnica y capacitación.

La asistencia técnica se refiere al proceso de acompañamiento en campo del agente de cambio al productor para asegurarse que se apliquen las recomendaciones de riego generadas. El éxito de los

resultados depende mucho de este acompañamiento, pues la presencia constante del técnico y la toma de información de los riegos aplicados para evaluar los indicadores que permiten definir la calidad del riego, genera confianza en el productor y facilita la transferencia de tecnología y de conocimientos para alcanzar una buena eficiencia en la aplicación del riego.

Durante al menos dos ciclos agrícolas se da seguimiento a la asistencia técnica en riego en toda la superficie asignada a cada agente de cambio. Durante este tiempo se recaba información sobre el manejo del riego a través de bitácoras de riego y bitácoras de consumo de energía, y si se considera necesario, se realizan pruebas de riego de seguimiento para corroborar el buen desempeño del riego, y en su caso, hacer los ajustes correspondientes.



Figura 3. Realización de una prueba de riego en diferentes tipos de sistemas.

La asistencia técnica se complementa con pláticas o cursos de capacitación en temas y conceptos básicos que el productor debe saber, entre los que destaca; El agua y su entorno; conocer la importancia de regar bien; conocer la unidad de riego; técnicas de muestreo de suelos; cuánta agua (lámina de riego) necesita el cultivo; cada cuándo regar; y cómo aplicar el riego, entre otros temas.

Informe de resultados al productor.

Una vez que se realiza todo el proceso explicado en los puntos anteriores, es necesario elaborar un informe para entregarse al productor, y con ello resaltar la importancia de los trabajos realizados. Dicho informe contiene una descripción de la unidad de riego, características del suelo de los bloques que conforman la unidad, descripción de los trabajos realizados, diagnóstico del riego, situación inicial y situación final del riego, y finalmente, un resumen de los logros alcanzados con la capacitación y asistencia técnica en riego proporcionada.

La atención al productor concluye con la entrega de este informe, y se le da seguimiento por parte del técnico durante el siguiente año, con el fin de asegurar que se sigan aplicando las recomendaciones que le fueron proporcionadas y de esta manera asegurar que los resultados en el ahorro del agua se sigan dando.

Resultados

En esta sección se muestran los principales resultados obtenidos con los trabajos realizados en materia de capacitación y asistencia técnica en riego durante el período de 2006 a 2023 en el estado de Guanajuato, entre los que se observan los principales indicadores de la efectividad del riego antes y después de las acciones realizadas.

Durante el periodo señalado se atendió una superficie de 42,140 hectáreas de riego, prácticamente toda con agua de origen subterráneo, es decir, unidades de riego con agua extraída del acuífero con equipos de bombeo en pozos profundos. Así mismo, se realizaron más de 1,900 muestreos de suelo y

más de 5,100 evaluaciones de riego en campo (pruebas de riego). La inversión realizada fue en su totalidad aportación del gobierno del estado, excepto en el ejercicio fiscal de 2010 y 2011, donde hubo concurrencia de recurso mediante el programa de Alianza para el Campo, en el que el gobierno federal, a través de SAGARPA hizo una aportación. En total, el recurso invertido por el gobierno del estado de Guanajuato fue por la cantidad de 74.4 millones de pesos, y por el gobierno federal la cantidad de 4.7 millones.

Más allá del análisis que enseguida se muestra, el principal objetivo de la capacitación y asistencia técnica en riego es el ahorro del agua. En este sentido, como principal resultado de las acciones realizadas, se ha logrado un volumen de ahorro anual estimado que supera los 63 millones de metros cúbicos al año. Este volumen de agua es equivalente al que anualmente utilizan los habitantes de los municipios de Celaya, Salamanca y Silao juntos.

Eficiencia de aplicación del riego.

