



SEMARNAT
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES



IMTA
INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA



ASOCIACION DE USUARIOS PRODUCTORES AGRICOLAS
DE LA UNIDAD DE RIEGO SANTIAGO MARGEN
DERECHO DE DEDITO, DEREGON: 438DO, DENAY, AC



COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

SUBDIRECCIÓN GENERAL DE INFRAESTRUCTURA HIDROAGRÍCOLA

DIRECCIÓN LOCAL NAYARIT



INFORME FINAL

PROYECTO RD1812.3

SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DEL PROYECTO DE RIEGO POR GRAVEDAD
TECNIFICADO EN 6,000 HECTÁREAS DEL DISTRITO DE RIEGO 043, ESTADO DE
NAYARIT

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
COORDINACIÓN DE RIEGO Y DRENAJE
SUBCOORDINACIÓN DE CONTAMINACIÓN Y DRENAJE AGRÍCOLA

JIUTEPEC, MORELOS; ABRIL DE 2019



SEMARNAT
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES



IMTA
INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA



ASOCIACION DE USUARIOS PRODUCTORES AGRICOLAS
DE LA UNIDAD DE RIEGO SANTIAGO MARGEN
DERECHA DEDTO. DEREGON. 43BDO. DENAY. AC



DIRECTORIO

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

ING. SALVADOR AMARAL LÓPEZ
DIRECTOR LOCAL CONAGUA NAYARIT

ING. JESÚS ENRIQUE VÁZQUEZ LIZÁRRAGA
ING. EN JEFE DEL DR 043 ESTADO DE NAYARIT

ASOCIACIÓN DE USUARIOS DE LA UNIDAD DE RIEGO MARGEN DERECHA DEL DISTRITO DE RIEGO NO. 043 ESTADO DE NAYARIT A.C.

C. LUIS DELGADO ELIZONDO
PRESIDENTE

ING. ISRAEL GARCÍA CHAVARÍN
GERENTE TÉCNICO

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

DR. ADRIÁN PEDROZO ACUÑA
DIRECTOR GENERAL DEL IMTA

DR. CARLOS FUENTES RUIZ
ENCARGADO DE LA COORDINACIÓN DE RIEGO Y DRENAJE



SEMARNAT
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES



IMTA
INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA



ASOCIACION DE USUARIOS PRODUCTORES AGRICOLAS
DE LA UNIDAD DE REGACION SANTIAGO MARGEN
DERECHO DE DEDITO, DERECHO N. 438 DO. DENAYAC



AUTORES

JOSÉ ANTONIO QUEVEDO TIZNADO
CARLOS FUENTES RUIZ



CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. SELECCIÓN Y CAPACITACIÓN DE RESPONSABLES TÉCNICOS	3
2. ASESORÍA EN LA SELECCIÓN DE PARCELAS E INTEGRACIÓN DE EXPEDIENTES	4
2.1 SELECCIÓN DE PARCELAS	4
2.2 INTEGRACIÓN DE EXPEDIENTES	6
3. DIFUSIÓN Y PROMOCIÓN DEL PROYECTO	8
4. ASESORÍA PARA LA ELABORACIÓN DE PROYECTOS DE NIVELACIÓN DE TIERRAS	10
4.1 METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE PROYECTOS DE NIVELACIÓN	10
4.2 PROYECTOS DE NIVELACIÓN DE TIERRAS ELABORADOS DURANTE EL CICLO 2018-2019	15
5. ASESORÍA PARA EL DISEÑO Y EVALUACIÓN DEL RIEGO	26
6. ASESORÍA PARA EL SEGUIMIENTO DEL RIEGO EN TIEMPO REAL	28
6.1 ADQUISICIÓN DE DATOS METEOROLÓGICOS	28
6.2 SEGUIMIENTO DE RIEGO EN CULTIVOS	36
7. ASESORÍA PARA LA MEDICIÓN Y EL COBRO VOLUMÉTRICO DEL AGUA DE RIEGO A NIVEL PARCELARIO	38
REFERENCIAS	42
ANEXOS	43



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Superficie Total del Módulo de Riego II Margen Izquierda del Río Santiago.	4
Figura 2.	Superficie Total del Módulo de Riego III Margen Derecha del Río Santiago.	5
Figura 3.	Superficie total incorporada al RIGRAT en los Módulos II (en azul) y III (en rojo). En la Margen Izquierda la superficie RIGRAT representa sólo el 13% mientras que en la Margen Derecha corresponde al 21%.	5
Figura 4.	Documentación para el Expediente Técnico	7
Figura 5.	Organización del Expediente Técnico en el Anexo Digital	7
Figura 6.	Difusión del programa RIGRAT con productores del Módulo III, Margen Derecha del Río Santiago.	8
Figura 7.	Difusión del programa RIGRAT con productores del Módulo III, en el Ejido Gavilán Chico.	8
Figura 8.	Difusión del programa RIGRAT con productores del Módulo III, en el Ejido Capomal.	9
Figura 9.	Parcela rastreada, previo al levantamiento topográfico.	13
Figura 10.	GPS diferencial con tecnología RTK de la marca SOKIA, modelo GRX2.	13
Figura 11.	Recorrido por la parcela para la recolección de puntos topográficos del terreno.	14
Figura 12.	Procesamiento de la información topográfica.	14
Figura 13.	Diseño de proyectos de nivelación con el programa SINIVET.	15
Figura 14.	Parcelas en las que se ejecutaron trabajos de nivelación de tierras, de acuerdo a proyecto, en la Margen Izquierda , Módulo II.	23
Figura 15.	Parcelas en las que se ejecutaron trabajos de nivelación de tierras, de acuerdo a proyecto, en la Margen Derecha , Módulo III.	23
Figura 16.	Planos topográfico y de supervisión de los proyectos de nivelación de tierras.	24
Figura 17.	Plano con el diseño de trazo de riego en las parcelas con cuenta 20376-0 y 20377-0 ubicadas en Santiago Ixcuintla , Módulo III Margen Derecha.	27
Figura 18.	Localización de la red de estaciones meteorológicas instaladas en el área de influencia del Módulo II, Margen Izquierda.	29



Figura 19. Colecta de datos registrados en las estaciones meteorológicas en el Módulo II, MIRS.	30
Figura 20. Pantalla inicial del software <i>Weatherlink</i> ® 6.0.5.	31
Figura 21. Pantalla principal de la página de <i>Weatherlink.com</i> .	31
Figura 22. Velocidad del viento en el día 29 de diciembre en la estación “EL Solito”.	32
Figura 23. Registro de las variables climatológicas el día 29 de diciembre de 2018 en la estación “El Solito”.	32
Figura 24. Radiación solar en el día 6 de febrero de 2019 en la estación “Guadalupe Victoria”.	33
Figura 25. Registro de las variables climatológicas el día 7 de febrero de 2019 en la estación “Guadalupe Victoria”.	33
Figura 26. Evapotranspiración en el día 9 de febrero de 2019 en la estación “Sauta”.	34
Figura 27. Registro de las variables climatológicas el día 10 de febrero de 2019 en la estación “Sauta”.	34
Figura 28. Registro de Humedad en el día 10 de febrero de 2019 en la estación “Valle Lerma”.	35
Figura 29. Registro de las variables climatológicas el día 12 de febrero de 2019 en la estación “Valle Lerma”.	35
Figura 30. Capacitación a canaleros del Módulo II, Margen Izquierda.	38
Figura 31. Capacitación a canaleros del Módulo III, Margen Derecha.	39
Figura 32. Molinete digital utilizado para la medición del flujo de agua de riego a nivel parcelario.	40



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Resumen de Superficie de los Módulos II y III.	6
Tabla 2.	Información de parcelas de usuarios en las que se elaboraron proyectos de nivelación durante el ciclo 2018-2019 en el Módulo II, Margen Izquierda.	15
Tabla 3.	Información de parcelas de usuarios en las que se elaboraron proyectos de nivelación durante el ciclo 2018-2019 en el Módulo III, Margen Derecha.	18
Tabla 4.	Información de parcelas de usuarios en las que se ejecutaron trabajos de nivelación durante el ciclo 2018-2019 en el Módulo II, Margen Izquierda.	20
Tabla 5.	Información de parcelas de usuarios en las que se ejecutaron trabajos de nivelación durante el ciclo 2018-2019 en el Módulo III, Margen Derecha.	21
Tabla 6.	Listado de proyectos de trazo de riego en el Módulo III, MDRS.	26
Tabla 7.	Listado de proyectos de trazo de Riego en el Módulo III, MDRS.	29
Tabla 8.	Listado de parcelas de arroz en las que se efectuó el seguimiento del riego en el Módulo III, MDRS.	36



INTRODUCCIÓN

La Componente de Riego por Gravedad Tecnificado, RIGRAT (CONAGUA, 2018), del Subprograma de Rehabilitación, Modernización, Tecnificación y Equipamiento de Distritos de Riego, del Programa de Apoyo a la Infraestructura Hidroagrícola de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), tiene como objetivo tecnificar el riego por gravedad en los distritos de riego (DR) mediante la asistencia técnica y capacitación a usuarios y personal técnico de las Asociaciones Civiles de Usuarios (ACU), para incrementar la eficiencia del uso del agua a nivel parcelario. El RIGRAT comprende la asistencia técnica y capacitación, diseño y trazo del riego por gravedad, nivelación de tierras, medición, entrega y cobro del agua por volumen a los usuarios, pronóstico del riego en tiempo real, seguimiento y evaluación del riego.

El proyecto RIGRAT parte de las consideraciones siguientes: el riego por gravedad impera en los distritos de riego, la eficiencia de aplicación en las parcelas es muy baja y diversos trabajos de investigación (Fuentes y Rendón, 2012) han demostrado que con herramientas de modelación (Hernández-Saucedo *et al.*, 2015) y metodologías de caracterización hidrodinámica de suelos, un diseño adecuado del riego por gravedad permite alcanzar altas eficiencias de riego.

El proyecto está dirigido a los usuarios a través de sus asociaciones constituidas en los distritos de riego, que soliciten los apoyos y cumplan los requisitos generales, específicos y criterios de elegibilidad. Estos apoyos consisten en:

Asistencia técnica en la implantación, seguimiento y evaluación. Consiste en la contratación del personal técnico por parte de la ACU o SRL (Sociedades de Responsabilidad Limitada), bajo el esquema de contrato de prestación de servicios profesionales, previendo que un responsable técnico (RT) podrá otorgar asistencia técnica en la implantación, seguimiento y evaluación de orden de 1,000 hectáreas ($\pm 20\%$); y que cada supervisor técnico (ST) tendrá bajo su responsabilidad del orden de 10 RT ($\pm 20\%$).

Coordinación de la implantación, seguimiento y evaluación. Para coordinar la implantación, seguimiento y evaluación; integrar la información del avance y evaluación del impacto del RIGRAT; y consolidar y fortalecer las acciones de capacitación y asistencia técnica a los RT y ST, con recursos de esta componente; así como apoyar la integración de los expedientes y convenios o contratos que se requieran acorde al presente manual y reglas de operación vigentes, se podrá contratar a instituciones de educación o de investigación afines al sector.

Equipamiento. Con un esquema de financiamiento 75% - 25% (Usuario - Federal)

Nivelación de tierras agrícolas. En el que el usuario invierte el 50% en casos de hasta 500 m³/ha de corte; de ser mayor la superficie, el resto del recurso es aportado por la federación.

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), como institución coordinadora en el Distrito de Riego 043 Estado de Nayarit, desarrolló durante el año 2014 las actividades encaminadas a la implantación del programa en 2,000 hectáreas en el módulo de riego III Margen Derecha del Río Santiago del Distrito de Riego (DR) 043 Estado de Nayarit; la



evaluación y el seguimiento de las mismas continuó durante los ciclos agrícolas 2015-2016 y 2016-2017. En el ciclo 2017-2018 se incorporaron 2,000 hectáreas adicionales en el módulo II Margen Izquierda del Río Santiago; mientras que al inicio del ciclo 2018-2019 se agregaron otras 2,000 ha al RIGRAT, 1000 ha en cada módulo, con lo que actualmente se tienen 6,000 ha implantadas en el RIGRAT en el DR 043.

El informe de este proyecto, denominado “**Seguimiento y Evaluación del proyecto de riego por gravedad tecnificado en 6,000 hectáreas del Distrito de Riego 043, Estado de Nayarit**”, expone los principales resultados de las actividades de seguimiento y evaluación del RIGRAT en el ciclo 2018-2019, que comprende el periodo del 01 de Abril de 2018 al 31 de Marzo de 2019.

Además del presente Informe, debido a la gran cantidad de información generada durante el desarrollo del proyecto, se integró un **ANEXO DIGITAL** con los archivos digitales producto de la ejecución de las diferentes acciones del programa RIGRAT. Dicha información se sistematizó y ordenó con el fin de que pueda ser consultada fácilmente por el personal de los Módulos.

Las actividades de seguimiento y evaluación realizadas en el marco de este informe y que se detallan a continuación son:

- 1.- Selección y capacitación de Responsables Técnicos
- 2.- Asesoría en la selección de parcelas e integración de expedientes
- 3.- Difusión y promoción del proyecto
- 4.- Asesoría para la elaboración de proyectos de nivelación de tierras
- 5.- Asesoría para el diseño y evaluación del riego
- 6.- Asesoría para el seguimiento del riego en tiempo real
- 7.- Asesoría para la medición y el cobro volumétrico del agua de riego a nivel parcelario



1. SELECCIÓN Y CAPACITACIÓN DE RESPONSABLES TÉCNICOS

Para la selección de dos responsables técnicos (RT) que se encargarían de atender las 2000 ha incorporadas en este ciclo 2018-2019, se evaluaron diferentes perfiles que cumplieran los requisitos siguientes:

- a) ser ingeniero en irrigación, agrónomo, civil, hidráulico, agrohidráulico o licenciatura afín.
- b) tener conocimientos de topografía, riego e hidráulica.
- c) tener conocimientos para el manejo de software de topografía, nivelación de tierras y riego.
- d) contar con vehículo propio.
- e) dedicación exclusiva y de tiempo completo al proyecto.

En cuanto a las funciones de los RT, se informó a los diferentes interesados que sus responsabilidades en el proyecto consistían en:

- a) promover el proyecto entre las asociaciones civiles de usuarios, concertar y formalizar su participación y aportación conforme a las reglas de operación.
- b) seleccionar las parcelas a incluir en el proyecto considerando los requisitos y condiciones de elegibilidad.
- c) desarrollar los trabajos de campo para obtener la información necesaria, elaborar el proyecto y supervisar los trabajos de nivelación de tierras.
- d) llevar a cabo el cálculo del riego en tiempo real en función de las características del suelo, clima y cultivos.
- e) diseñar el trazo del sentido de riego en las parcelas.
- f) medir la cantidad de agua entregada a las parcelas.
- g) llevar el registro del proceso de producción de los cultivos.
- h) entregar informes semanales de los avances del proyecto.
- i) acudir a las reuniones conforme avance el proyecto.

En el **Anexo 1** se incluye el *curriculum vitae* de los responsables técnicos seleccionados que se incorporaron para atender la operación del RIGRAT en el DR 043 durante el ciclo 2018-2019.

2. ASESORÍA EN LA SELECCIÓN DE PARCELAS E INTEGRACIÓN DE EXPEDIENTES

2.1 Selección de Parcelas

En este ciclo 2018-2019 el total de la superficie del RIGRAT se amplió a 6,000 ha. Es decir, se aumentó en 2,000 ha la superficie atendida, adicional a las 4,000 ha que se incorporaron entre los años 2014 y mediados del 2018.

La superficie total del Módulo II consta de 23,721 ha (Figura 1), siendo el área RIGRAT 2,999.26 ha, lo que equivale aproximadamente al 13% de la superficie del Módulo. Esta última está conformada por 474 parcelas que pertenecen a 386 usuarios.

Mientras que en la Margen Derecha, Módulo III (Figura 2), la superficie del módulo comprende 14,309 ha de las cuales el área RIGRAT es de poco más de 3,000 ha, que corresponden a 468 parcelas pertenecientes a 400 usuarios (Figura 3). En la Tabla 1 se muestra un resumen de las superficies.

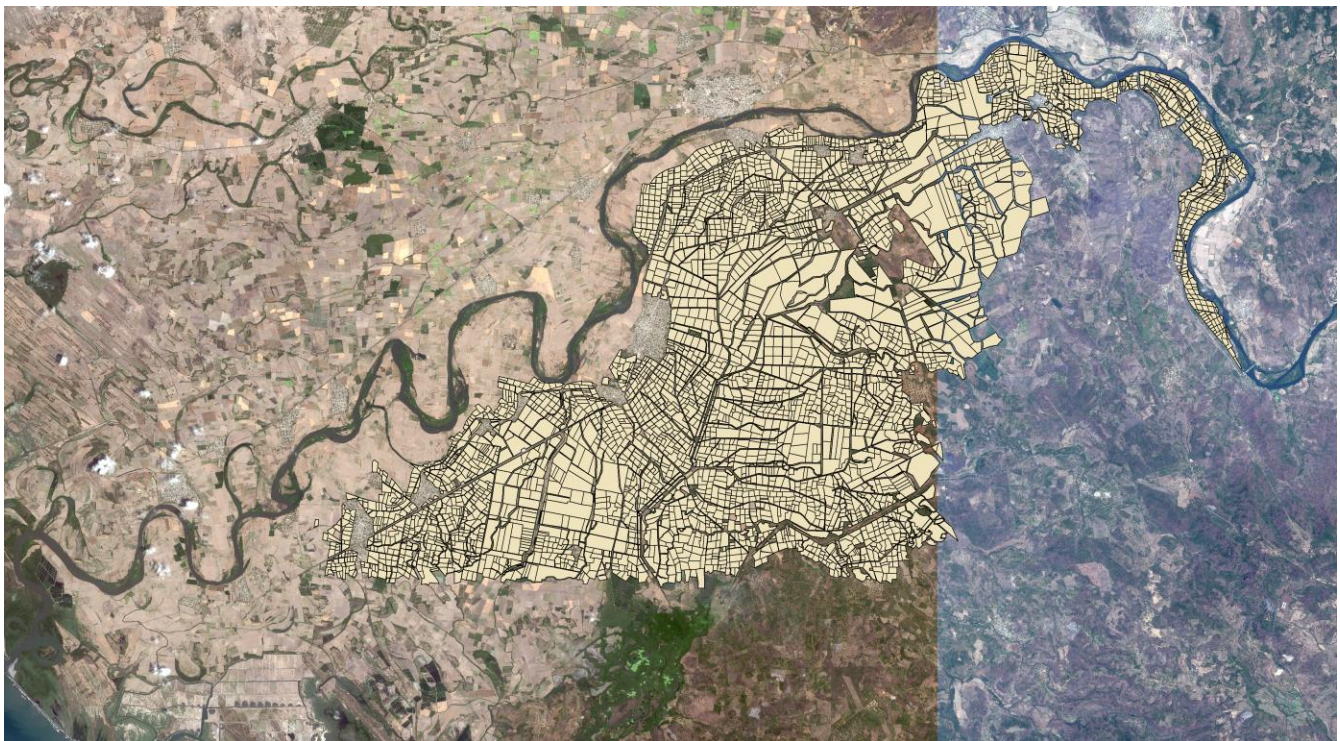


Figura 1. Superficie Total del Módulo de Riego II Margen Izquierda del Río Santiago.

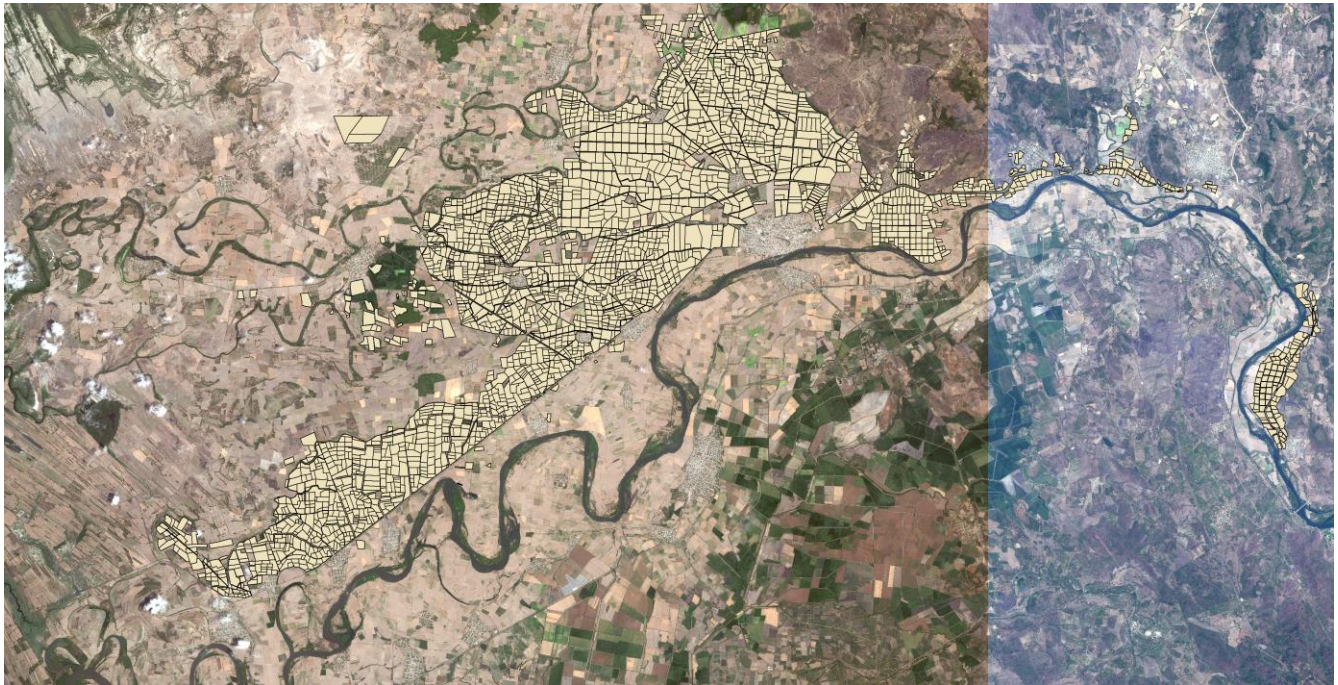


Figura 2. Superficie Total del Módulo de Riego III Margen Derecha del Río Santiago.

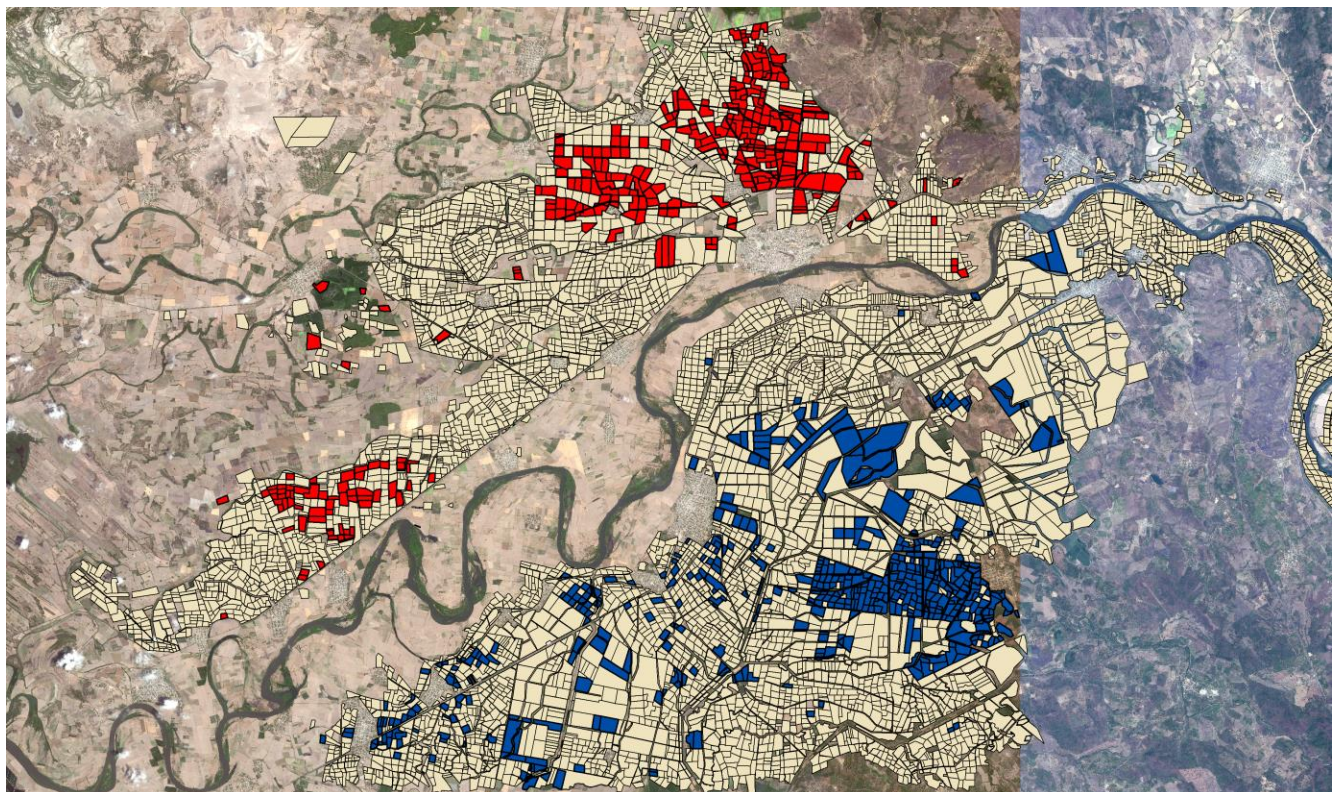


Figura 3. Superficie total incorporada al RIGRAT en los Módulos II (en azul) y III (en rojo). En la Margen Izquierda la superficie RIGRAT representa sólo el 13% mientras que en la Margen Derecha corresponde al 21%.



Tabla 1. Resumen de Superficie de los Módulos II y III.

Módulo	Superficie Total (ha)	Superficie RIGRAT	Parcelas RIGRAT	Usuarios RIGRAT
II (Margen Izquierda)	23,721	2999.26 ha	474	386
III (Margen Derecha)	14,309	3,020.46 ha	468	400

En el **Anexo Digital A2.1** se incluyen los archivos en formato *.shp* con las parcelas RIGRAT ubicadas geográficamente en cada margen, la superficie total que corresponde a cada módulo y la tabla de atributos con la información de cada parcela. El anexo digital contiene también imágenes satelitales del área de estudio y archivos de en formato *.xls* con detalles de las cuentas de las parcelas de los módulos de riego.

2.2 Integración de expedientes

Según el Manual de Operación de la Componente Riego Por Gravedad Tecnificado, el expediente técnico debe contener los documentos que se muestran en la Figura 4. Dichos expedientes se clasifican de acuerdo al tipo de apoyo (Asistencia Técnica, Equipamiento, Coordinación y Nivelación de Tierras), habiendo para cada uno diferentes solicitudes de documentos y formatos para tal documentación.

Durante este ciclo 2018-2019 en el Módulo II se ejercieron los cuatro tipos de apoyos, mientras que en el Módulo III no se ejerció el apoyo de Equipamiento. Conforme lo anterior en el **Anexo Digital A2.2** se incluye el expediente Técnico del RIGRAT en el DR 043 Estado de Nayarit.

Dicho Anexo consiste en la documentación del RIGRAT digitalizada, la cual se organizó de acuerdo al Módulo, al tipo de apoyo y, en el caso de nivelación de tierras, a la cuenta de usuario (Figura 5).

Conceptos	Tipo de Apoyo			
	Asistencia Técnica	Equipa- miento	Coordi- nación	Nivelación de Tierras
I.- Documentos Básicos				
Requisitos específicos				
Solicitud de inscripción al componente RIGRAT (Formato 1).	Si	Si	Si	Si
Carta compromiso de la solvencia económica de la ACU, SRL o usuarios hidroagrícolas. (Formato 2).	Si	Si	No	Si
Carta compromiso para proporcionar información y otorgar facilidades (Formato 3)	Si	No	Si	Si
Carta compromiso para garantizar aportación de recursos de los beneficiarios (Formato 5)	Si	Si	No	Si
Carta compromiso del usuarios para proporcionar información y otorgar facilidades (Formato 6)	Si	No	Si	Si
II.- Autorización de apoyo				
Dictamen técnico emitido por Comisión. (Formato 4).	Si	Si	Si	Si
Oficio de autorización del Comité Hidroagrícola o Comité Técnico del FOFAE para la acción solicitada.	Si	Si	Si	Si
Dictamen de procedencia de la ejecución del proyecto de nivelación (Formato 7)	Si	Si	Si	Si
III.- Procedimiento de contratación Adquisiciones/ Nivelación de tierras				
Convocatoria o cartas de invitación.	No	Si	Si	Si
Acta de junta de aclaraciones (cuando se trate de Convocatoria).	No	Si	No	Si
Acta de recepción y apertura de propuestas.	No	Si	No	Si
Dictamen técnico incluyendo cuadro comparativo de las propuestas.	No	Si	No	Si
Fallo (notificación de adjudicación).	No	Si	No	Si
Propuesta técnica y económica de la empresa o institución de educación o investigación ganadora.	No	Si	Si	Si
Contrato u instrumento equivalente	Si	Si	Si	Si
IV.- Ejecución				
Informes de avances y facturas de pago.	Si	Si	Si	Si
V.- Recepción y finiquito				
Notificación de la conclusión de la entrega de los equipos o trabajos (informe final).	Si	Si	Si	Si
Acta de entrega-recepción.	Si	Si	Si	Si
Acta de finiquito.	Si	Si	Si	Si

Figura 4. Documentación para el Expediente Técnico

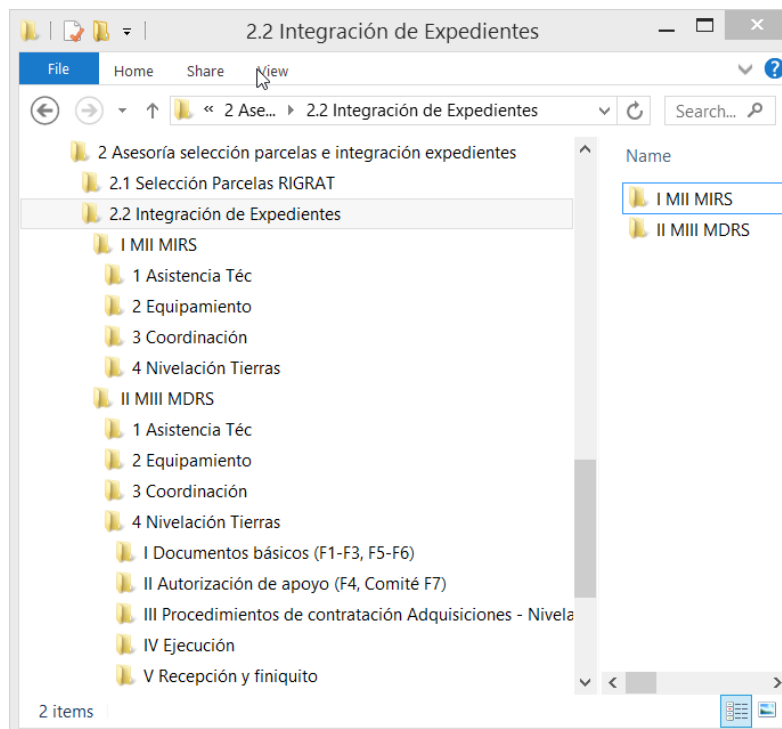


Figura 5. Organización del Expediente Técnico en el Anexo Digital

3. DIFUSIÓN Y PROMOCIÓN DEL PROYECTO

Durante este ciclo 2018-2019 en que se llevaron a cabo en una mayor extensión los trabajos de nivelación de tierras en el DR bajo la componente del RIGRAT, fue importante la difusión del proyecto y los beneficios del mismo. En este sentido se hizo un trabajo de promoción directamente con los usuarios (Figura 6 a Figura 8).

Por otra parte, los avances del RIGRAT en el DR 043 fueron presentados a manera de difusión del mismo en distintos foros a nivel nacional e internacional, con asistencia de productores, técnicos, académicos, investigadores y otros actores del sector público y privado.



Figura 6. Difusión del programa RIGRAT con productores del Módulo III, Margen Derecha del Río Santiago.



Figura 7. Difusión del programa RIGRAT con productores del Módulo III, en el Ejido Gavilán Chico.



Figura 8. Difusión del programa RIGRAT con productores del Módulo III, en el Ejido Capomal.

Entre los foros en los que se ha promovido el proyecto se puede mencionar los siguientes **a)** XVIII Congreso Nacional de Irrigación **b)** 23º Congreso Internacional de Riego y Drenaje (*International Congress on Irrigation and Drainage, ICID*) **c)** IV Congreso Nacional de Riego y Drenaje, COMEII 2018. Los trabajos expuestos en el marco de estos eventos fueron:

1. Tecnificación del riego por gravedad en el Distrito de Riego 043 Estado de Nayarit. XVIII *Congreso Nacional de Irrigación*. 22 al 25 de mayo de 2017. Edificio del COLMERN-ANEI. Texcoco, Edo de México. Autores: **Felipe Zataráin Mendoza**, Vázquez L. Jesús, **Fuentes R. Carlos**.
2. Technical Improvement of surface irrigation in Nayarit State. 23 *International Congress on Irrigation and Drainage*. México, City. 8-14 de Octubre de 2017. Autores: Jesús Enrique Vázquez L., **Felipe Zataráin M.** and **Carlos Fuentes R.**
3. Modelo hidrológico con tirante variable en el riego por gravedad. *IV Congreso Nacional de Riego y Drenaje*, COMEII-2018. 15-18 de Octubre de 2018. Complejo Ferrocarrilero Tres Centurias, Aguascalientes, Ags. Autor: **Felipe Zataráin Mendoza**, **Carlos Fuentes Ruíz** y **José Antonio Quevedo Tizado**.

En el **Anexo 3** se incluyen las portadas de los artículos arriba enlistados y en el **Anexo Digital A3** los artículos completos.

Como resultado del proceso de difusión y promoción del RIGRAT que se realizó en el DR 043, se lograron compromisos con los usuarios para ser beneficiados con los apoyos del programa y se acordó su participación en los proyectos de nivelación de tierras; lo cual se detalla en el siguiente apartado.



4. ASESORÍA PARA LA ELABORACIÓN DE PROYECTOS DE NIVELACIÓN DE TIERRAS

La nivelación de tierras es una práctica de acondicionamiento físico del suelo que consiste en la remoción de tierra de las partes altas, su acarreo y depósito en las partes bajas, a fin de dejar una superficie plana que facilite las labores agrícolas, especialmente la aplicación del agua de riego cuando se emplee algún método de riego por gravedad. Puede decirse que nivelar consiste en emparejar, elevar a un mismo nivel o referencia; aplicado este concepto a las tierras para uso agrícola, significa el relleno de los bajos con tierra proveniente de las partes altas con el fin de tener una rasante con una pendiente uniforme.

Fue durante este ciclo, 2018-2019, que se ejecutaron con mayor intensidad los trabajos de nivelación de tierras en el DR 043 en el marco del programa RIGRAT. La planeación que se realizó fue, en principio, realizar estos trabajos en una superficie de 1,000 ha repartidas equitativamente en cada módulo.

La ejecución de estos trabajos se realizó una vez que se llevaran a cabo las licitaciones públicas con invitación a empresas.

4.1 Metodología para la elaboración de proyectos de nivelación

Para elaborar los proyectos de nivelación de tierras, se estableció una metodología de trabajo consistente en los siguientes puntos:

- a) Difusión y promoción del RIGRAT para lograr el compromiso del usuario que haya manifestado su interés en los proyectos de nivelación de tierras.
- b) Formalización del compromiso del usuario mediante la firma de los formatos correspondientes (ver Figura 4).
- c) Levantamiento Topográfico del terreno antes de la nivelación de tierras con GPS diferencial RTK.
- d) Procesamiento de los datos del levantamiento, consistente en la elaboración de la reconstrucción de la superficie, generación de curvas de nivel y elaboración de retícula de puntos interpolados.
- e) Diseño de proyecto de nivelación de tierras con el apoyo del software SINIVET, donde se definen los volúmenes de corte y relleno, cotas de proyecto, pendientes y todo lo necesario para poder ejecutar y cuantificar estos trabajos.



- f) Elaboración de memoria de cálculo del proyecto de nivelación de tierras producto de ejecutar la corrida en SINIVET.

La parte técnica de esta metodología [incisos c) a f)] se detalla en las siguientes páginas a fin de que pueda reproducirse.

Levantamiento Topográfico

Para ejecutar el levantamiento topográfico se requiere que la parcela haya sido rastreada previamente, con el fin de preparar el terreno y dejarlo libre de terrones de más de 3 cm que pudieran arrojar lecturas de niveles erróneas. En la Figura 9 se muestra, a manera de ejemplo, las características de la superficie de un terreno al que se le ha pasado rastra.

En los levantamientos topográficos realizados en el marco del RIGRAT se utilizaron equipos del tipo GPS (*Geographic Positioning System*) diferencial con tecnología RTK (*Real Time Kinematic*) de la marca SOKIA modelo GRX2, los cuales fueron adquiridos con los apoyos de este programa (Figura 10). Estos equipos tienen la ventaja de que permiten coleccionar datos de forma automática cada cierta distancia, por lo que el levantamiento puede realizarse con la ayuda de un vehículo que agilice el recorrido por la parcela. En este caso se utilizaron motocicletas.

El levantamiento topográfico inicia propiamente con el montaje y la nivelación de la base del instrumento, a lo que sigue la configuración del mismo y se da de alta el receptor en la colectora de datos, teniendo que definir la altura del aparato y sus coordenadas. Posterior a esto se activa la captura de datos y se inicia el recorrido por la parcela llevando el *rover* (móvil) fijo en el vehículo (Figura 11).

Procesamiento de los datos

Después del levantamiento topográfico en campo, y para la elaboración de la reconstrucción de la superficie se prosigue con la metodología que se describe a continuación.

Primero se descarga de la colectora el archivo del levantamiento, el cual tiene extensión .csv (valores separados por comas), y se importan los puntos debidamente georeferenciados a algún software de Diseño Asistido por Computadora (CAD); en nuestro caso se utilizó el AUTOCAD Civil3D.

Posteriormente se delimita el polígono de la superficie proyectada, para determinar la superficie exacta a nivelar y se construyen las curvas de nivel correspondientes. A continuación se genera una retícula de puntos a una distancia de intervalos iguales interpolados a partir de la información del levantamiento, los cuales servirán como insumos para realizar el proyecto de nivelación de tierras (Figura 12).

Diseño de proyectos de nivelación

El cálculo del proyecto de nivelación se elaboró el software SINIVET Plus 5.0, desarrollado por la Universidad Autónoma Chapingo (Hernández-Saucedo *et al.*, 2015). Este programa de



cómputo utiliza el método de mínimos cuadrados para la obtención de la ecuación del plano proyecto, con lo que se obtiene el diseño para el costo mínimo. El programa permite procesar información de campo generada a partir de cotas topográficas del terreno capturadas mediante cuadrícula rectangular o a través de radiaciones en diversos puntos del terreno y con ello calcular: pendientes del plano proyecto, cotas del plano proyecto, alturas del corte y relleno, volúmenes de corte y costo de los trabajos de movimiento de tierras. Además permite generar una memoria descriptiva de los cálculos y los planos básicos del terreno antes y después del proceso de la nivelación de tierras.

SINIVET calcula las pendientes que minimizan el movimiento de tierras, utilizando el método de mínimos cuadrados y cubica el volumen a mover con el método de los cuatro vértices propuesto por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). Permite realizar el proyecto de terrenos con linderos de cualquier forma, además tiene opciones que permiten considerar coeficientes de compactación del suelo e introducir pendientes obligadas, entre otras (Figura 13).

Para la obtención de los valores de corte y relleno la definición de espesor máximo corte (corte permisible) debe ser aquella profundidad máxima que se permite cortar al terreno, sin tener efectos negativos tanto de fertilidad de suelos como económicos. La profundidad de corte que se permita va a depender del espesor del estrato fértil y del costo máximo a aceptar por concepto de movimiento de tierra. El aspecto económico es determinante, pues esto podría hacer no rentable la producción de un terreno.