Uno de los indicadores por excelencia para definir la calidad del riego, es la eficiencia de aplicación del riego, y ésta se define como el volumen de agua que queda en la zona de raíces a disposición de los cultivos, con relación al volumen de agua que ingresa a la parcela. Este indicador se determinó en campo a través de las pruebas de riego realizadas directamente en las parcelas de los productores, y analizadas con apoyo del MATRI y del RISUR. En la Cuadro 1 y Figura 4 se muestran las eficiencias de aplicación promedio obtenidas, agrupadas por tipo de sistema de riego, antes y después de la capacitación y asistencia técnica.

Normalmente se tiene la idea de que, al tecnificar el riego con sistemas de riego por goteo y aspersión, en automático la eficiencia de aplicación sube a niveles superiores al 90%, no obstante, en la práctica la eficiencia de aplicación en ese tipo de sistemas no es como se esperaría observar en la condición inicial, tal y como se aprecia en la Figura 4 y Cuadro 1; la razón observada es básicamente por la falta de capacitación al pasar de sistemas básicos a otros de mayor tecnología.

Cuadro 1. Eficiencia de aplicación del riego, por tipo de sistema de riego.

Etiquetas de fila	Eficiencia de aplicación inicial	Eficiencia de aplicación final	Incremento en la eficiencia del riego
Aspersión	78.28%	86.53%	7.77%
Goteo	75.19%	92.10%	16.32%
Gravedad	61.58%	85.42%	20.95%
Promedio general:	66.76%	87.78%	19.12%

Del conjunto de valores observados, tal y como se aprecia en el diagrama de caja de la Figura 5, se ven valores que caen fuera del rango y pudieran considerarse como atípicos, sin embargo, son datos que efectivamente fueron observados en campo; en algunos casos, en sistemas de riego por goteo se aplican láminas de riego similares a las aplicadas en riego por gravedad.

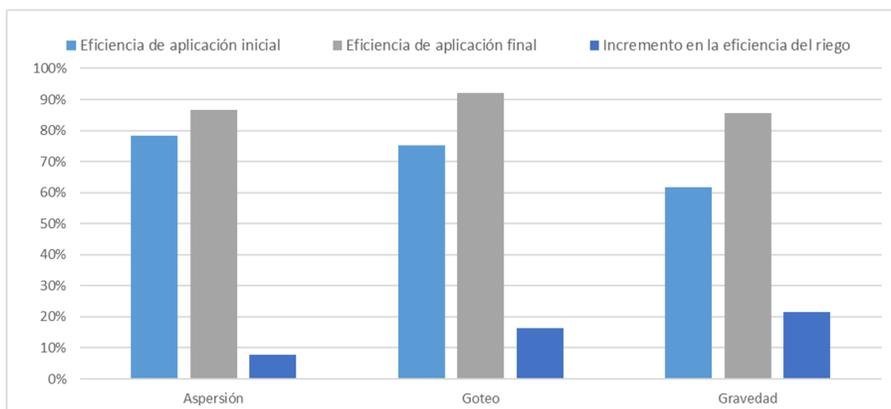


Figura 4. Eficiencia de aplicación del riego, por tipo de sistema de riego.