Memoria de cálculo

Finalmente, hecho el diseño del proyecto a nivelar, se elabora un resumen a manera de memoria de cálculo con la información necesaria para ejecutar la nivelación de tierras. Dicha memoria contiene: volumen de corte por hectárea, volumen de corte total, superficie a nivelar, pendiente en el eje X, pendiente en el eje Y, costo por hectárea, costo total. Adicional a lo anterior, se presenta un plano de cortes y rellenos con las cotas por de Terreno Natural, cota de Proyecto y el corte o relleno requerido en ese punto de la retícula.



Figura 9. Parcela rastreada, previo al levantamiento topográfico.



Figura 10. GPS diferencial con tecnología RTK de la marca SOKKIA, modelo GRX2.



Figura 11. Recorrido por la parcela para la recolección de puntos topográficos del terreno.

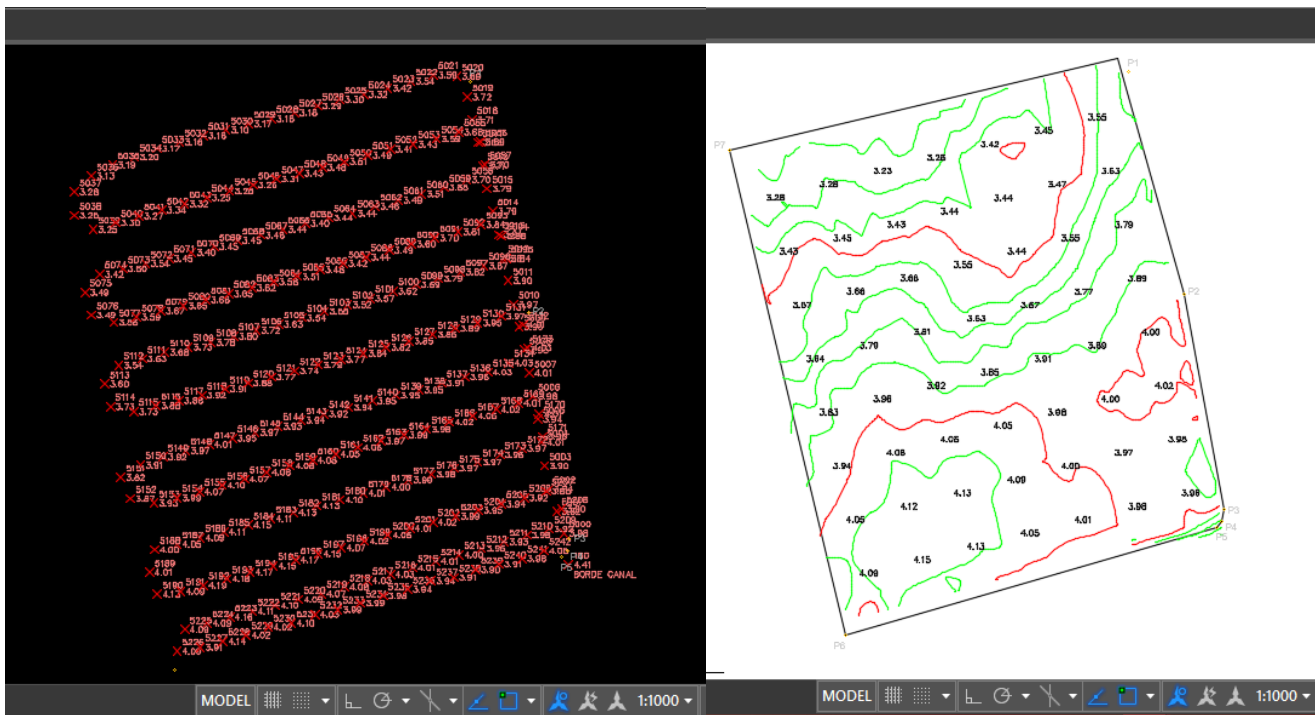


Figura 12. Procesamiento de la información topográfica.



Figura 13. Diseño de proyectos de nivelación con el programa SINIVET.

4.2 Proyectos de nivelación de tierras elaborados durante el ciclo 2018-2019

Como se mencionó anteriormente, en este ciclo 2018-2019 se realizaron proyectos de nivelación en poco más de 1,000 ha del DR 043, de acuerdo a la metodología descrita en la sección anterior.

A continuación se enlistan, por módulo, las cuentas de las parcelas en las que se elaboraron proyectos de nivelación. La Tabla 2 contiene el listado de proyectos elaborados en el Módulo II los cuales suman una superficie de 573.75 ha, mientras que en la Tabla 3 se enlistan los elaborados para el Módulo III, que corresponden a una superficie total de 527.69 ha.

Tabla 2. Información de parcelas de usuarios en las que se elaboraron proyectos de nivelación durante el ciclo 2018-2019 en el Módulo II, Margen Izquierda.

Cuenta	Sub-Cuenta	Usuario	Ubicación	Superficie (ha)
1000	0	Marcelo López Carrillo	Reforma Agraria	3.99
30493	L5	Alma Angelina Arjona de León	Villa Hidalgo	15.48
30494	0	Javier De Dios Arroyo	P.P. Santiago	14.84
30712	0	César Zepeda Cárdenas	V. Zaragoza	7.10
30891	0	César Zepeda Cárdenas	El Solorceño	9.00
30898	0	María De Lourdes Velasco García	P.P. Santiago	19.85
30901	0-L1	Francisco Javier Navarro Benítez	El Solorceño	17.74
30901	0-L2	Francisco Javier Navarro Benítez	El Solorceño	9.06
30901	0-L3	Francisco Javier Navarro Benítez	El Solorceño	1.26
30903	L1	Santos Javier Chávez Montenegro	P.P. Santiago	79.17



Cuenta	Sub-Cuenta	Usuario	Ubicación	Superficie (ha)
31063	0	Macedonio Jiménez Amador	P.P. Sauta	20.18
31070	0	Macedonio Jiménez Amador	Sauta	14.00
31235	0	Rafael Arvizu González	San Isidro	5.20
31325	0	Guadalupe Núñez Delgado	La Presa	4.05
31450	0	Sebastián López Díaz	El Solorceño	7.64
31781	0	Emilio González Benítez	Villa Hidalgo	10.02
31781	0	Ernestina Gómez Morales	Miguel Hidalgo	8.96
31789	0	Juan Alonso Martínez Jarero	Villa Hidalgo	10.39
31791	0	Emilio Gonzales Benítez	El Solorceño	9.17
31817	0	Ernesto Ortega Guerrero	Villa Hidalgo	7.39
31861	0	Graciela Becerra Moreno	Villa Hidalgo	3.30
31882	0	María Concepción Huitrón Gil	Villa Hidalgo	1.88
31895, 96	1, 0	J. Félix Amaral Sánchez	Villa Hidalgo	3.00
31901	0	Antonio Graciano Ramírez	Villa Hidalgo	2.00
31909	0	Antonio Graciano Ramírez	Villa Hidalgo	5.23
31910	0	Rubén Orozco Robles	Villa Hidalgo	5.20
31924	0	María De Jesús Alemán Muro	Villa Hidalgo	1.92
31933	0	J Concepción Temblador Obledo	Villa Hidalgo	4.77
31936	0	María De Jesús Alemán Muro	Villa Hidalgo	3.47
32008	0	Juan Alonso Martínez Jarero	Villa Hidalgo	3.00
32020	0	Ignacio Vázquez Godoy	Villa Hidalgo	5.50
32038	0	Humberto Moreno Montes	Villa Hidalgo	1.98
32054	0	Jorge Trujillo Benítez	Villa Hidalgo	1.41
32175	0	César Zepeda Cárdenas	El Solorceño	21.96
32223	0	Sinforoso De León López	El Capomo	3.83
32291	0	Edwin Carrillo Meza	Sauta	8.02
3229*	0	Macedonio Jiménez Amador	El Potreño	10.36
32345	0	Alejandro Fuentes Portugal	Villa Hidalgo	2.09
32498 y 32500	0, 1	Javier Carmona Hinojosa	Navarrete	5.40
32677	0	Manuel Mendoza Acevedo	Reforma Agraria	3.00
32722	0	Felipe Jiménez Mascorro	Reforma Agraria	2.11
32734	0	Marcelo López Carrillo	Reforma Agraria	3.50
32773	0	Elías Salas Ayón	El Corte	8..79
32884	0	Daniel Velasco Y Torres	El Corte	21.80
32906	0	Elías Salas Ayón	El Corte	6.72
32907	0	Elías Salas Ayón	El Corte	3.25
32916	0	Samuel Contreras Coronillas	El Corte	6.25
32919	0	Gustavo Luna Rodríguez	El Corte	2.00
32933	0	Samuel Contreras Coronillas	El Corte	3.10
32960	0	Victoria Contreras Ojeda	El Corte	5.94
33006 y 33017	0	Leonel Preciado Macedo	El Corte	6.00



Cuenta	Sub-Cuenta	Usuario	Ubicación	Superficie (ha)
33040	0	José Ramírez Quintero	Villa Hidalgo	2.10
33103	0	José Ramírez Quintero	Villa Hidalgo	7.18
33223	0	Sinforoso De León López	El Capomo	3.83
33231	0	Andrés Navarro Montes	La Goma	10.89
33232	0	Patricia Navarro Montes	La Goma	8.45
33381	0	Epifanio Benítez Galván	Aután	4.01
33382	0	Francisco González López	Aután	2.91
33384	0	Joel Martínez Torres	Aután	5.86
33398	0	Romualdo Castro Serrano	Aután	2.79
33399	0	José Luis Ulloa Ocampo	Aután	2.10
33415	0	Liberato Ulloa Ocampo	Aután	2.88
33422	0	Cervando Rafael Ortega Carrillo	Aután	1.92
33429	0	Mariano Ulloa Peña	Aután	5.60
33430	0	Eusebio López Rasura	Aután	1.67
33442	0	Fermín López Castillo	Aután	4.13
33453	0	Arnulfo Andrade Ulloa	Aután	4.61
33502	0	J Asunción Crespo Rodríguez	Madrigaleño	3.23
33503, 04	0	José Marcos Ramírez Crespo	Madrigaleño	4.85
33548	0	Daniel Velasco González	Pequeña Propiedad	9.00
33548	1	María Luisa Zamora Sandoval	Pequeña Propiedad	1.50
33553	0	Emilio González Benítez	P. P San Blas	6.66
33579	0	José Lucas Vallarta Chan	P. P San Blas	2.72
33580	0	Juan Luis Valdovinos Ochoa	P. P San Blas	13.55
33581	0	Juan Luis Valdovinos Ochoa	P. P San Blas	1.00
33592	0	Juan Luis Valdovinos Ochoa	La Goma	0.50
33593	0	Juan Luis Valdovinos Ochoa	La Goma	1.00
33651	0	Ali Kaden Crespo Ayala	Guadalupe Victoria	2.45
33739	0	Librado Martínez Badillo	Madrigaleño	3.20
33743	0	Narciso Martínez Badillo	Madrigaleño	0.53
33744	0	Narciso Martínez Badillo	Madrigaleño	1.83
33751	0	Rogelio Delgado Ortiz	Madrigaleño	7.74
33789	0	María Belén Chávez Salazar	Aután	4.40
33863	0	Ali Kaden Crespo Ayala	Aután	2.15
33864	0	Ali Kaden Crespo Ayala	Aután	3.15
33873	2	Ignacio Cisneros Bautista	Aután	0.88
Total =				573.75



Tabla 3. Información de parcelas de usuarios en las que se elaboraron proyectos de nivelación durante el ciclo 2018-2019 en el Módulo III, Margen Derecha.

Cuenta	Sub-Cuenta	Usuario	Ubicación	Superficie (ha)
20168	0	Ledezma Lerma Juan	Santiago Ixcuintla	6.00
20169	0	Ledezma Lerma Juan	Santiago Ixcuintla	9.00
20176		Carrillo Ortega Jose Juan	Santiago Ixcuintla	5.10
20186	0	Pascual Ramírez Rivera	Puerta de Mangos	9.00
20234	0	Ramírez Mojarro Gerardo	Santiago Ixcuintla	2.30
20219, 20220 20240	0	Árcega Barajas Jose Armando	Santiago Ixcuintla	6.87
20240, 41, 42, 43, 44, 45	0	Árcega Barajas Jose Armando	Santiago Ixcuintla	24.07
20257	N 0	Saúl Larios Virgen	Santiago Ixcuintla	9.00
20257	S 0	Saúl Larios Virgen	Santiago Ixcuintla	2.62
20363	0	Nicolás Ulloa Fregoso	Santiago Ixcuintla	11.29
20476 20477	0	Juan Valle Partida José Daniel Parra Navarro	Santiago Ixcuintla	16.36
20498	0	Elizarrarás Gonzalez Pedro	Santiago Ixcuintla	8.91
20604	0	Manríquez Guardado J. Bruno	Puerta de Mangos	2.75
21412	0	Villafuentes Ramos Alberto	Botadero	6.30
21567	0	Serrano Lopez Natividad	Santiago Ixcuintla	5.04
21618	0	Meza Langarica Juan Manuel	Puerta de Mangos	8.43
1000	0	Carlos Ramón Menchaca	P.P. Santiago	38.60
1001	0	Carlos Ramón Menchaca	P.P. Santiago	19.13
1002	0	Carlos Ramón Menchaca	P.P. Santiago	21.50
1003	0	Carlos Ramón Menchaca	P.P. Santiago	55.46
20176	0	Carrillo Ortega Jose Juan	Santiago Ixcuintla	5.10
20219	S 0	Enciso Murillo Francisco	Santiago Ixcuintla	1.24
20220	0	Árcega Barajas Jose Armando	Santiago Ixcuintla	2.71
20280	0 N	Carrillo Ortega Jose Juan	Santiago Ixcuintla	2.15
20280	0 S	Carrillo Ortega Jose Juan	Santiago Ixcuintla	4.91
20373	0	Ulloa Toribio Sergio Omar	Santiago Ixcuintla	6.10
20435	0	Juárez Perez Sara	El Puente	3.90
20498	0	Elizarrarás Gonzalez Pedro	Santiago Ixcuintla	8.91
20532	0	Árcega Barajas Jose Armando	Santiago Ixcuintla	8.90
20609	0	Verdín Rodríguez Liboria	Santiago Ixcuintla	2.60
20610	0	Sanchez Barajas Abel	Santiago Ixcuintla	9.57
20711	0	Sanchez Orozco Ignacio	Santiago Ixcuintla	10.48
20761- 20762	0	Moisés Chavarín Rivera	Amapa	3.40
20763	0	Plasencia Flores Indalecio	Amapa	2.34
21487	0	Tovar Camargo Jose	Puerta de Mangos	3.45
21490	0	Arreola Torres Oscar Ernesto	Puerta de Mangos	2.20



Cuenta	Sub-Cuenta	Usuario	Ubicación	Superficie (ha)
21491	0	Olmos Aguilar Margarito	Puerta de Mangos	4.60
21524	0	Chavarín Villa Lucila	Puerta de Mangos	2.00
21529	0	García Chavarín Oscar	Puerta de Mangos	3.70
21530	0	Ramírez Gómez Antonia	Puerta de Mangos	3.54
21531	1	Reyes Trejo Antonio	Puerta de Mangos	2.83
21539	0	Ayala Zúñiga Aniceto	Puerta de Mangos	5.14
21540	0	Jaime Enrique Aguayo Valenzuela	Puerta de Mangos	2.70
21545	0	García Huerta J. Asunción	Puerta de Mangos	2.30
21556	0	Chavarín Villa Lucila	Puerta de Mangos	1.56
21566	0	Chavarín Villa Lucila	Puerta de Mangos	6.71
21604	0	Salazar Castellón Teresa (Saúl)	Puerta de Mangos	1.93
21635	0	Ortega Nonato Joaquín	Puerta de Mangos	3.88
21645	0	Herrera Padilla Tomas	Puerta de Mangos	2.60
21649	0	Macías Carlo Celida	Puerta de Mangos	5.44
21662	0	Herrera Padilla Tomas	Puerta de Mangos	7.30
21664	0	Rivera Barrera J. Valentín	Puerta de Mangos	2.15
21672	0	Ortega Nonato Héctor	Puerta de Mangos	6.80
21673	0	Ramos Rubio Salvador	Puerta de Mangos	2.80
21703	0	Sanchez Romero Julián	Puerta de Mangos	11.60
21706, 21720	0	Rey Alfredo, Ernesto Ornelas	Puerta de Mangos	6.66
21708	0	Arreola Torres Oscar Ernesto	Puerta de Mangos	5.98
21717	0	Sanchez Romero Aristeo	Puerta de Mangos	7.00
21748	0	Varo Alcaraz Felipe	Cañada del Tabaco	6.80
21753	0	Avalos Muñoz Jesús	Cañada del Tabaco	12.50
21756	0	Rivas Rosales Jorge Noé	Cañada del Tabaco	3.96
21757	0	Avalos Cabrera J. Jesús	Cañada del Tabaco	3.50
21922	0	Rivas Márquez Teodoro	Cañada del Tabaco	3.85
22099	0	Sergio Perez Guzmán	Gavilán Grande	8.85
22740	0	Hernandez Cabrera Guillermo	La Fortaleza	3.45
22749	0	Medina Ponce Jaime Salvador	La Fortaleza	14.55
23156	0	Hernandez Cabrera Guillermo	La Fortaleza	2.27
23157	0	Jose Luis Paredes Arroyo	Sentispac	6.30
23160	0	Cárdenas Haro Aurora	Valle Morelos	5.67
23165	0	Hinojosa Cárdenas Alberto	Valle Morelos	1.80
23186	0	Rivas Rosales Jorge Noé	Cañada del Tabaco	6.10
23187	0	Hinojosa Cárdenas Alberto	Valle Morelos	1.24
23189	0	Reyes Ibarra Claudio	Puerta de Mangos	1.94
Total =				527.69

El **Anexo Digital A4.2** contiene los archivos que conforman los proyectos de nivelación de enlistados en la Tabla 2 y en la Tabla 3. Dicho contenido consiste en los formatos que firman los usuarios, los archivos referentes al levantamiento topográfico, los generados a partir del



proyecto de nivelación en SINIVET, planos, además del reporte fotográfico y otros archivos complementarios.

4.3 Proyectos de nivelación ejecutados durante el ciclo 2018-2019

Del total de poco más de 1,000 ha en las que se elaboraron proyectos de nivelación de tierras durante el ciclo 2018-2019, se ejecutaron trabajos en una superficie de 225.72 ha en la margen izquierda (ver Tabla 4) y en la margen derecha el área fue de 212.43 ha (Tabla 5). En la Figura 14 y Figura 15 se muestra, respectivamente, la localización dentro del módulo correspondiente de las parcelas en que se ejecutaron trabajo de nivelación.

Parte fundamental de los trabajos de nivelación de tierras es la supervisión de éstos, por lo que los responsables técnicos realizan un levantamiento topográfico para verificar que dichos trabajos se realizaron conforme a proyecto haciendo una nueva corrida en el programa SINIVET. Una vez revisada la información se realiza un plano recepcional (Figura 16).

Tabla 4. Información de parcelas de usuarios en las que se ejecutaron trabajos de nivelación durante el ciclo 2018-2019 en el Módulo II, Margen Izquierda.

Cuenta	Sub-Cuenta	Usuario	Ubicación	Superficie (ha)	Vol. Corte / ha (m ³ /ha)	Vol. Corte Total (m ³)
1000	0	Marcelo López Carrillo	Reforma Agraria	3.99	593.77	2369.14
30494	0	Javier De Dios Arroyo	P.P. Santiago	14.84	403.93	5994.37
30712	0	Cesar Zepeda Cárdenas	V. Zaragoza	7.10	541.96	3847.93
30891	0	César Zepeda Cárdenas	El Solorceño	9.00	653.92	5885.27
30901	0-L1	Francisco Javier Navarro Benítez	El Solorceño	17.74	151.40	4248.40
30901	0-L2	Francisco Javier Navarro Benítez	El Solorceño	9.06	743.26	5678.48
30901	0-L3	Francisco Javier Navarro Benítez	El Solorceño	1.26	413.41	4295.33
31450	0	Sebastián López Díaz	El Solorceño	7.64	179.62	337.69
31789	0	Juan Alonso Martínez Jarero	Villa Hidalgo	10.39	107.88	323.64
31882	0	María Concepción Huitrón Gil	Villa Hidalgo	1.88	83.50	434.20
31895, 96	1, 0	J. Félix Amaral Sánchez	Villa Hidalgo	3.00	139.20	267.26
31910	0	Rubén Orozco Robles	Villa Hidalgo	5.20	65.10	310.53
31924	0	Maria De Jesus Alemán Muro	Villa Hidalgo	1.92	94.04	326.32
31933	0	J Concepción Temblador Obledo	Villa Hidalgo	4.77	434.62	2390.41
31936	0	Maria De Jesus Alemán Muro	Villa Hidalgo	3.47	130.51	184.02
32020	0	Ignacio Vázquez Godoy	Villa Hidalgo	5.50	4477.37	98323.12
32054	0	Jorge Trujillo Benítez	Villa Hidalgo	1.41	262.97	788.91
32175	0	Cesar Zepeda Cárdenas	El Solorceño	21.96	101.43	214.02
32677	0	Manuel Mendoza Acevedo	Reforma Agraria	3.00	254.67	2238.54
32722	0	Felipe Jiménez Mascorro	Reforma Agraria	2.11	429.54	9363.97
32773		Elías Salas Ayón	El Corte	8.79	332.01	2231.11
32884	0	Daniel Velasco Y Torres	El Corte	21.80	162.72	528.84



Cuenta	Sub-Cuenta	Usuario	Ubicación	Superficie (ha)	Vol. Corte / ha (m ³ /ha)	Vol. Corte Total (m ³)
32906	0	Elías Salas Ayón	El Corte	6.72	373.53	747.06
32907	0	Elías Salas Ayón	El Corte	3.25	239.72	1423.94
32919	0	Gustavo Luna Rodríguez	El Corte	2.00	352.26	739.75
32960	0	Victoria Contreras Ojeda	El Corte	5.94	168.89	945.81
33399	0	José Luis Ulloa Ocampo	Aután	2.10	251.04	1157.29
33429	0	Mariano Ulloa Peña	Aután	5.60	158.15	510.82
33453	0	Arnulfo Andrade Ulloa	Aután	4.61	149.15	723.38
33502	0	J Asunción Crespo Rodríguez	Madrigaleño	3.23	477.03	1297.52
33503, 04	0	José Marcos Ramírez Crespo	Madrigaleño	4.85	96.60	96.60
33579	0	José Lucas Vallarta Chan	P. P San Blas	2.72	175.34	87.67
33581	0	Juan Luis Valdovinos Ochoa	P.P. San Blas	1.00	93.77	93.77
33592	0	Juan Luis Valdovinos Ochoa	La Goma	0.50	133.78	327.76
33593	0	Juan Luis Valdovinos Ochoa	La Goma	1.00	334.85	2591.74
33651	0	Ali Kaden Crespo Ayala	Guadalupe Victoria	2.45	266.24	572.42
33751	0	Rogelio Delgado Ortiz	Madrigaleño	7.74	324.70	1022.81
33863	0	Ali Kaden Crespo Ayala	Aután	2.15	100.95	88.84
33864	0	Ali Kaden Crespo Ayala	Aután	3.15	593.77	2369.14
33873	2	Ignacio Cisneros Bautista	Aután	0.88	403.93	5994.37
Total =				225.72		68623.20

Tabla 5. Información de parcelas de usuarios en las que se ejecutaron trabajos de nivelación durante el ciclo 2018-2019 en el Módulo III, Margen Derecha.

Cuenta	Sub-Cuenta	Usuario	Ubicación	Superficie (ha)	Vol. Corte / ha (m ³ /ha)	Vol. Relleno / ha (m ³ /ha)	Vol. Corte Total (m ³ /ha)	Vol. Relleno Total (m ³ /ha)
20176	0	Carrillo Ortega Jose Juan	Santiago Ixcuintla	5.10	350.00	344.00	1785.00	1754.40
20219	S 0	Enciso Murillo Francisco	Santiago Ixcuintla	1.24	241.00	240.00	298.84	297.60
20220	0	Árcega Barajas Jose Armando	Santiago Ixcuintla	2.71	241.00	240.00	653.11	650.40
20240	S 0	Árcega Barajas Jose Armando	Santiago Ixcuintla	2.92	241.00	240.00	703.72	700.80
20280	0 N	Carrillo Ortega Jose Juan	Santiago Ixcuintla	2.15	195.00	199.00	419.25	427.85
20280	0 S	Carrillo Ortega Jose Juan	Santiago Ixcuintla	4.91	290.00	282.00	1423.90	1384.62
20373	0	Ulloa Toribio Sergio Omar	Santiago Ixcuintla	6.10	124.00	117.00	756.40	713.70
20435	0	Juárez Perez Sara	El Puente	3.90	245.00	242.00	955.50	943.80
20532	0	Árcega Barajas Jose Armando	Santiago Ixcuintla	8.90	92.00	91.00	818.80	809.90
20609	0	Verdín Rodriguez Liboria	Santiago Ixcuintla	2.60	520.00	520.00	1352.00	1352.00
20761-20762	0	Moises Chavarín Rivera	Amapa	3.40	103.37	98.00	351.44	333.20



Cuenta	Sub-Cuenta	Usuario	Ubicación	Superficie (ha)	Vol. Corte / ha (m ³ /ha)	Vol. Relleno / ha (m ³ /ha)	Vol. Corte Total (m ³ /ha)	Vol. Relleno Total (m ³ /ha)
20763	0	Plasencia Flores Indalecio	Amapa	2.34	118.00	120.00	276.12	280.80
21487	0	Tovar Camargo Jose	Puerta de Mangos	3.45	256.00	255.00	883.20	879.75
21490	0	Arreola Torres Oscar Ernesto	Puerta de Mangos	2.20	323.00	323.00	710.60	710.60
21491	0	Olmos Aguilar Margarito	Puerta de Mangos	4.60	192.00	198.00	883.20	910.80
21524	0	Chavarín Villa Lucila	Puerta de Mangos	2.00	198.00	188.00	396.00	376.00
21529	0	Garcia Chavarín Oscar	Puerta de Mangos	3.70	223.00	224.00	825.10	828.80
21530	0	Ramírez Gomez Antonia	Puerta de Mangos	3.54	467.00	466.00	1653.18	1649.64
21531	1	Reyes Trejo Antonio	Puerta de Mangos	2.83	323.00	322.00	914.09	911.26
21539	0	Ayala Zuñiga Aniceto	Puerta de Mangos	5.14	263.00	263.00	1351.82	1351.82
21540	0	Jaime Enrique Aguayo Valenzuela	Puerta de Mangos	2.70	240.00	239.00	648.00	645.30
21545	0	Garcia Huerta J. Asuncion	Puerta de Mangos	2.30	213.00	220.00	489.90	506.00
21556	0	Chavarín Villa Lucila	Puerta de Mangos	1.56	297.00	294.00	463.32	458.64
21566	0	Chavarín Villa Lucila	Puerta de Mangos	6.71	257.00	257.00	1724.47	1724.47
21604	0	Salazar Castellon Teresa	Puerta de Mangos	1.93	354.00	354.00	683.22	683.22
21635	0	Ortega Nonato Joaquin	Puerta de Mangos	3.88	260.00	260.00	1008.80	1008.80
21645	0	Herrera Padilla Tomas	Puerta de Mangos	2.60	398.00	395.00	1034.80	1027.00
21649	0	Macias Carlo Celida	Puerta de Mangos	5.44	489.00	493.00	2660.16	2681.92
21662	0	Herrera Padilla Tomas	Puerta de Mangos	7.30	535.00	535.00	3905.50	3905.50
21664	0	Rivera Barrera J. Valentin	Puerta de Mangos	2.15	494.00	494.00	1062.10	1062.10
21672	0	Ortega Nonato Hector	Puerta de Mangos	6.80	465.00	482.00	3162.00	3277.60
21673	0	Ramos Rubio Salvador	Puerta de Mangos	2.80	315.00	316.00	882.00	884.80
21703	0	Sanchez Romero Julian	Puerta de Mangos	11.60	410.00	409.00	4756.00	4744.40
21717	0	Sanchez Romero Aristeo	Puerta de Mangos	7.00	410.00	409.00	2870.00	2863.00
21748	0	Varo Alcaraz Felipe	Cañada del Tabaco	6.80	580.00	582.00	3944.00	3957.60
21753	0	Avalos Muñoz Jesus	Cañada del Tabaco	12.50	580.00	582.00	7250.00	7275.00
21756	0	Rivas Rosales Jorge Noe	Cañada del Tabaco	3.96	480.00	478.00	1900.80	1892.88
21757	0	Avalos Cabrera J. Jesus	Cañada del Tabaco	3.50	580.00	582.00	2030.00	2037.00
21922	0	Rivas Marquez Teodoro	Cañada del Tabaco	3.85	205.00	205.00	789.25	789.25
22740	0	Hernandez Cabrera Guillermo	La Fortaleza	3.45	420.00	422.00	1449.00	1455.90
22749	0	Medina Ponce Jaime Salvador	La Fortaleza	14.55	107.00	99.00	1556.85	1440.45
23156	0	Hernandez Cabrera Guillermo	La Fortaleza	2.27	420.00	422.00	953.40	957.94
23157	0	Jose Luis Paredes Arroyo	Sentispac	6.30	871.00	871.00	5487.30	5487.30
23160	0	Cárdenas Haro Aurora	Valle Morelos	5.67	595.00	590.00	3373.65	3345.30
23165	0	Hinojosa Cárdenas Alberto	Valle Morelos	1.80	350.00	350.00	630.00	630.00
23186	0	Rivas Rosales Jorge Noe	Cañada del Tabaco	6.10	380.00	380.13	2318.00	2318.79
23187	0	Hinojosa Cárdenas Alberto	Valle Morelos	1.24	350.00	350.00	434.00	434.00
23189	0	Reyes Ibarra Claudio	Puerta de Mangos	1.94	397.00	397.00	768.99	768.99
Total =				212.43			21,691.24	21,557.80

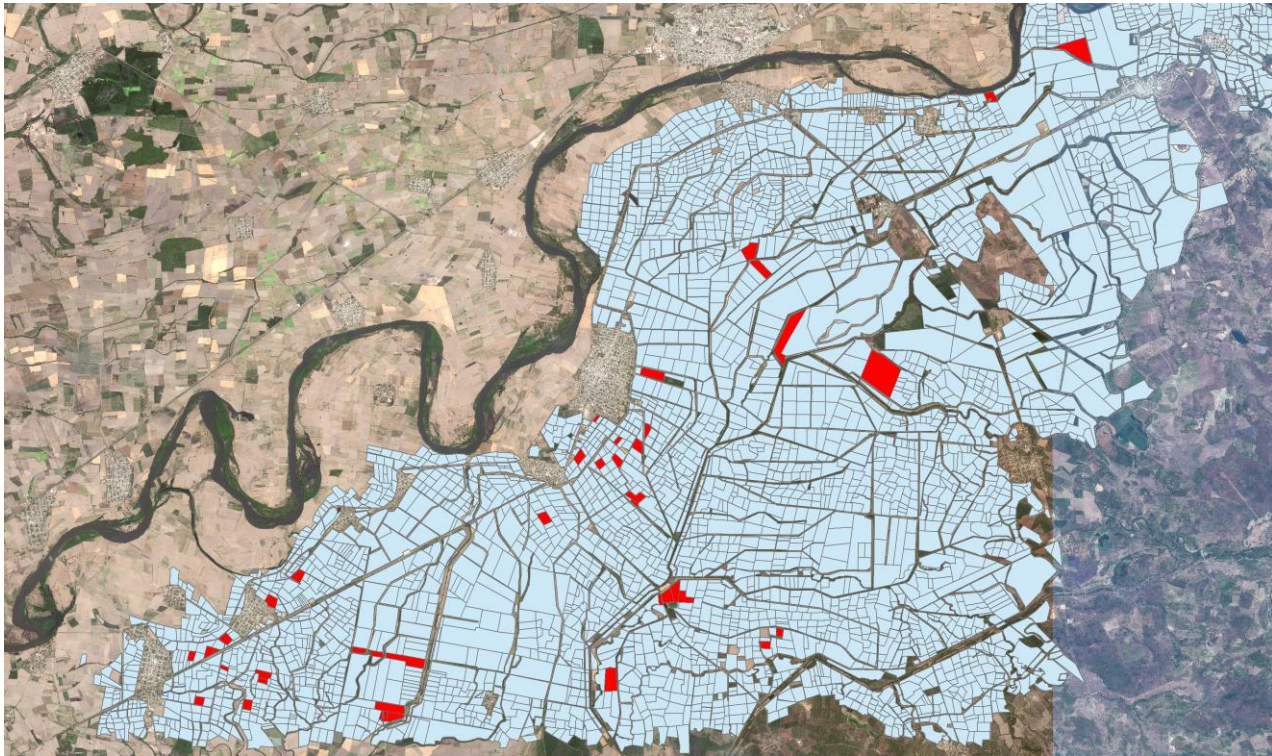


Figura 14. Parcelas en las que se ejecutaron trabajos de nivelación de tierras, de acuerdo a proyecto, en la **Margen Izquierda**, Módulo II.

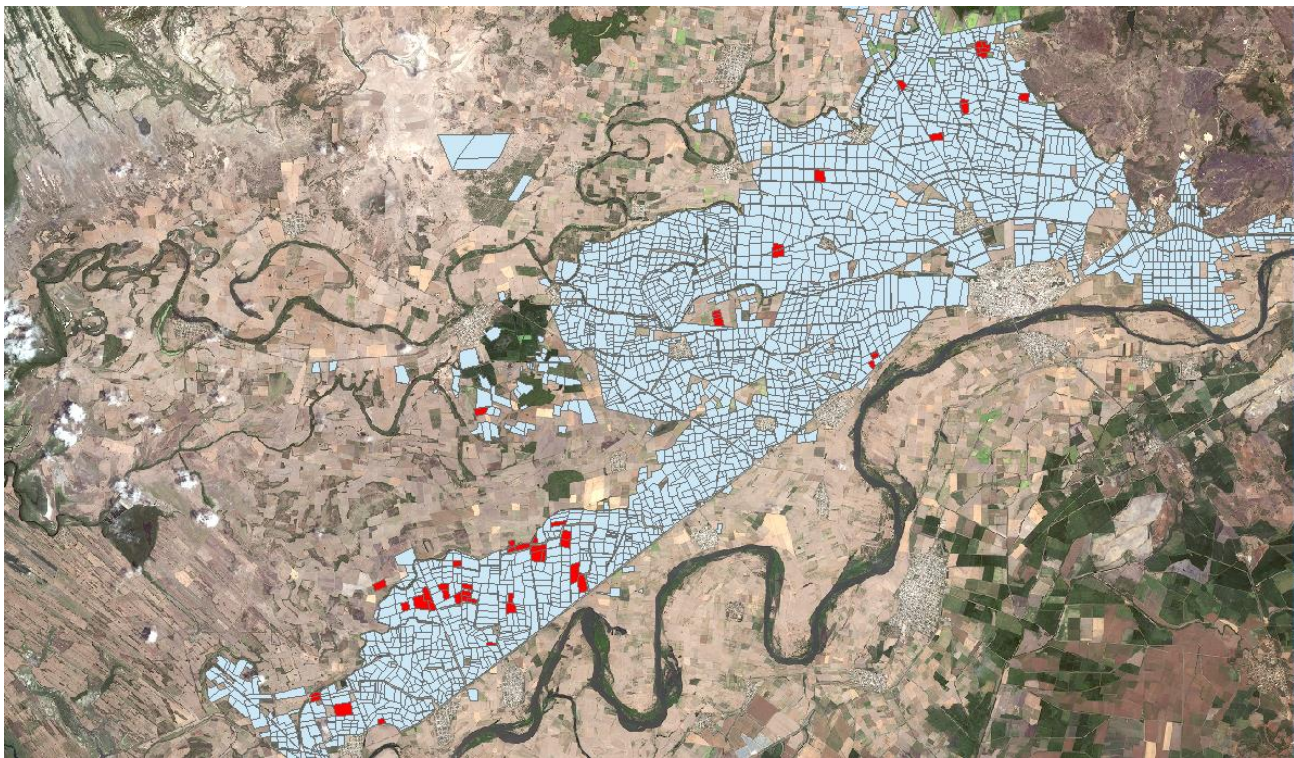


Figura 15. Parcelas en las que se ejecutaron trabajos de nivelación de tierras, de acuerdo a proyecto, en la **Margen Derecha**, Módulo III.

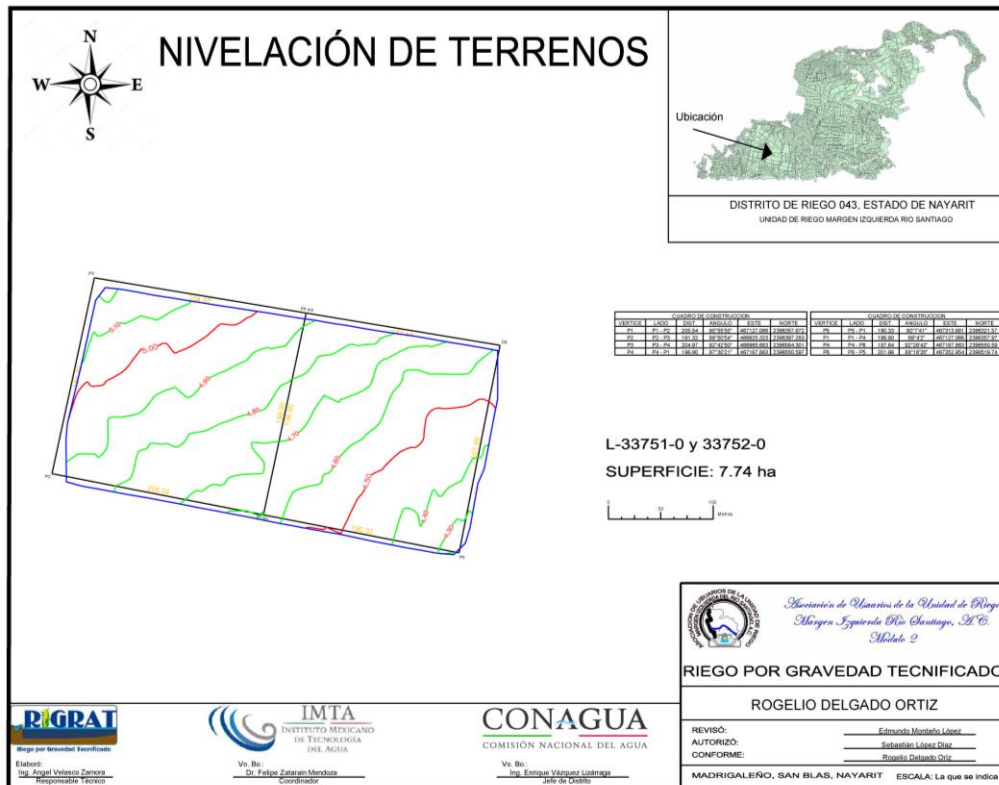


Figura 16. Planos topográfico y de supervisión de los proyectos de nivelación de tierras.



El **Anexo digital A4.3** contiene los archivos que conforman los proyectos de nivelación de elaborados de acuerdo con la metodología descrita en este capítulo y se ejecutaron conforme a las especificaciones técnicas del Manual del RIGRAT. Estos archivos consisten en: levantamiento topográfico y sus planos, la memoria de cálculo, el levantamiento y planos de supervisión, el reporte fotográfico, planos, formatos para el expediente técnico y otros archivos complementarios.



5. ASESORÍA PARA EL DISEÑO Y EVALUACIÓN DEL RIEGO

En el diseño del riego por gravedad se busca maximizar la eficiencia de riego mediante la determinación de los valores óptimos de la longitud y el tiempo y caudal de riego, dadas las características hidráulicas, topográficas y de resistencia al flujo del suelo y del cultivo de tal manera que se satisfaga la lámina requerida por los cultivos con un mínimo de pérdidas por coleos y percolación (Rendón *et al.*, 2012).

Un aspecto importante en el diseño del riego es el trazo del mismo, el cual se determina con base en los siguientes aspectos:

Toma granja. El conocimiento de la ubicación de la toma granja de la parcela es importante. Será imprescindible conocer la carga hidráulica que se tiene al pie de la parcela y que deberá favorecer el riego por gravedad.