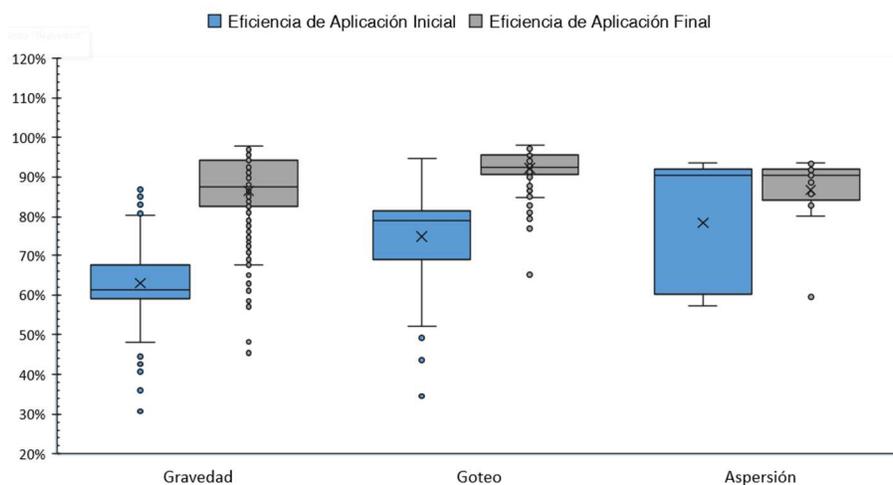


Figura 5. Diagrama de caja de la Eficiencia de aplicación del riego, por tipo de sistema.

En las Figuras 6 y 7 se muestran los datos de eficiencias de aplicación promedio observadas en los principales cultivos en los que se trabajó en riego por goteo y por gravedad.

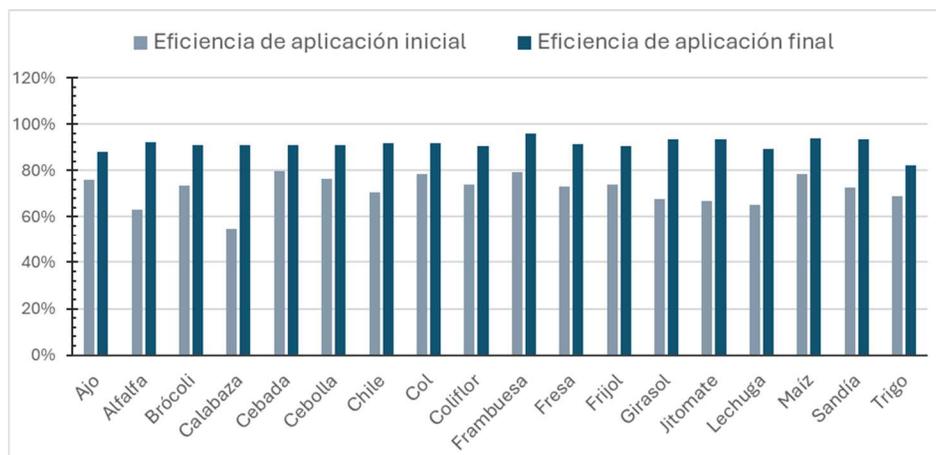


Figura 6. Eficiencia de aplicación observada en riego por goteo de los principales cultivos.

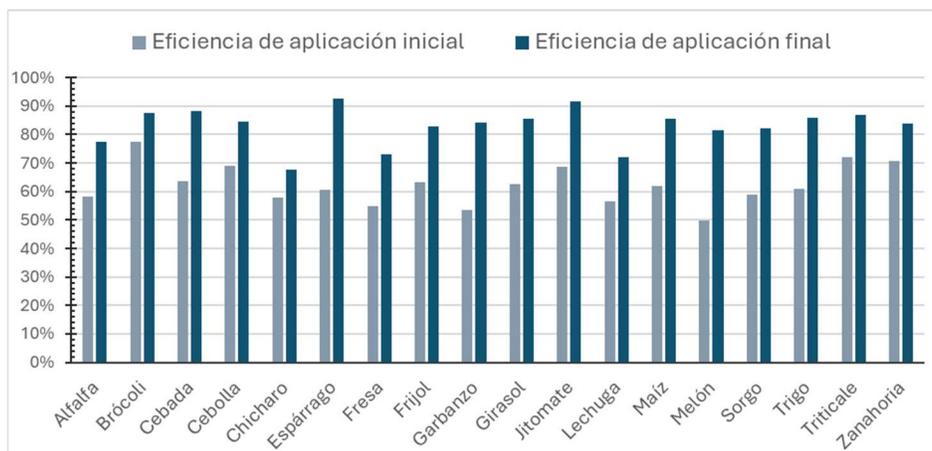


Figura 7. Eficiencia de aplicación observada en riego por gravedad de los principales cultivos.