Pendiente. En función de las características del suelo, la pendiente busca el equilibrio de flujo; se recomienda una pendiente mínima de 0.05 %, es decir que no aumente la velocidad del agua y cause erosión o tan pequeña que el agua se estanque.

Sentido de riego. El flujo del agua en riego por gravedad, será favorecido según las características topográficas que resulten después de un proceso previo de nivelación. es decir a pendientes naturales u obligadas según sea el caso.

Longitud del surco. La longitud del surco debe ser estimada en relación con el tipo de suelo (textura). Una textura arcillosa, indica un tiempo mayor para la infiltración y un rápido avance superficial.

Regaderas. Se proponen una o más regaderas, en dado caso que la parcela se divida en varios lotes. Las regaderas propuestas se establecen en los puntos más altos de cada lote, para que el flujo del agua se vea favorecido por la pendiente predominante.

Generalmente, para la pendiente longitudinal de la melga o surco se elige la pendiente natural del terreno pues modificarla implica aumentar el volumen de tierras por mover y sus costos se incrementarían. Para obtener una mayor eficiencia en el riego se recomienda no rebasar los 400 metros de longitud de melga o surco.

Durante este ciclo 2018-2019 se elaboraron proyectos de trazo del riego en una superficie de 165.94 ha (ver Tabla 6). En La Figura 17 se muestra, a manera de ejemplo, un plano de diseño de trazo de riego. En el **Anexo digital A5** contiene los diseños de trazo de riego que se elaboraron en parcelas del Módulo III.

Tabla 6. Listado de proyectos de trazo de riego en el Módulo III, MDRS.

Cuenta	Sub-Cuenta	Usuario	Ubicación	Superficie (ha)
20155	0	Díaz López Héctor León	Pequeña Propiedad	16.80
20156	0	Ledezma Montaña Anabel	Pequeña Propiedad	8.00
20186	0	Pascual Ramírez Rivera	Santiago Ixcuintla	9.00
20356	0	Gonzalez Becerra Abraham	Santiago Ixcuintla	6.00

Cuenta	Sub-Cuenta	Usuario	Ubicación	Superficie
20376, 77	0	Ceceaña Hernandez Eduardo	Santiago Ixcuintla	14.70
20476, 77	0	Valle Partida Juan Parra Navarro Jose Daniel	Santiago Ixcuintla	7.81
20488	0	Curiel Martínez Ma. Dolores	Santiago Ixcuintla	9.10
20510	0	Rojas Navarro Aurelio	Santiago Ixcuintla	10.20
20516	0	Lopez Bañuelos Telesfora	Santiago Ixcuintla	8.80
20518	0	Espinoza Benavidez Armando	Santiago Ixcuintla	6.50
20531	0	Ruiz Ayón Fernando	Santiago Ixcuintla	9.10
20608	0	Verdín Ramírez Ricardo	Santiago Ixcuintla	8.50
20610	0	Sánchez Orozco Jose Maria	Santiago Ixcuintla	9.10
20711	0	Sánchez Orozco Ignacio	Santiago Ixcuintla	10.00
21059 21190	0	Ornelas Partida Ricardo Alvarado Rodríguez Abundía	Puerta de Mangos	12.94
22099	0	Perez Guzmán Sergio Marcial	Gavilán Grande	8.89
22265	0	Hernandez Temblador Luciano	Gavilán Grande	7.30
22712	0	Lopez Garcia Eva del Carmen	Valle Morelos	3.20
Total =				165.94



Figura 17. Plano con el diseño de trazo de riego en las parcelas con cuenta 20376-0 y 20377-0 ubicadas en Santiago Ixcuintla , Módulo III Margen Derecha.

6. ASESORÍA PARA EL SEGUIMIENTO DEL RIEGO EN TIEMPO REAL

En el Distrito de Riego 043 Estado de Nayarit es particularmente importante el seguimiento del riego en tiempo real ya que la lluvia constituye una aportación importante a los requerimientos de riego de los cultivos y con su alta variabilidad espacio-temporal pueden modificarse sustancialmente las condiciones de riego programadas. Sin embargo, para realizar la programación del riego de los principales cultivos en la zona de estudio se parte en primer lugar de la estimación de los requerimientos de riego promedio.

La calendarización del riego se define como el procedimiento para determinar la cantidad y tiempo de aplicación del agua de riego a un cultivo a lo largo de su desarrollo fenológico para suministrar sus requerimientos hídricos y mantenerlo en un ambiente favorable de desarrollo para lo cual pueden necesitarse cantidades adicionales de agua para controlar sales, heladas, plagas y enfermedades (Ojeda *et al.*, 1995).

Conforme a lo anterior, una de las actividades que se realizaron como parte del RIGRAT fue la asesoría para la adquisición e instalación de estaciones meteorológicas en el Módulo II. La estación meteorológica *Davis Instruments®* con transmisión inalámbrica y sensores de radiación solar y UV.

6.1 Adquisición de datos meteorológicos

En el área de influencia del Módulo II se habilitó una red de seis estaciones meteorológicas de la marca *Davis Instruments*. Las estaciones se denominaron como: “El Solito”, “Guadalupe Victoria”, “Sauta”, “Valle Lerma”, “El Jileño” y “Villa Hidalgo”. En la Figura 18 se muestra la ubicación de las estaciones y en la Tabla 7 se enlistan las coordenadas UTM correspondientes. La Figura 19 muestra imágenes del proceso de colecta de los datos registrados en algunas de las estaciones mencionadas.

Se utilizó el software *WeatherLink* (Figura 20), elaborado por la misma compañía *Davis Instruments*, para almacenar, visualizar, graficar, analizar, exportar e imprimir los datos meteorológicos recopilados por cada una de las estaciones meteorológicas. También, en el caso de la Estación “Villa Hidalgo”, se pueden manejar los datos desde la página de Weatherlink.com (Figura 21).

Con el software *WeatherLink* se pueden manejar las principales variables meteorológicas como la temperatura mínima y máxima, la humedad atmosférica, el punto de rocío, dirección y velocidad del viento, radiación solar, lluvia, presión atmosférica, evapotranspiración, entre otras. De la Figura 22 a la Figura 29, se muestran ejemplos de la representación tanto gráfica como en texto, del registro de las variables meteorológicas en las seis estaciones.

En el **Anexo Digital A6.1** se incluye la información recopilada por la red de estaciones.



Figura 18. Localización de la red de estaciones meteorológicas instaladas en el área de influencia del Módulo II, Margen Izquierda.

Tabla 7. Listado de proyectos de trazo de Riego en el Módulo III, MDRS.

ESTACION	EJIDO	MPIO	X	Y	ZONA
E1	Villa Hidalgo	Santiago Ixcuintla	475,921.2	2,404,682.1	13
E2	Guadalupe Victoria	San Blas	465,751.9	2,396,131.9	13
E3	El Jileño	Tepic	496,478.0	2,402,442.0	13
E4	Valle Lerma	Santiago Ixcuintla	489,392.0	2,412,026.0	13
E5	El Solito	San Blas	471,973.0	2,401,464.0	13
E6	Arrocera Sauta	Santiago Ixcuintla	484,644.0	2,405,147.0	13



Figura 19. Colecta de datos registrados en las estaciones meteorológicas en el Módulo II, MIRS.

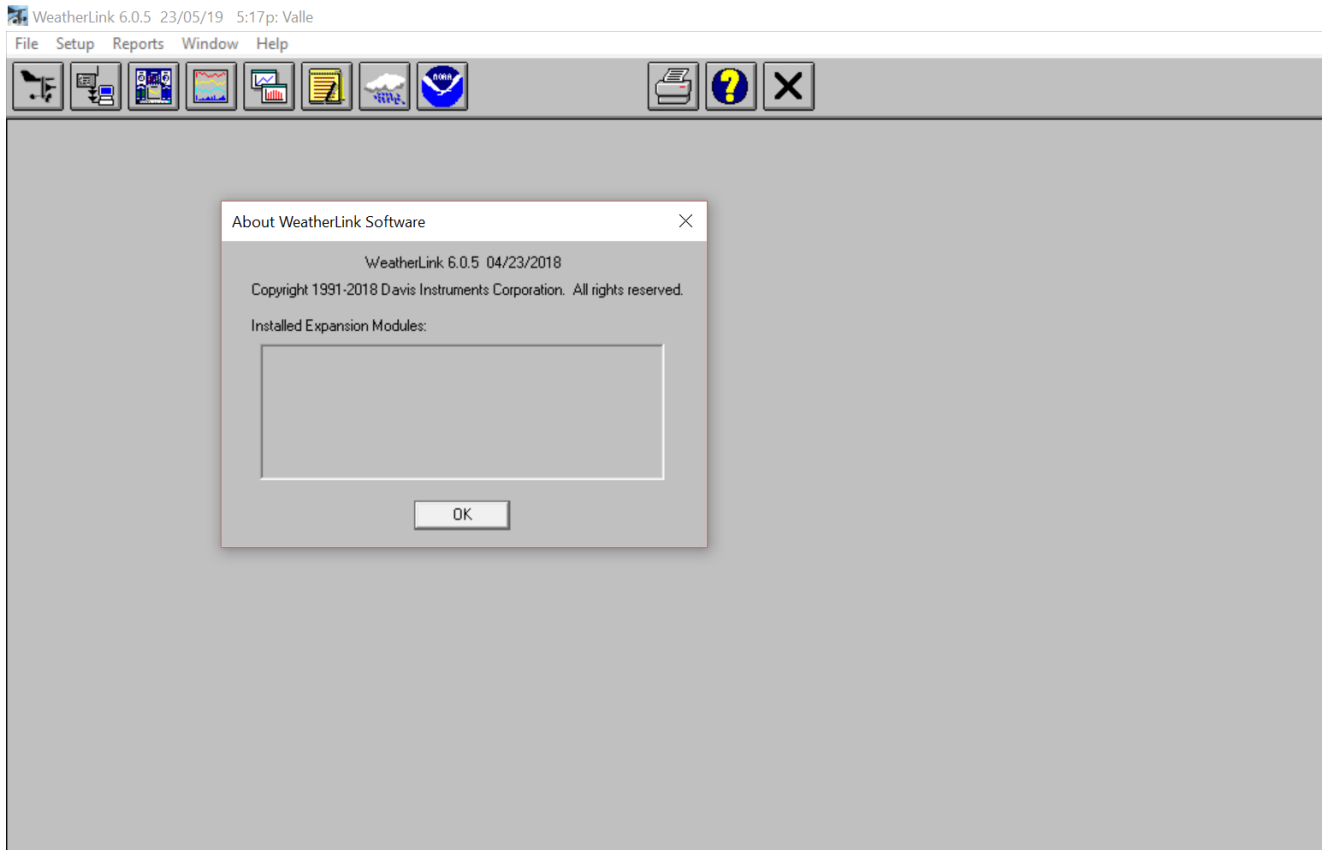


Figura 20. Pantalla inicial del software *Weatherlink*® 6.0.5.

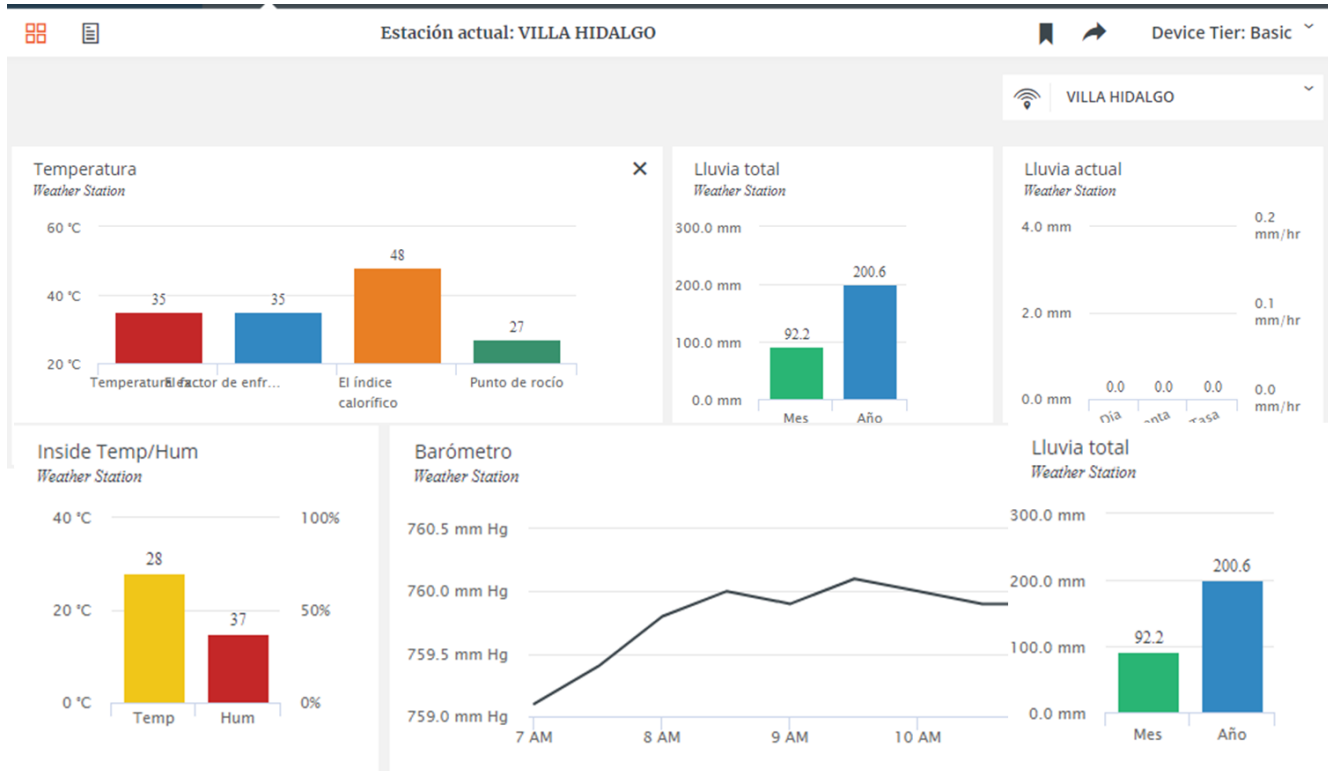


Figura 21. Pantalla principal de la página de Weatherlink.com.

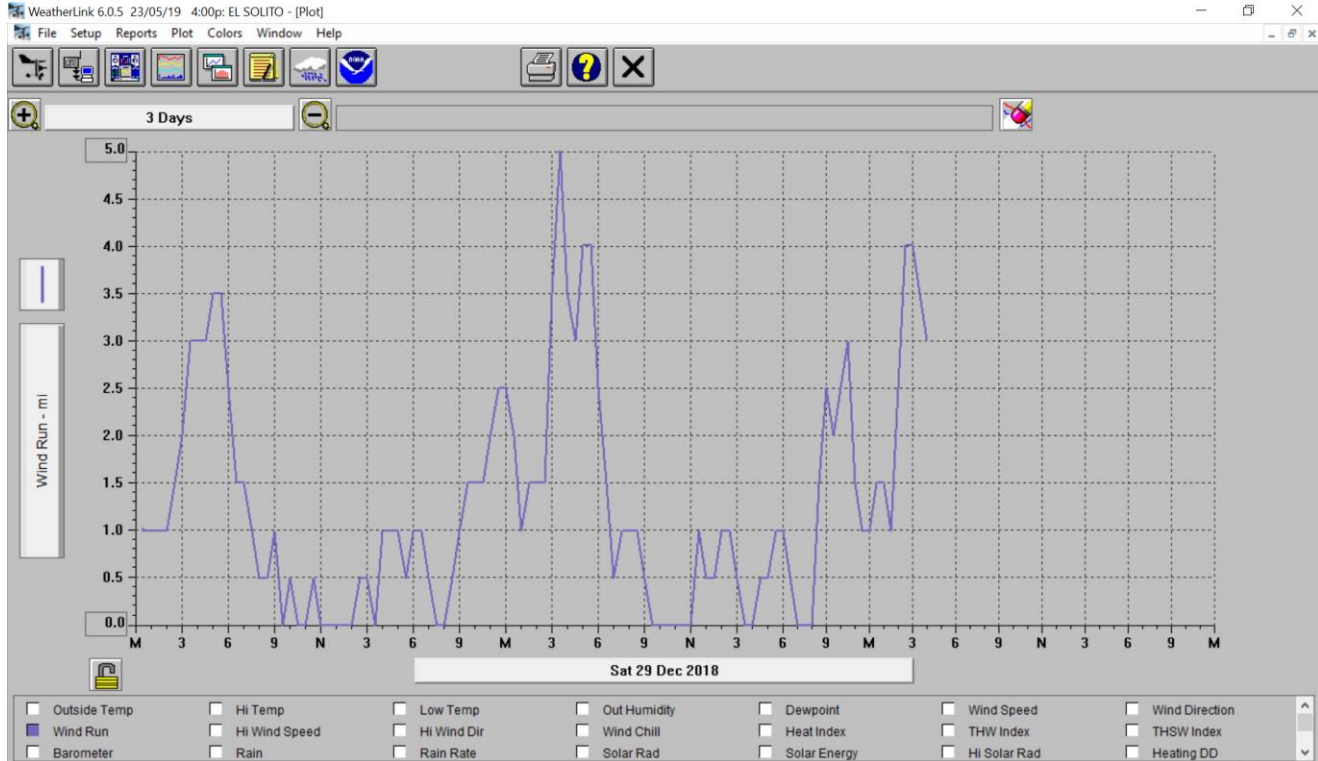


Figura 22. Velocidad del viento en el día 29 de diciembre en la estación “EL Solito”.

WeatherLink 6.0.5 23/05/19 4:28p: EL SOLITO - [Browse Records]

Date	Time	Temp Out	Hi Temp	Low Temp	Out Hum	Dew Pt.	Wind Speed	Wind Dir	Wind Run	Hi Wind Speed	Hi Wind Dir	Wind Chill	Heat Index	THW Index	THSW Index	Bar	Rain Rate	Solar Rad.	Solar Energy	Hi Solar Rad.
29/12/18	12:00a	85.2	85.2	83.1	58	68.8	3.0	SSE	1.50	7.0	SSE	85.2	89.1	89.1	---	30.084	0.00	0.00	---	---
29/12/18	12:30a	87.5	87.5	85.2	51	67.1	2.0	SE	1.00	7.0	SSE	87.5	90.8	90.8	---	30.071	0.00	0.00	---	---
29/12/18	1:00a	89.0	89.1	87.5	43	63.6	2.0	SE	1.00	7.0	E	89.0	90.5	90.5	---	30.052	0.00	0.00	---	---
29/12/18	1:30a	91.1	91.5	89.0	37	61.2	2.0	S	1.00	7.0	NW	91.1	91.6	91.6	---	30.038	0.00	0.00	---	---
29/12/18	2:00a	92.8	92.8	91.0	40	64.9	2.0	W	1.00	6.0	SSE	92.8	95.4	95.4	---	30.029	0.00	0.00	---	---
29/12/18	2:30a	92.0	93.2	91.3	37	62.0	3.0	NE	1.50	10.0	N	92.0	93.0	93.0	---	30.013	0.00	0.00	---	---
29/12/18	3:00a	91.7	92.4	91.7	50	70.4	4.0	NNE	2.00	11.0	NW	91.7	98.1	98.1	---	30.009	0.00	0.00	---	---
29/12/18	3:30a	89.8	91.6	89.8	52	69.8	6.0	NW	3.00	12.0	N	89.8	95.4	95.4	---	30.001	0.00	0.00	---	---
29/12/18	4:00a	89.1	90.0	89.1	53	69.7	6.0	NNW	3.00	12.0	NW	89.1	94.5	94.5	---	29.990	0.00	0.00	---	---
29/12/18	4:30a	88.3	89.1	88.3	55	70.1	6.0	NW	3.00	13.0	NNW	88.3	93.8	93.8	---	29.994	0.00	0.00	---	---
29/12/18	5:00a	86.3	88.4	86.3	58	69.8	7.0	NNW	3.50	12.0	NNW	86.3	91.1	91.1	---	29.998	0.00	0.00	---	---
29/12/18	5:30a	83.9	86.3	83.9	60	68.5	7.0	NNW	3.50	11.0	NNW	83.9	87.3	87.3	---	30.005	0.00	0.00	---	---
29/12/18	6:00a	82.3	83.9	82.3	66	69.8	5.0	NW	2.50	11.0	NW	82.3	86.2	86.2	---	30.011	0.00	0.00	---	---
29/12/18	6:30a	79.8	82.3	79.8	74	70.8	3.0	NW	1.50	6.0	NW	79.8	83.5	83.5	---	30.016	0.00	0.00	---	---
29/12/18	7:00a	76.9	79.7	76.9	82	71.0	3.0	WNW	1.50	4.0	NW	76.9	79.8	79.8	---	30.024	0.00	0.00	---	---
29/12/18	7:30a	74.8	76.9	74.8	86	70.3	2.0	WNW	1.00	4.0	WNW	74.8	77.2	77.2	---	30.034	0.00	0.00	---	---
29/12/18	8:00a	74.1	74.8	74.1	87	70.0	1.0	WNW	0.50	3.0	WNW	74.1	76.3	76.3	---	30.046	0.00	0.00	---	---
29/12/18	8:30a	73.2	74.1	73.2	88	69.4	1.0	WNW	0.50	4.0	NW	73.2	75.2	75.2	---	30.070	0.00	0.00	---	---
29/12/18	9:00a	72.5	73.2	72.5	90	69.4	2.0	NW	1.00	3.0	NW	72.5	74.6	74.6	---	30.076	0.00	0.00	---	---
29/12/18	9:30a	72.5	72.6	71.9	92	70.0	0.0	---	0.00	0.0	---	72.5	74.8	74.8	---	30.079	0.00	0.00	---	---
29/12/18	10:00a	71.8	72.5	71.8	93	69.7	1.0	W	0.50	3.0	WNW	71.8	74.2	74.2	---	30.088	0.00	0.00	---	---
29/12/18	10:30a	69.9	71.8	69.9	94	68.1	0.0	W	0.00	2.0	W	69.9	72.4	72.4	---	30.086	0.00	0.00	---	---
29/12/18	11:00a	69.2	69.9	69.2	94	67.4	0.0	---	0.00	0.0	---	69.2	71.6	71.6	---	30.082	0.00	0.00	---	---
29/12/18	11:30a	68.7	69.2	68.6	95	67.2	1.0	SSE	0.50	4.0	SSW	68.7	71.1	71.1	---	30.081	0.00	0.00	---	---
29/12/18	12:00p	68.1	68.7	68.1	95	66.6	0.0	SSE	0.00	2.0	SSE	68.1	70.2	70.2	---	30.079	0.00	0.00	---	---
29/12/18	12:30p	67.4	68.1	67.4	95	65.9	0.0	SSE	0.00	1.0	SSE	67.4	69.3	69.3	---	30.069	0.00	0.00	---	---
29/12/18	1:00p	66.5	67.4	66.5	96	65.3	0.0	---	0.00	0.0	---	66.5	68.4	68.4	---	30.073	0.00	0.00	---	---
29/12/18	1:30p	66.4	66.7	66.0	96	65.2	0.0	---	0.00	0.0	---	66.4	68.2	68.2	---	30.065	0.00	0.00	---	---
29/12/18	2:00p	65.1	66.5	65.1	95	63.6	0.0	E	0.00	3.0	E	65.1	66.5	66.5	---	30.060	0.00	0.00	---	---
29/12/18	2:30p	65.3	65.3	64.4	97	64.4	1.0	ENE	0.50	3.0	ENE	65.3	67.1	67.1	---	30.056	0.00	0.00	---	---
29/12/18	3:00p	65.3	65.6	65.2	97	64.4	1.0	SE	0.50	4.0	SSE	65.3	67.1	67.1	---	30.056	0.00	0.00	---	---
29/12/18	3:30p	64.1	65.3	64.1	95	62.6	0.0	SE	0.00	3.0	SE	64.1	65.3	65.3	---	30.052	0.00	0.00	---	---
29/12/18	4:00p	63.2	64.1	63.2	94	61.4	2.0	SE	1.00	5.0	SSE	63.2	64.2	64.2	---	30.040	0.00	0.00	---	---
29/12/18	4:30p	62.9	63.2	62.9	93	60.8	2.0	SSE	1.00	4.0	SSE	62.9	63.8	63.8	---	30.044	0.00	0.00	---	---
29/12/18	5:00p	62.6	62.9	62.4	93	60.5	2.0	ESE	1.00	3.0	SE	62.6	63.4	63.4	---	30.038	0.00	0.00	---	---

Figura 23. Registro de las variables climatológicas el día 29 de diciembre de 2018 en la estación “El Solito”.

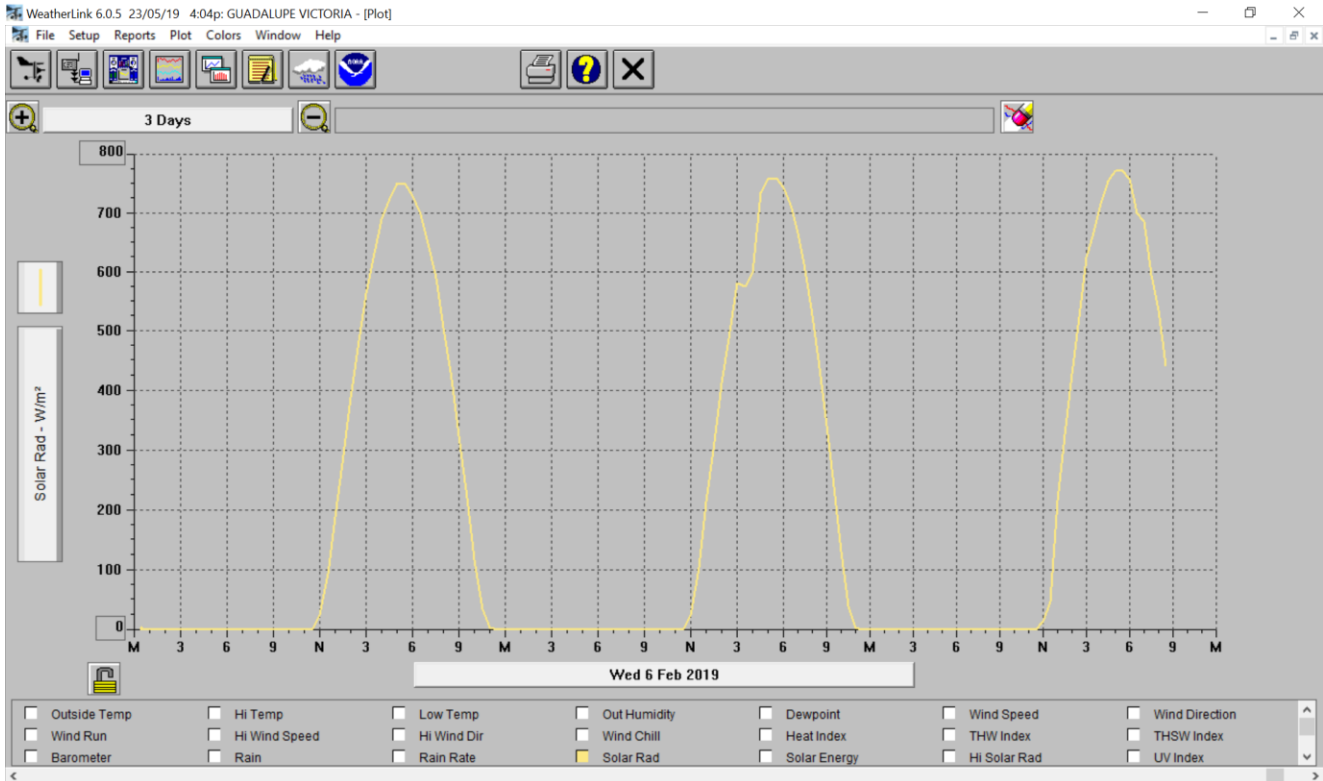


Figura 24. Radiación solar en el día 6 de febrero de 2019 en la estación “Guadalupe Victoria”.

WeatherLink 6.0.5 23/05/19 4:25p: GUADALUPE VICTORIA - [Browse Records]

Date	Time	Temp Out	Hi Temp	Low Temp	Out Hum	Dew Pt.	Wind Speed	Wind Dir	Wind Run	Hi Wind Speed	Hi Wind Dir	Wind Chill	Heat Index	THW Index	THSW Index	Bar	Rain	Rain Rate	Solar Rad.	Solar Energy	Hi Solar Rad.	Solar Ind	Ua
7/02/19	12:00a	74.7	75.1	74.7	74	65.9	1.0	N	0.50	3.0	N	74.7	76.3	76.3	---	29.974	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0
7/02/19	12:30a	73.6	74.8	73.6	75	65.2	1.0	N	0.50	4.0	NE	73.6	75.0	75.0	---	29.995	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0
7/02/19	1:00a	73.1	73.6	73.0	77	65.5	0.0	NE	0.00	2.0	NE	73.1	74.6	74.6	---	30.003	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0
7/02/19	1:30a	72.2	73.1	72.2	80	65.7	1.0	NE	0.50	3.0	NE	72.2	73.7	73.7	---	30.011	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0
7/02/19	2:00a	71.6	72.2	71.6	80	65.1	0.0	NE	0.00	2.0	NE	71.6	73.1	73.1	---	30.011	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0
7/02/19	2:30a	70.3	71.6	70.3	82	64.5	0.0	NE	0.00	1.0	NE	70.3	71.8	71.8	---	30.010	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0
7/02/19	3:00a	70.2	70.4	70.1	88	66.5	0.0	NE	0.00	2.0	NE	70.2	72.1	72.1	---	30.004	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0
7/02/19	3:30a	69.6	70.3	69.6	87	65.6	0.0	NE	0.00	2.0	NE	69.6	71.5	71.5	---	30.008	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0
7/02/19	4:00a	69.0	69.6	69.0	88	65.3	0.0	---	0.00	0.0	---	69.0	71.0	71.0	---	30.003	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0
7/02/19	4:30a	68.6	69.0	68.6	88	64.9	0.0	---	0.00	0.0	---	68.6	70.4	70.4	---	29.991	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0
7/02/19	5:00a	66.6	68.6	66.3	89	63.3	1.0	NE	0.50	5.0	NE	66.6	68.0	68.0	---	29.993	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0
7/02/19	5:30a	67.0	67.4	66.5	90	64.0	0.0	NNE	0.00	2.0	NNE	67.0	68.6	68.6	---	29.982	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0
7/02/19	6:00a	67.3	67.5	67.0	91	64.6	1.0	NNE	0.50	2.0	NNE	67.3	69.0	69.0	---	29.981	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0
7/02/19	6:30a	66.1	67.5	66.1	91	63.4	2.0	ENE	1.00	4.0	ENE	66.1	67.5	67.5	---	29.978	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0
7/02/19	7:00a	67.2	67.2	66.1	92	64.8	1.0	ENE	0.50	3.0	ENE	67.2	68.9	68.9	---	29.979	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0
7/02/19	7:30a	65.3	67.2	65.3	91	62.6	1.0	ENE	0.50	6.0	S	65.3	66.5	66.5	---	29.976	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0
7/02/19	8:00a	64.8	65.4	64.7	91	62.1	4.0	S	2.00	6.0	S	64.8	65.9	65.9	---	29.963	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0
7/02/19	8:30a	64.2	64.8	64.2	91	61.5	3.0	S	1.50	5.0	S	64.2	65.2	65.2	---	29.964	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0
7/02/19	9:00a	64.1	64.4	64.1	91	61.4	2.0	SSE	1.00	5.0	SSE	64.1	65.1	65.1	---	29.959	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0
7/02/19	9:30a	63.2	64.3	62.9	91	60.5	1.0	SSE	0.50	4.0	SSE	63.2	64.0	64.0	---	29.953	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0
7/02/19	10:00a	62.4	63.3	62.4	91	59.7	1.0	E	0.50	4.0	SSE	62.4	63.1	63.1	---	29.950	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0
7/02/19	10:30a	62.5	62.9	62.4	89	59.2	3.0	SSE	1.50	5.0	SSE	62.5	63.1	63.1	---	29.958	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0
7/02/19	11:00a	62.4	62.6	62.4	87	58.5	3.0	S	1.50	5.0	SSE	62.4	62.8	62.8	---	29.964	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0
7/02/19	11:30a	62.8	62.8	62.4	87	58.9	1.0	S	0.50	5.0	SSE	62.8	63.3	63.3	---	29.973	0.00	0.00	1	0.04	9	0	
7/02/19	12:00p	63.3	63.3	62.8	87	59.4	1.0	S	0.50	4.0	S	63.3	63.9	63.9	---	29.979	0.00	0.00	24	1.03	44	0	
7/02/19	12:30p	66.1	66.1	63.3	84	61.1	2.0	S	1.00	5.0	SSE	66.1	67.0	67.0	---	29.984	0.00	0.00	104	4.47	155	0	
7/02/19	1:00p	68.8	68.8	66.1	83	63.4	3.0	S	1.50	7.0	SSE	68.8	70.4	70.4	---	29.991	0.00	0.00	214	9.20	265	0	
7/02/19	1:30p	71.8	71.8	68.8	82	66.0	3.0	S	1.50	6.0	S	71.8	73.4	73.4	---	29.994	0.00	0.00	316	13.59	364	0	
7/02/19	2:00p	74.9	74.9	71.9	77	67.2	3.0	SE	1.50	7.0	SE	74.9	76.7	76.7	---	30.007	0.00	0.00	413	17.76	459	0	
7/02/19	2:30p	77.4	77.4	74.9	73	68.1	4.0	ENE	2.00	9.0	NE	77.4	79.5	79.5	---	30.025	0.00	0.00	501	21.55	540	0	
7/02/19	3:00p	79.3	79.3	77.4	70	68.7	4.0	ENE	2.00	9.0	ENE	79.3	82.0	82.0	---	30.022	0.00	0.00	582	25.03	619	0	
7/02/19	3:30p	81.0	81.0	79.3	68	69.4	6.0	NE	3.00	12.0	NNE	81.0	84.4	84.4	---	30.018	0.00	0.00	577	24.81	661	0	
7/02/19	4:00p	82.2	82.2	80.9	53	63.4	6.0	NNE	3.00	11.0	NNE	82.2	83.3	83.3	---	30.005	0.00	0.00	599	25.76	754	0	
7/02/19	4:30p	83.6	83.9	82.2	49	62.4	6.0	NNE	3.00	11.0	NNE	83.6	84.4	84.4	---	29.990	0.00	0.00	734	31.57	823	0	
7/02/19	5:00p	84.8	84.8	83.6	47	62.3	3.0	N	1.50	9.0	NE	84.8	85.6	85.6	---	29.969	0.00	0.00	756	32.51	761	0	

Figura 25. Registro de las variables climatológicas el día 7 de febrero de 2019 en la estación “Guadalupe Victoria”.

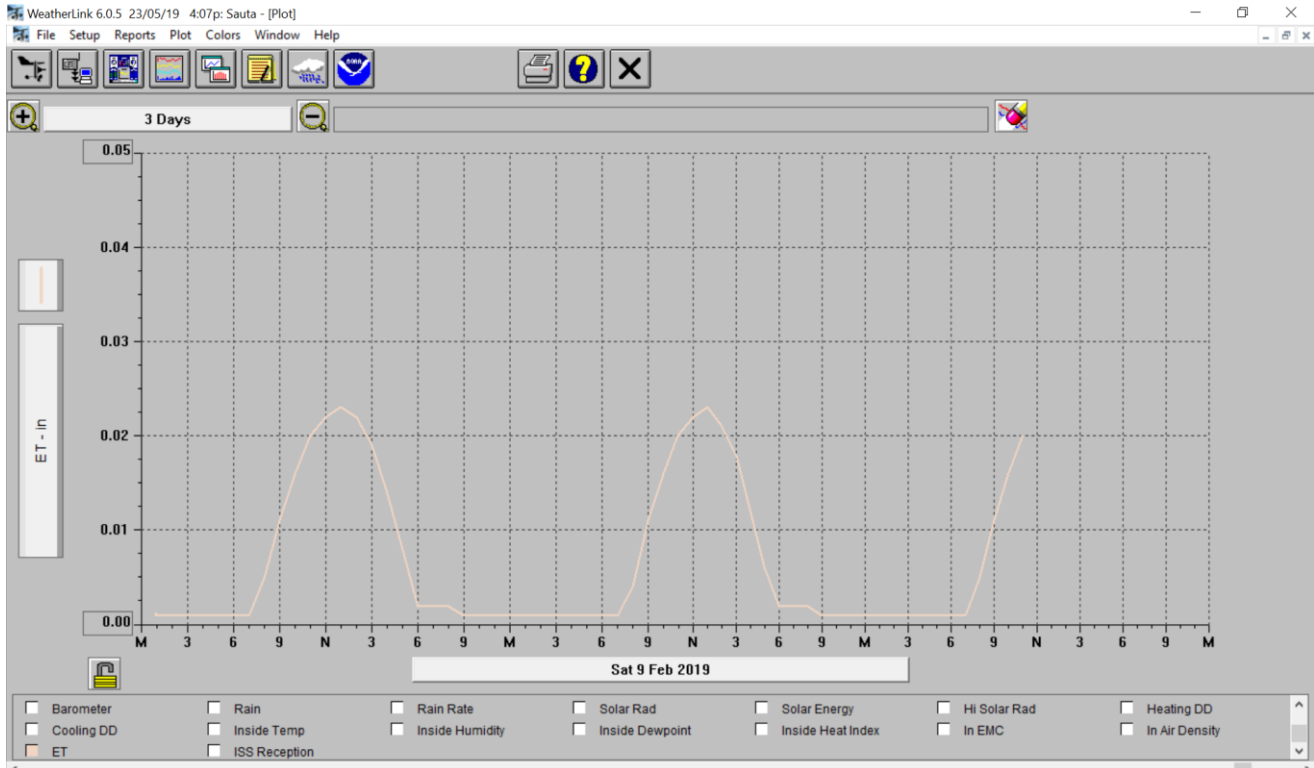


Figura 26. Evapotranspiración en el día 9 de febrero de 2019 en la estación “Sauta”.