Volumen de riego.

El volumen de agua aplicado a las parcelas debería ser el que los cultivos demandan para manifestar su máximo potencial productivo, sin embargo, normalmente se aplica más agua que la requerida por los cultivos. En la Figura 8 se muestra un diagrama de caja del volumen aplicado a los principales cultivos bajo condiciones de riego por goteo, y en la Figura 9 el volumen aplicado promedio antes y después de la asistencia técnica en riego, así como el volumen ahorrado.

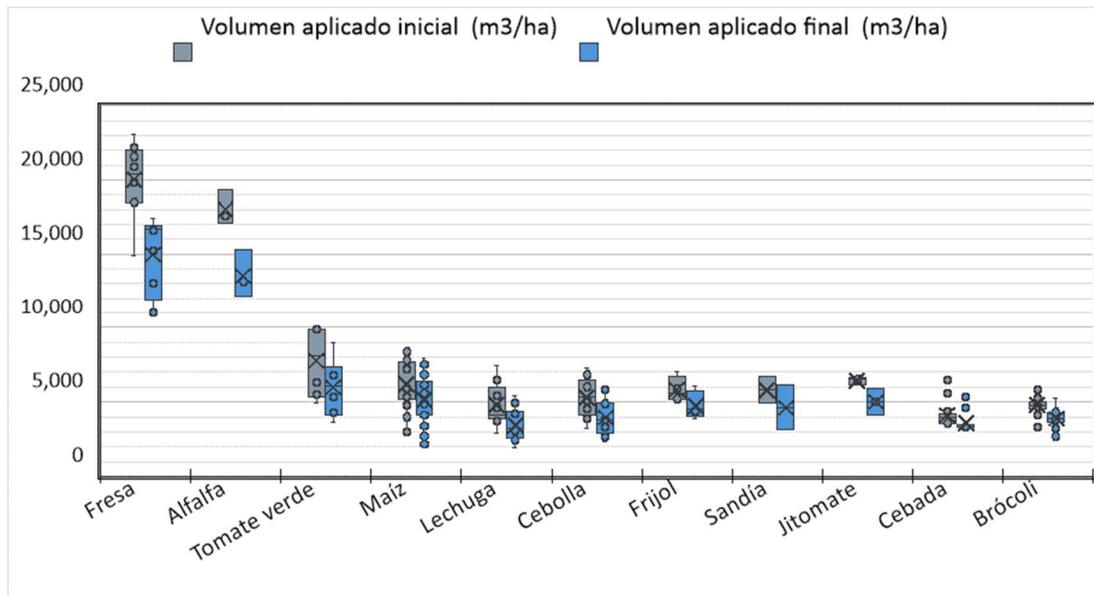


Figura 8. Volumen de agua aplicado por hectárea en cultivos bajo condiciones de riego por goteo.

En las Figuras 10 y 11 se muestran condiciones similares para los cultivos más comunes sembrados bajo condiciones de riego por gravedad.

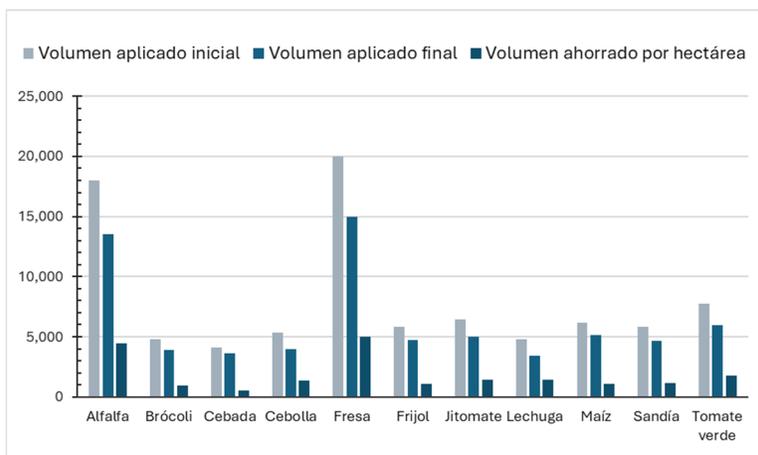


Figura 9. Volumen de agua aplicado y volumen ahorrado promedio por hectárea, en cultivos bajo condiciones de riego por goteo.