Date	Time	Temp Out	Hi Temp	Low Temp	Out Hum	Dew Pt.	Wind Speed	Wind Dir	Wind Run	Hi	Hi	Wind Chill	Heat Index	THW	THSW	Bar	Rain	Rain Rate	Solar Rad.	Solar Energy	Hi	Solar Rad.
10/02/19	12:00a	66.6	66.6	66.3	73	57.7	1.0	WSW	0.50	3.0	S	66.6	66.9	66.9	---	30.170	0.00	0.00	0	0.00	0	0
10/02/19	12:30a	66.5	66.6	66.4	73	57.6	1.0	WSW	0.50	4.0	SW	66.5	66.7	66.7	---	30.154	0.00	0.00	0	0.00	0	0
10/02/19	1:00a	66.2	66.5	66.2	74	57.7	1.0	SW	0.50	3.0	SW	66.2	66.5	66.5	---	30.128	0.00	0.00	0	0.00	0	0
10/02/19	1:30a	66.0	66.6	65.9	74	57.5	1.0	WSW	0.50	3.0	WSW	66.0	66.2	66.2	---	30.130	0.00	0.00	0	0.00	0	0
10/02/19	2:00a	66.0	66.1	65.9	74	57.5	0.0	ENE	0.00	2.0	ENE	66.0	66.2	66.2	---	30.134	0.00	0.00	0	0.00	0	0
10/02/19	2:30a	65.8	66.1	65.8	74	57.3	1.0	SW	0.50	4.0	SSE	65.8	66.0	66.0	---	30.121	0.00	0.00	0	0.00	0	0
10/02/19	3:00a	64.9	65.9	64.9	74	56.4	1.0	WSW	0.50	4.0	WSW	64.9	64.9	64.9	---	30.119	0.00	0.00	0	0.00	0	0
10/02/19	3:30a	64.6	65.0	64.5	74	56.1	1.0	SSE	0.50	4.0	S	64.6	64.5	64.5	---	30.110	0.00	0.00	0	0.00	0	0
10/02/19	4:00a	65.2	65.2	64.6	74	56.7	1.0	SSE	0.50	4.0	SSE	65.2	65.3	65.3	---	30.087	0.00	0.00	0	0.00	0	0
10/02/19	4:30a	65.4	65.4	65.2	74	56.9	1.0	SSE	0.50	4.0	SSE	65.4	65.5	65.5	---	30.086	0.00	0.00	0	0.00	0	0
10/02/19	5:00a	65.5	65.6	65.4	73	56.6	0.0	SSE	0.00	2.0	SSE	65.5	65.5	65.5	---	30.088	0.00	0.00	0	0.00	0	0
10/02/19	5:30a	66.1	66.1	65.5	73	57.2	1.0	SSE	0.50	3.0	SSE	66.1	66.3	66.3	---	30.093	0.00	0.00	0	0.00	0	0
10/02/19	6:00a	65.6	66.2	65.6	73	56.7	1.0	S	0.50	2.0	S	65.6	65.7	65.7	---	30.098	0.00	0.00	0	0.00	0	0
10/02/19	6:30a	65.2	65.7	65.2	74	56.7	0.0	ESE	0.00	2.0	S	65.2	65.3	65.3	---	30.111	0.00	0.00	3	0.13	11	0
10/02/19	7:00a	65.0	65.2	64.9	74	56.5	0.0	ESE	0.00	2.0	ESE	65.0	65.0	65.0	---	30.127	0.00	0.00	33	1.42	47	0
10/02/19	7:30a	66.3	66.3	65.0	73	57.4	0.0	ESE	0.00	2.0	ESE	66.3	66.5	66.5	---	30.144	0.00	0.00	66	2.84	223	0
10/02/19	8:00a	70.5	70.5	66.4	67	59.0	1.0	SE	0.50	3.0	SE	70.5	70.6	70.6	---	30.166	0.00	0.00	281	12.08	332	0
10/02/19	8:30a	74.8	74.8	70.5	64	61.8	1.0	SSE	0.50	4.0	E	74.8	75.5	75.5	---	30.174	0.00	0.00	386	16.60	452	0
10/02/19	9:00a	76.7	76.9	74.8	60	61.8	1.0	NE	0.50	7.0	NNE	76.7	77.2	77.2	---	30.183	0.00	0.00	490	21.07	550	0
10/02/19	9:30a	78.0	78.0	76.1	58	62.0	2.0	SE	1.00	8.0	NNE	78.0	78.5	78.5	---	30.183	0.00	0.00	561	24.13	633	0
10/02/19	10:00a	78.1	78.6	77.4	57	61.6	2.0	NNW	1.00	9.0	NNW	78.1	78.6	78.6	---	30.154	0.00	0.00	647	27.82	686	0
10/02/19	10:30a	79.9	80.0	77.7	54	61.8	2.0	W	1.00	6.0	E	79.9	80.5	80.5	---	30.142	0.00	0.00	712	30.62	738	0
10/02/19	11:00a	81.7	81.7	79.9	50	61.2	2.0	WSW	1.00	7.0	WSW	81.7	82.2	82.2	---	30.135	0.00	0.00	761	32.73	779	0
10/02/19	11:30a	82.2	82.2	81.5	53	63.4	3.0	NW	1.50	8.0	WSW	82.2	83.3	83.3	---	30.120	0.00	0.00	788	33.89	795	0
10/02/19	12:00p	83.6	83.7	82.3	49	62.4	3.0	NW	1.50	9.0	NW	83.6	84.4	84.4	---	30.107	0.00	0.00	797	34.28	800	0
10/02/19	12:30p	85.5	85.5	83.5	47	63.0	4.0	N	2.00	10.0	N	85.5	86.6	86.6	---	30.098	0.00	0.00	789	33.93	798	0
10/02/19	1:00p	85.4	85.8	85.1	43	60.4	6.0	N	3.00	13.0	N	85.4	85.5	85.5	---	30.086	0.00	0.00	766	32.94	777	0
10/02/19	1:30p	87.0	87.0	85.4	50	66.1	6.0	N	3.00	13.0	NNW	87.0	89.6	89.6	---	30.082	0.00	0.00	653	28.08	759	0
10/02/19	2:00p	85.9	87.1	85.7	49	64.5	8.0	NW	4.00	16.0	NW	85.7	87.6	87.4	---	30.085	0.00	0.00	670	28.81	759	0
10/02/19	2:30p	84.4	86.2	84.3	51	64.3	8.0	N	4.00	18.0	N	84.1	86.0	85.7	---	30.082	0.00	0.00	588	25.29	629	0
10/02/19	3:00p	84.0	84.5	83.5	53	65.0	7.0	N	3.50	15.0	N	84.0	85.9	85.9	---	30.079	0.00	0.00	500	21.50	547	0
10/02/19	3:30p	83.2	84.1	83.0	55	65.4	7.0	NNW	3.50	13.0	N	83.2	85.1	85.1	---	30.088	0.00	0.00	405	17.42	457	0
10/02/19	4:00p	82.5	83.5	82.2	55	64.7	6.0	NW	3.00	12.0	NW	82.5	84.1	84.1	---	30.100	0.00	0.00	305	13.12	362	0
10/02/19	4:30p	81.2	82.4	81.1	56	64.0	5.0	NW	2.50	12.0	NNW	81.2	82.4	82.4	---	30.104	0.00	0.00	200	8.60	253	0
10/02/19	5:00p	79.3	81.2	79.3	58	63.2	4.0	NW	2.00	9.0	WNW	79.3	80.1	80.1	---	30.105	0.00	0.00	75	3.23	139	0

Figura 27. Registro de las variables climatológicas el día 10 de febrero de 2019 en la estación “Sauta”.

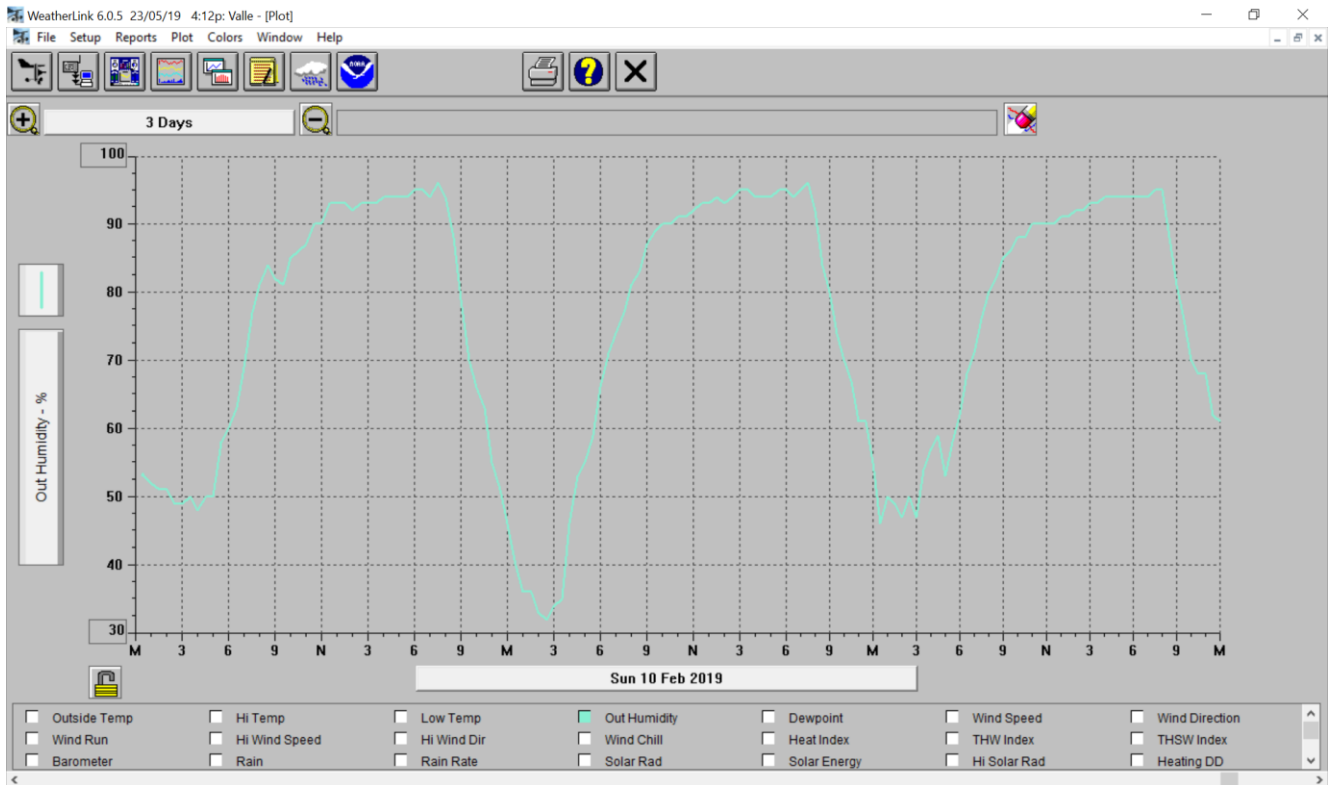


Figura 28. Registro de Humedad en el día 10 de febrero de 2019 en la estación “Valle Lerma”.

WeatherLink 6.0.5 23/05/19 4:31p: Valle - [Browse Records]

Date	Time	Temp Out	Hi Temp	Low Temp	Out Hum	Dew Pt.	Wind Speed	Wind Dir	Wind Run	Hi Wind Speed	Hi Wind Dir	Wind Chill	Heat Index	THW Index	THSW Index	Bar	Rain Rate	Solar Rad.	Solar Energy	Hi Solar Rad.	
12/02/19	12:00a	86.9	86.9	86.1	55	68.8	3.0	W	1.50	9.0	NNW	86.9	91.1	91.1	---	30.123	0.00	0.00	768	33.03	779
12/02/19	12:30a	88.5	88.5	86.9	46	65.1	3.0	W	1.50	9.0	NNW	88.5	90.7	90.7	---	30.102	0.00	0.00	782	33.63	786
12/02/19	1:00a	88.3	88.5	88.2	50	67.3	3.0	W	1.50	9.0	NNW	88.3	91.7	91.7	---	30.087	0.00	0.00	778	33.46	786
12/02/19	1:30a	88.8	89.0	88.1	49	67.2	3.0	W	1.50	9.0	NNW	88.8	92.3	92.3	---	30.070	0.00	0.00	754	32.43	765
12/02/19	2:00a	89.3	90.1	88.8	47	66.4	3.0	W	1.50	11.0	NNW	89.3	92.4	92.4	---	30.063	0.00	0.00	714	30.71	738
12/02/19	2:30a	89.7	90.1	89.3	50	68.6	3.0	W	1.50	8.0	NW	89.7	94.3	94.3	---	30.054	0.00	0.00	654	28.13	686
12/02/19	3:00a	90.1	90.1	89.3	47	67.2	4.0	NW	2.00	10.0	N	90.1	93.7	93.7	---	30.046	0.00	0.00	584	25.12	621
12/02/19	3:30a	89.6	90.9	89.6	54	70.8	3.0	W	1.50	10.0	NW	89.6	95.9	95.9	---	30.038	0.00	0.00	497	21.37	543
12/02/19	4:00a	87.6	89.5	87.6	57	70.5	5.0	W	2.50	13.0	NNW	87.6	93.2	93.2	---	30.040	0.00	0.00	406	17.46	454
12/02/19	4:30a	85.9	87.6	85.9	59	69.9	5.0	W	2.50	12.0	NNW	85.9	90.7	90.7	---	30.054	0.00	0.00	304	13.07	353
12/02/19	5:00a	83.9	85.9	83.9	53	64.9	5.0	W	2.50	13.0	NW	83.9	85.7	85.7	---	30.064	0.00	0.00	198	8.52	251
12/02/19	5:30a	81.4	83.9	81.4	58	65.2	4.0	NW	2.00	12.0	NNW	81.4	83.0	83.0	---	30.067	0.00	0.00	91	3.91	141
12/02/19	6:00a	79.5	81.4	79.4	62	65.3	1.0	NW	0.50	4.0	W	79.5	80.9	80.9	---	30.080	0.00	0.00	20	0.86	46
12/02/19	6:30a	77.3	79.5	77.3	68	65.9	1.0	W	0.50	4.0	NW	77.3	78.8	78.8	---	30.113	0.00	0.00	0	0.00	5
12/02/19	7:00a	75.8	77.3	75.8	71	65.7	1.0	W	0.50	4.0	W	75.8	77.3	77.3	---	30.120	0.00	0.00	0	0.00	0
12/02/19	7:30a	73.5	75.8	73.5	76	65.5	0.0	---	0.00	0.0	---	73.5	75.0	75.0	---	30.124	0.00	0.00	0	0.00	0
12/02/19	8:00a	71.5	73.5	71.5	80	65.0	0.0	---	0.00	0.0	---	71.5	73.0	73.0	---	30.129	0.00	0.00	0	0.00	0
12/02/19	8:30a	70.1	71.6	70.0	82	64.3	0.0	---	0.00	0.0	---	70.1	71.6	71.6	---	30.141	0.00	0.00	0	0.00	0
12/02/19	9:00a	69.3	70.1	69.3	85	64.6	0.0	---	0.00	0.0	---	69.3	71.1	71.1	---	30.143	0.00	0.00	0	0.00	0
12/02/19	9:30a	68.3	69.3	68.3	86	63.9	0.0	---	0.00	0.0	---	68.3	69.9	69.9	---	30.149	0.00	0.00	0	0.00	0
12/02/19	10:00a	67.4	68.3	67.4	88	63.7	0.0	---	0.00	0.0	---	67.4	68.9	68.9	---	30.156	0.00	0.00	0	0.00	0
12/02/19	10:30a	66.3	67.4	66.3	88	62.6	0.0	---	0.00	0.0	---	66.3	67.5	67.5	---	30.159	0.00	0.00	0	0.00	0
12/02/19	11:00a	65.9	66.3	65.8	90	62.9	0.0	---	0.00	0.0	---	65.9	67.2	67.2	---	30.162	0.00	0.00	0	0.00	0
12/02/19	11:30a	65.5	66.1	65.5	90	62.5	0.0	---	0.00	0.0	---	65.5	66.7	66.7	---	30.163	0.00	0.00	0	0.00	0
12/02/19	12:00p	65.6	65.6	65.4	90	62.6	0.0	S	0.00	2.0	S	65.6	66.8	66.8	---	30.153	0.00	0.00	0	0.00	0
12/02/19	12:30p	65.4	65.8	65.4	90	62.4	0.0	S	0.00	2.0	S	65.4	66.6	66.6	---	30.141	0.00	0.00	0	0.00	0
12/02/19	1:00p	65.1	65.4	65.0	91	62.4	0.0	---	0.00	0.0	---	65.1	66.3	66.3	---	30.131	0.00	0.00	0	0.00	0
12/02/19	1:30p	64.9	65.2	64.9	91	62.2	1.0	SE	0.50	3.0	SE	64.9	66.0	66.0	---	30.108	0.00	0.00	0	0.00	0
12/02/19	2:00p	64.8	65.0	64.8	92	62.4	0.0	SE	0.00	2.0	SE	64.8	66.0	66.0	---	30.113	0.00	0.00	0	0.00	0
12/02/19	2:30p	64.5	64.8	64.5	92	62.1	0.0	SE	0.00	1.0	SE	64.5	65.6	65.6	---	30.110	0.00	0.00	0	0.00	0
12/02/19	3:00p	64.5	64.7	64.5	93	62.4	0.0	SE	0.00	2.0	SE	64.5	65.7	65.7	---	30.095	0.00	0.00	0	0.00	0
12/02/19	3:30p	63.7	64.5	63.6	93	61.6	0.0	SE	0.00	2.0	SE	63.7	64.7	64.7	---	30.096	0.00	0.00	0	0.00	0
12/02/19	4:00p	63.8	63.8	63.6	94	62.0	0.0	SE	0.00	2.0	SE	63.8	64.9	64.9	---	30.087	0.00	0.00	0	0.00	0
12/02/19	4:30p	64.1	64.1	63.8	94	62.3	0.0	---	0.00	0.0	---	64.1	65.3	65.3	---	30.066	0.00	0.00	0	0.00	0
12/02/19	5:00p	64.3	64.3	64.0	94	62.5	0.0	---	0.00	0.0	---	64.3	65.5	65.5	---	30.064	0.00	0.00	0	0.00	0

Figura 29. Registro de las variables climatológicas el día 12 de febrero de 2019 en la estación “Valle Lerma”.

6.2 Seguimiento de riego en cultivos

En atención a las actividades RIGRAT el seguimiento de riego es una parte esencial del programa. En el Módulo II, Margen Izquierda, durante el ciclo Primavera – Verano el principal cultivo es el arroz.

Los responsables técnicos han dado seguimiento al riego durante el ciclo agrícola 2018-2019 en las parcelas de arroz que se enlistan en la Tabla 8 y se representan de manera gráfica en la Figura 30.

Como parte del seguimiento del riego, un punto importante es el seguimiento del consumo de agua en cada etapa fenológica contra la lámina aplicada de riegos definida con aforos puntuales más la lluvia efectiva. Entonces, como se observa en la gráfica de la Figura 31 el requerimiento al día 26/09/18 fue de 359.6 mm y la aportación hídrica por los riegos y lluvia fue de 1,077.1 mm encontrando un desfase a poco más de la mitad del ciclo de 717.5 mm de agua no requeridos por el cultivo.

La información recopilada para el cultivo del arroz refleja la administración del agua comparado con las necesidades reales, para de esta forma plantear nuevas estrategias de administración del agua conforme a las necesidades reales que permitan el uso más eficiente del agua y a su vez mejoren el rendimiento en cosechas.

Tabla 8. Listado de parcelas de arroz en las que se efectuó el seguimiento del riego en el Módulo III, MDRS.

LOTE	Usuario	Superficie (ha)	Gasto (l/s)	Fecha de inicio	Fecha actual	Volumen entregado (m ³)	Lámina (m)
RAMAL 0+300							
-	MARIO MEDINA ACEVES	14.00	8.40	8/23/2018	9/26/2018	24,675.84	0.176
-	MARIO MEDINA ACEVES	40.00	16.40	8/21/2018	9/26/2018	51,010.56	0.128
-	HÉCTOR CORNELIO SANABRIA	44.00	24.75	8/17/2018	9/26/2018	85,536.00	0.194
TOMA							
2404-1	GABRIELA SALAMANCA ALMEIDA	12.00	27.26	9/10/2018	9/26/2018	37,685.43	0.314
2405-1	FRANCISCO PINEDA LÓPEZ	11.00	24.99	9/10/2018	9/26/2018	34,544.97	0.314
TOMA							
2265-0	SILVERIO ZERMEÑO ACOSTA	4.25	15.93	9/1/2018	9/26/2018	34,408.00	0.810
2273-0	SALVADOR ARELLANO AGUIRRE	3.00	11.24	9/1/2018	9/26/2018	24,288.00	0.810
2273-1	VICENTE ARELLANO AGUIRRE	4.00	14.99	9/1/2018	9/26/2018	32,384.00	0.810
2381-0	ENRIQUE CERVANTES ABRICA	10.67	15.20	9/10/2018	9/26/2018	21,012.48	0.197
2264-0	FULGENCIO CÁRDENAS RAMÍREZ	2.19	8.40	9/3/2018	9/26/2018	16,692.48	0.762
2237-0	AMAURI PRADO VELÁZQUEZ	2.52	10.56	9/2/2018	9/26/2018	21,897.22	0.869
1194-1	ALBINA SANTANA GARCÍA	7.00	18.37	9/10/2018	9/26/2018	25,390.08	0.363
2239-0	FORMERIO CRUZ GONZÁLEZ	13.00	27.60	9/1/2018	9/26/2018	59,616.00	0.459
		13.00	10.34	9/1/2018	9/26/2018	22,341.60	0.172

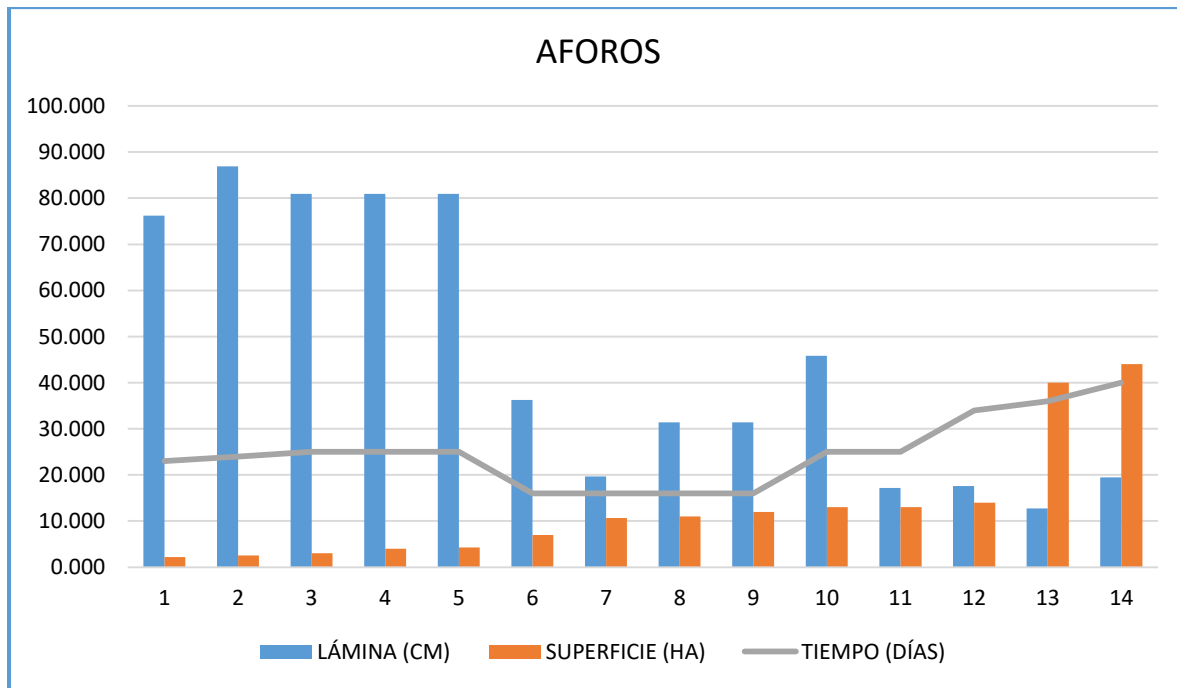


Figura 30. Láminas de riego entregadas y superficies en parcelas de arroz en donde se efectuó el seguimiento del riego.