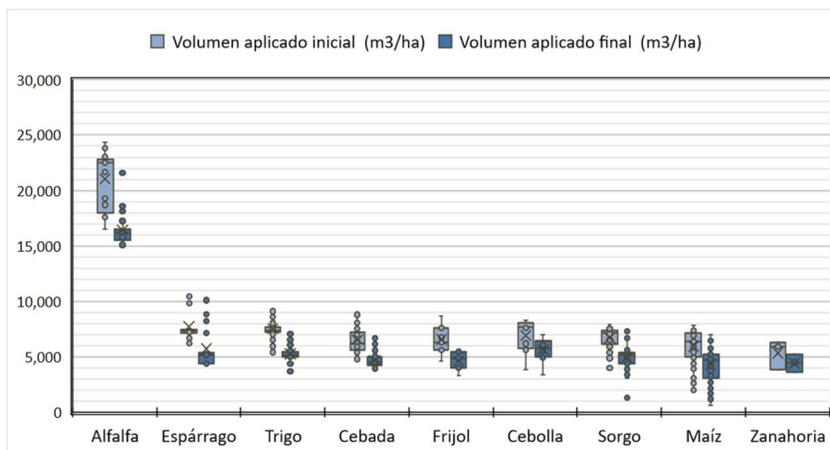


Figura 10. Volumen de agua aplicado por hectárea en cultivos bajo condiciones de riego por gravedad.

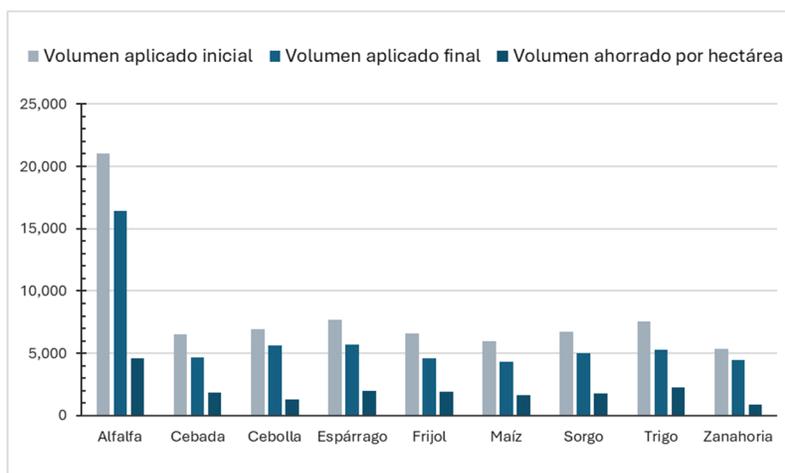


Figura 11. Volumen de agua aplicado y volumen ahorrado promedio por hectárea, en cultivos bajo condiciones de riego por gravedad.

Volumen ahorrado por hectárea.

El volumen de agua aplicado por hectárea antes y después de la capacitación y asistencia técnica, y por consecuencia el volumen de agua ahorrado, refleja de la manera más clara los beneficios de la capacitación y asistencia técnica en riego.

Como se observa en la Cuadro 2 y Figura 12, donde se muestra el volumen aplicado por hectárea, agrupado por ciclo agrícola, antes y después de la capacitación y asistencia técnica, los ahorros de agua pueden superar los 3,500 m³/ha en cultivos perennes, y de igual manera, la suma de lo ahorrado en los ciclos otoño-invierno y primavera-verano, supera los 3,100 m³/ha anualmente.

Cuadro 2. Volumen aplicado por hectárea, por ciclo agrícola y por tipo de sistema de riego.

Ciclo agrícola	Volumen aplicado inicial	Volumen aplicado final	Volumen ahorrado
O-I	6,357.73	4,634.10	1,723.63
Perenne	15,624.56	12,033.31	3,591.25
P-V	6,075.03	4,609.46	1,465.57
Promedio general:	7,155.88	5,380.69	1,775.19

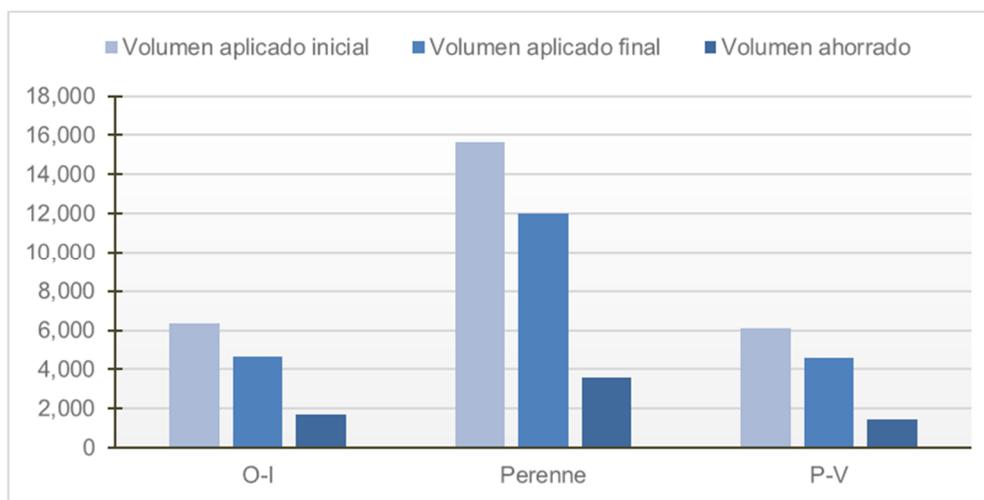


Figura 12. Volumen de agua aplicado y volumen ahorrado promedio por hectárea, por ciclo agrícola y por tipo de sistema de riego.

En la Figura 13 se observa la variabilidad en cuanto al volumen ahorrado por hectárea, por sistema de riego. En el caso del riego por gravedad y aspersión, el promedio y la mediana prácticamente coinciden; en el riego goteo la mediana, que se considera una medida de tendencia central más representativa cuando hay mucha variabilidad en los datos, está por abajo del promedio observado, no obstante, supera los 1,000 m³ por hectárea por ciclo agrícola.

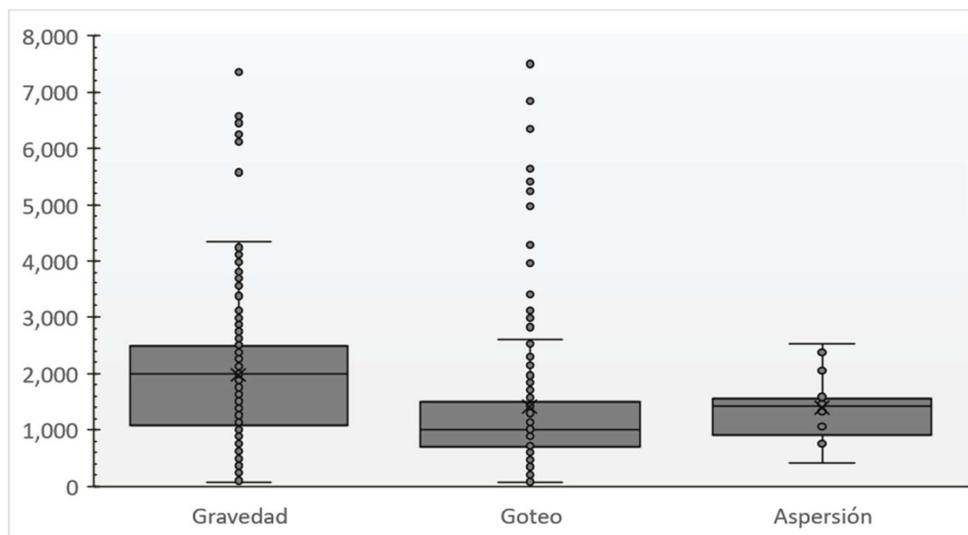


Figura 13. Volumen de agua ahorrado promedio por hectárea por tipo de sistema de riego.

Ahorro monetario por concepto de consumo de energía.

Dado que casi la totalidad de la superficie atendida fue en riego con agua de origen subterránea, los costos de energía en la extracción del agua juegan un papel fundamental por dos razones importantes: Guanajuato cuenta con más de 13,000 pozos de uso agrícola, que en conjunto, consumen una gran cantidad de energía eléctrica, y por otro lado, el costo del consumo de energía en cada unidad de producción representa un parte importante en los costos de producción, aun con los subsidios en el costo de los kilowatts utilizados. En la Cuadro 3 y en la Figura 14 se observa el costo de la energía consumida promedio por hectárea, agrupada por ciclo agrícola.

Cuadro 3. Costo de la energía eléctrica consumida y ahorrada por hectárea, por ciclo agrícola y por tipo de sistema de riego.

Ciclo agrícola	Costo de la energía consumida inicial	Costo de la energía consumida final	Ahorro en el costo de la energía consumida
O-I	2,524.83	1,816.20	708.62
Perenne	7,784.24	6,148.15	1,636.08
P-V	2,774.42	2,001.55	772.86
Promedio general:	3,200.68	2,361.88	838.80

Como se observa en esa información, el costo ahorrado por concepto de consumo de energía eléctrica durante el año es mayor de \$1,500 por hectárea, considerando la suma del ahorro de los ciclos agrícolas otoño-inverno y primavera-verano, o cultivos perennes. Es de hacer notar que el costo de energía se obtuvo considerando un costo de \$0.36 en los kilowatts hora consumidos de noche y \$0.72 en los kilowatts hora consumidos de día, subsidios considerados.

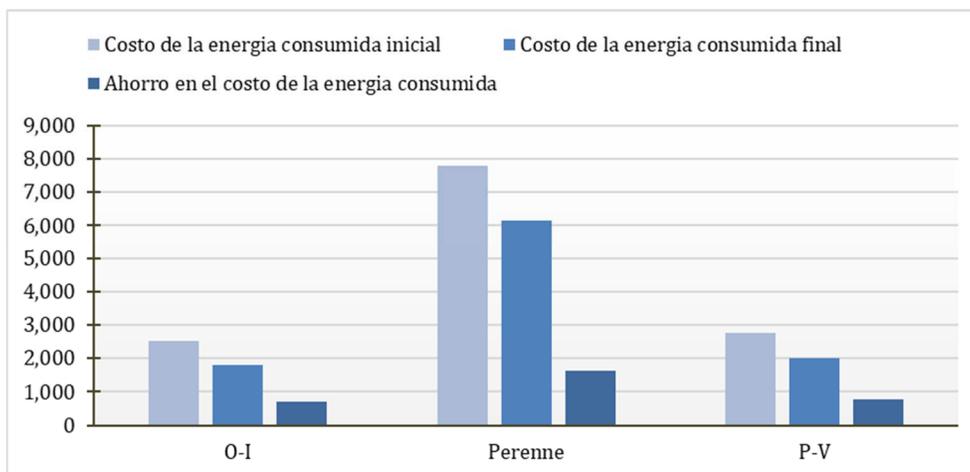


Figura 14. Costo de la energía eléctrica consumida y ahorrada por hectárea, por ciclo agrícola.

Conclusiones

- La capacitación y asistencia técnica en riego llevada a cabo de manera continua y sistemática durante al menos dos ciclos agrícolas, proporciona los conocimientos y la experiencia necesaria a las personas participantes para alcanzar una eficiencia en la aplicación del riego, en promedio, de 85.4% en riego por gravedad, 86.5% en riego por aspersión y 92.1% en riego por goteo, lo que permite ahorros promedio de agua de 1,718 m³/ha en el ciclo agrícola de otoño-invierno, 1,467 m³/ha en el ciclo primavera verano y 3,546 m³/ha en cultivos perennes. Esto permite a los productores lograr ahorros por más de \$1,500.00 por hectárea al año, en el consumo de la energía eléctrica utilizada en el bombeo del agua.
- Al considerar la inversión total en la capacitación y asistencia técnica en riego en el estado de Guanajuato durante los últimos 17 años, por la cantidad de \$71,216,569.95, y considerando de manera conservadora un ahorro de agua de 1,500 m³ por hectárea, se tiene un potencial volumen ahorrado de agua por 63.2 millones de metros cúbico al año, equivalente al agua utilizada por los habitantes de los municipios de Celaya, Salamanca y Silao juntos.
- La capacitación y asistencia técnica en riego es la estrategia más económica para hacer eficiente el uso del agua en el campo. De acuerdo con los trabajos realizados en los últimos 6 años en Guanajuato, el costo por cada metro cúbico de agua ahorrada es de \$1.37. En contraste, la tecnificación del riego con agua de origen subterráneo en el estado, por cada metro cúbico ahorrado se realiza una inversión de \$20.28, durante el mismo periodo.
- La tecnificación con sistemas de riego por aspersión y goteo es una excelente estrategia para hacer eficiente el uso del agua, sin embargo, ha quedado demostrado que se requiere complementar con capacitación y asistencia técnica en riego durante al menos un año, para que esos sistemas manifiesten su máximo potencial en el ahorro de agua y de energía eléctrica, así como en el rendimiento obtenido en los cultivos.
- En virtud de que no existen suficientes agentes de cambio con especialidad en irrigación para cubrir la demanda, debe considerarse la implementación de cursos de capacitación a profesionistas con especialidades afines, y de ellos seleccionar a los que mejores capacidades demuestren. De igual manera, y dada la urgente necesidad de manejar de manera sustentable el agua, la capacitación

Gobierno del Estado de Guanajuato, Sabiduría Rural S.C., 2020. Evaluación de impactos de la tecnificación del riego en Guanajuato, 2021. Celaya, Guanajuato.

Herrera P.J.C, P. Pacheco H., J. Castillo G., B. Espinoza Q., A. Alatorre M. y E.C. Gastelum S. 2019. La experiencia del RIGRAT en el Distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa. V Congreso Nacional de Riego y Drenaje. Colegio Mexicano de Ingenieros en Irrigación. Puebla, Puebla.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2007. Capítulo 1. Tecnificación del riego. De Manual para diseño de zonas de riego pequeñas. Editores Benjamín de León y Braulio Robles (pp. 1-1 a 1-171), Jiutepec, Morelos.

L. Rendón., H. Saucedo., Fuentes C., 2012. Capítulo 7. Diseño de Riego por Gravedad. En Riego por Gravedad. Editores Carlos Fuentes y Luis Rendón (pp. 321-358). Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, Qro.

Magaña S. G., 2001. La Tecnificación del Riego en el Estado de Guanajuato. Memorias del XI Congreso Nacional de Irrigación. Guanajuato, Guanajuato.

Muñoz, B., 1998. El modelo de la onda cinemática aplicado al diseño de sistemas de riego por surcos, continuo y por pulsos. Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo. De México.

Secretaría de Desarrollo Agroalimentario y Rural. 2024. Base de datos del Programa de Mejores Usos del Agua en el Campo. Celaya, Guanajuato.