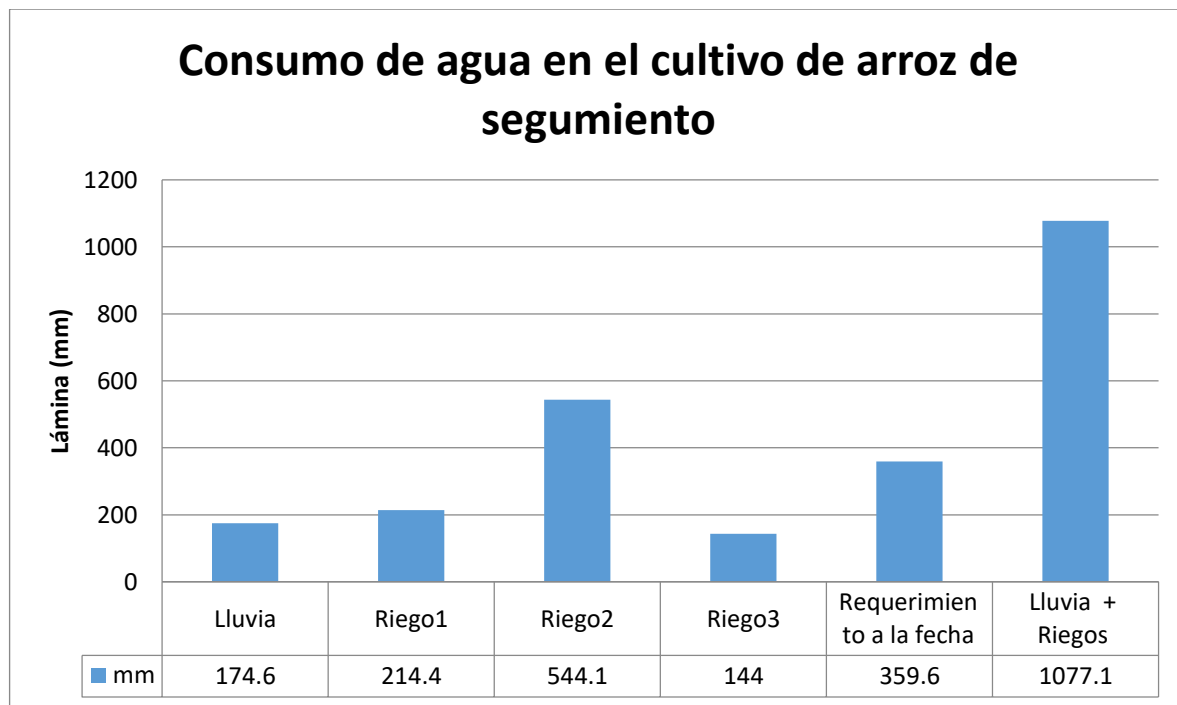


Figura 31. Gráfica de la demanda hídrica del cultivo contra el agua aportada en riegos más la precipitación.

7. Asesoría para la medición y el cobro volumétrico del agua de riego a nivel parcelario

Una de las actividades importantes realizadas en el marco del RIGRAT fue la asesoría y capacitación a Técnicos Distribuidores de Agua en el aforo en tomas granja para obtener las láminas de riego aplicadas en función del gasto y el tiempo de riego (Figura 32 y Figura 33).



Figura 32. Capacitación a canaleros del Módulo II, Margen Izquierda.



Figura 33. Capacitación a canaleros del Módulo III, Margen Derecha.

Para la determinación de la velocidad del agua en los canales y regaderas en las parcelas se cuenta con instrumentos (molinete) digitales de la marca *Flowatch*. Los instrumentos cuentan con una propela o hélice protegida y un bastón con una pantalla *LCD* para mostrar la velocidad del agua. El caudal se obtiene determinando la sección transversal y utilizando el método de sección y velocidad.



Figura 34. Molinete digital utilizado para la medición del flujo de agua de riego a nivel parcelario.



CONCLUSIONES

Se realizó la labor de **difusión y promoción** del proyecto RIGRAT dentro del Distrito de Riego 043 Estado de Nayarit en los Módulos II y III, Márgenes Izquierda y Derecha, respectivamente. Como resultado de tal actividad, se han **seleccionado** 2,000 ha para la superficie RIGRAT, por lo que actualmente se trabaja en 6,000 ha del DR 043. Para atender la superficie seleccionada fue necesario incorporar **dos responsables técnicos**, asignándole a cada uno 1,000 ha en donde se implementarán las acciones del programa.

Una de las actividades que cobró mayor importancia en este ciclo 2018-2019 fue la referente a los trabajos de nivelación de tierras. En este sentido, se brindó **asesoría para la elaboración de proyectos de nivelación de tierras** en una superficie de aproximada de 1,100 ha. De estos proyectos se ejecutaron y supervisaron los trabajos en 438.14 ha. También se realizaron **diseños de trazo de riego** en 165.94 hectáreas.

Se dio el **seguimiento del riego en tiempo real** con el apoyo del monitoreo de variables agroclimáticas que se obtienen de una red de estaciones meteorológicas instaladas en el marco del programa RIGRAT. En particular, se efectuó el seguimiento al riego en parcelas de arroz para plantear nuevas estrategias de administración del agua que permitan el uso más eficiente del agua y a su vez mejoren el rendimiento en cosechas.

En cuanto a la **asesoría para la medición y el cobro volumétrico del agua de riego a nivel parcelario** se dio asesoría y capacitación a Técnicos Distribuidores de Agua en el aforo en tomas granja.

Es importante destacar que al finalizar este ciclo 2018-2019, la componente del RIGRAT en el DR 043 ha alcanzado un grado de desarrollo significativo desde su implantación en el año 2016. Al contar con superficies niveladas en poco más de 400 ha, se tienen las condiciones para realizar, en el próximo ciclo, el diseño del riego (recetas) en las parcelas correspondientes, lo que buscará impactar en las láminas aplicadas y en los rendimientos de los cultivos. Por otro lado, se ha formado un equipo de responsables técnicos con capacidad y *expertis* para ejecutar de las acciones del programa, además que en el marco de esta componente se han adquirido equipos e instrumentos para llevar de mejor forma dichas acciones. Con base en lo anterior, se buscará que en el ciclo 2019-2020 sea el año en el que se consolide el programa y se vean reflejados con mayor claridad los impactos de éste.

Finalmente, se agradece el apoyo brindado por parte de todos los trabajadores y directivos de la Asociación de Usuarios. Las facilidades de las mesas directivas y gerencias de los Módulos de riego fueron de suma importancia para llevar a cabo las actividades que se programan en el marco de la componente Riego por Gravedad Tecnificado.



REFERENCIAS

CONAGUA, 2018. Manual de operación del componente riego por gravedad tecnificado. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/304376/Componente_Riego_por_Gravedad_Tecnificado_280218.pdf

Rendón, L., H. Saucedo y C. Fuentes. 2012. Diseño del riego por gravedad, en Riego por Gravedad, editado por Carlos Fuentes y Luis Rendón. Universidad Autónoma de Querétaro, 358 p.

Hernández-Saucedo, R., L. Rendón, F. García y S. Pérez-Nieto. 2015. Herramientas para la asistencia técnica en riego por gravedad. I Congreso Nacional COMEII, Jiutepec, Morelos.

Ojeda, W., Sifuentes, E., González, J. M., Guillén González, J. A., y Unland, H. (2000). Pronóstico del riego en tiempo real. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 230 p.



ANEXOS

1. DATOS PERSONALES

ALEIDA MOTA LEZAMA

aleidamtz@gmail.com | +52 (045) 3313278289 | ING. EN IRRIGACIÓN TITULADA

IDIOMAS: INGLÉS [80%]

DOMICILIO: CALLE ISLAS CANARIAS No. 162 FRACCIONAMIENTO ISLAS DEL PARAISO, TEPIC.NAY.

DISPONIBILIDAD PARA VIAJAR: SI

EDAD: 25 AÑOS

LICENCIA DE CONDUCIR: SI

CURP: MOLA930915MPLTZL03

RFC: MOLA9309158T3

2. OBJETIVOS

APLICAR LOS CONOCIMIENTOS Y HABILIDADES ADQUIRIDAS DURANTE LA FORMACIÓN EN IRRIGACIÓN PARA PROPONER, BRINDAR E INNOVAR METODOLOGÍAS PARA LA SOLUCIÓN EFECTIVA A LAS DIFERENTES PROBLEMATICAS EXISTENTES. DE MANERA ÉTICA Y MOSTRANDO LOS VALORES ADQUIRIDOS EN LA FORMACIÓN EDUCATIVA PARA EL BIENESTAR SOCIAL Y AMBIENTAL.

3. EXPERIENCIA LABORAL

- **TECNICO AUXILIAR/ SERVICIO SOCIAL/“ESTUDIO DE PROSPECCION GEOFISICA PARA LA REPOSICION DE POZO PROFUNDO DE AGUA, EN DOS COMUNIDADES DEL MUNICIPIO DE TEXCOCO, ESTADO DE MEXICO”/ TEXCOCO DE MORA, EDO. MÉXICO/ 12 DE JULIO DE 2014 AL 12 DE MAYO DE 2015.**
- **AUXILIAR DE DISEÑO / ESTANCIA PRE-PROFESIONAL MEXIQUEM. SOLUCIONES INTEGRALES / DISEÑOS DE SISTEMAS DE RIEGO POR MICROASPERSION Y GOTEIO / CUAUTITLAN. IZCALLI EDO DE MEXICO/ DEL 6 DE ENERO AL 1 DE ABRIL DE 2015/ ING. JOSE LUIS VARGAS ALVAREZ TEL.: (55)58999902**
- **EXPERIENCIA EN TRABAJO/ ITSA & RIEGOS S.A. DE C.V./PARTICIPACION EN EL AREA DE DISEÑO POR GOTEIO .- ENCARGADA DE LA VENTA DE EQUIPOS RELACIONADOS CON LA AGRICULTURA, EQUIPAMIENTO DE CLIMA Y RIEGO Y EQUIPO DE TOPOGRAFÍA DIRECTAMENTE A DISTRIBUIDORES., ENCARGADA DE SUPERVIZAR LA INSTALACION DE SISTEMAS DE RIEGO EN CAMPO.ENCARGA DE ENTRADA Y SALIDA DE MATERIAL DESTINADO PARA PROYECTOS.
GESTION DE PROYECTOS ANTE SAGARPA EN VENTANILLAS 2016. / BLVD. JIQUILPAN 950 PTE LOC 53 CENTRO LOS MOCHIS/ ALFREDO MAUDIEL GUTIERREZ HERNANDEZ / TELEFONO: 6871425127**
- **EXPERIENCIA EN TRABAJO/ GRITEC IRRIGATION. /PARTICIPACION EN EL AREA DE DISEÑO POR ASPERSION Y MICROASPERSION.- ENCARGA DE ENTRADA Y SALIDA DE MATERIAL DESTINADO PARA PROYECTOS. GESTION DE PROYECTOS ANTE SAGARPA, VENTANILLAS 2017. / AVENIDA COLON 2553B, COLON INDUSTRIAL.CP. 44930, GUADALAJARA JALISCO/ ING. JUAN CRUZ GUERRA /EMAIL: jcruz@gritecirrigation.com/ TELEFONO: (33) 32718846**

4. FORMACION ACADEMICA

- LICENCIATURA/ UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO/ 2011-2015/ ING. EN IRRIGACIÓN
- PREPARATORIA/ UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO/ 2008-2011/ PREPARATORIA AGRCIOLA

5. HABILIDADES ESPECIALIZADAS

- ✓ AUTOCAD 2016- 2018
- ✓ CIVIL 3D 2016- 2018
- ✓ EPANET
- ✓ REGACAD´S, WCADI [SOFTWARE PARA DISEÑO DE RIEGO]
- ✓ ARCGIS, ARCVIEW
- ✓ SURFER

6. PUBLICACIONES Y CURSOS

PARTICIPACIÓN EN EL PROGRAMA JÓVENES INVESTIGADORES DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO, DESARROLLANDO EL TEMA DE **"VERTEDORES TRIANGULARES"**, DURANTE 2 AÑOS CONSECUTIVOS.

PUBLICACIÓN DE TESIS PROFESIONAL **"PATRONES DE HUMEDECIMIENTO EN GOTEO SUPERFICIAL EN UN SUELO CON ADITIVOS ORGÁNICOS"**.

CURSO **"COMO DESARROLLAR ACTITUDES PARA LA VIDA LABORAL"**/ CHAPINGO 2014 UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO / OCTUBRE, 2014 / CONSTANCIA.

CURSO **"SISTEMAS DE RIEGO"** IMPARTIDA POR WADE RAIN/ LOS MOCHIS SINALOA/JUNIO,2016/CONSTANCIA

CURSO **"CAPACITACION A TÉCNICOS CAPACITADORES EN LOS PAQUETES TECNOLOGICOS DE LOS CULTIVOS DE JACA, GUANÁBANA, CACAHUATE, PLATANO, ARROZ, AGUACATE, MANGO, LIMON, SORGO, SANDIA Y CALABAZA EN EL ESTADO DE NAYARIT"**/ SANTIAGO IXCUINTLA, NAYARIT/SEPTIEMBRE 2018/CONSTANCIA.

6. APTITUDES

- PUNTUAL
- ORGANIZADA
- RESPONSABLE

ING. CINTHIA NALLELY GÓMEZ INTZIN

Nacionalidad: Mexicana.

Edad: 26 años.

Lugar de nacimiento: San Cristóbal de las Casas, Chiapas.

Fecha de nacimiento: 8 de enero 1993.

Dirección: Av. Chenalhó #58, Col. Erasto Urbina, San Cristóbal de las Casas, Chiapas.

CURP: GOIC930108MCSMNN06

Correo: cgomezintzin@gmail.com

Cel: 687 174 84 53

FORMACIÓN ACADÉMICA: INGENIERO EN IRRIGACIÓN. Cursado en el Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México (2011-2015).

TESIS PROFESIONAL: PROYECTO EJECUTIVO PARA TECNIFICACIÓN DE LA UNIDAD DE RIEGO “LAS ALAZANAS” MUNICIPIO DE PURUÁNDIRO, ESTADO DE MICHOACÁN.

EXPERIENCIA LABORAL

Diciembre de 2013	Servicio social. <ul style="list-style-type: none">Levantamiento topográfico para la tecnificación de unidad de riego “La Cofradía”
Enero-Marzo 2015	Estancia preprofesional en Rex Irrigación de Jalisco, S.A. de C.V. <ul style="list-style-type: none">Área de compras Conteo de material, recopilación de facturas, reconocimiento de piezas de PVC, contacto con proveedores para solicitud de cotizaciones.
Septiembre de 2015	Laboratorio de tecnologías hídricas innovadoras. <ul style="list-style-type: none">Actualización de información climática de la zona sureste de México.Elaboración de mapas de uso de suelo.
Febrero 2016-Febrero 2017	Hydropolys el mundo del agua, S.A. de C.V. <ul style="list-style-type: none">Compras y logística Cotizaciones y trato con proveedores Control de inventario Manejo de personal de almacén Coordinación de entrega de material en almacén y obra. Solicitud de líneas de crédito con los proveedores de mayor relevancia para la empresa.

Septiembre 2017-Mayo 2018	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación <ul style="list-style-type: none"> • Extensionismo Rural. Capacitación a cafecultores de la zona Altos del estado de Chiapas para introducción de innovaciones técnicas.
Julio 2018-Agosto 2018	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <ul style="list-style-type: none"> • Departamento General de Fibras Naturales y Biocombustibles. Predictaminación técnica de proyectos del componente de tecnificación del riego.
Septiembre 2018-Marzo 2019	Comisión Nacional del Agua <ul style="list-style-type: none"> • Programa S217 Apoyo a la infraestructura hidroagrícola. Componente RIGRAT. Elaboración de proyectos para nivelación de tierras, aforo y cálculo de volúmenes entregados a nivel parcelario, instalación de estaciones meteorológicas.
IDIOMAS	INGLÉS <ul style="list-style-type: none"> • Nivel intermedio
INFORMÁTICA	Paquetería de Microsoft Office, Surfer, CivilCAD, ArcGIS 10.1, EPANET, AutoCAD, Sinivet, SAI.

ADEMÁS:

- Disposición y rapidez para aprender o adquirir nuevos conocimientos.
- Habilidad para trabajar con nuevas tecnologías.
- Adaptable a trabajo en campo.
- Sentido de responsabilidad, humanidad y empatía.
- Energía positiva y alta capacidad de entablar relaciones.

TECHNICAL IMPROVEMENT OF SURFACE IRRIGATION IN NAYARIT STATE, MEXICO

TECHNICISATION DE L'IRRIGATION GRAVITAIRE DANS L'ÉTAT DE NAYARIT, MEXIQUE

Jesús Enrique Vázquez-Lizárraga¹, Felipe Zataráin² and Carlos Fuentes²

ABSTRACT

Of the total irrigated area of 116,230 ha in Nayarit state, Mexico; 52,717 ha is in the irrigation district (ID) 043, and the rest are in 401 small IDs, situated in the hydrologic-administrative regions North Pacific and Lerma-Santiago-Pacific. The irrigated area will increase by 43,000 ha with the Centenario canal Project. Mexican government, through National Water Commission (CONAGUA) has carried out the improved surface irrigation project (RIGRAT), with the objective of increasing the irrigation application efficiency in the plots. The RIGRAT is based on several studies using modelling tools and hydrodynamic soil characterization methodologies. The studies have shown that an adequate surface irrigation design allows high water application efficiencies. The first stage of the technical improvement of surface irrigation in the state of Nayarit has contemplated the incorporation of 2,000 ha to the RIGRAT project, located in the irrigation module on the right bank of the Santiago River. The main crops in this area are sugar cane, rice, grass, banana, corn and mango. In order to elaborate the designs of irrigation, the main activities of topographic surveys, hydrodynamic characterization of soils and inverse mathematical modelling were done. Potential results are exemplified by a plot of 34 ha planted with banana. With a flow of 34 l s^{-1} , the modification in the design implied a reduction of the irrigation time of 21 to 15 days. In the case of the right bank of the Santiago River, technically superior feed gravity irrigation is also an option for the farmer who acquires the services of a portable sprinkler irrigation system to irrigate his parcel. For sprinkler irrigation, users rent equipment and the approximate cost is 100 usd/ha irrigation. This is a substantial percentage of production costs and sometimes crops are cultivated in water deficit due to the lack of resources of the farmer. The efficiencies achieved with gravity irrigation are of the same order of magnitude as those of portable sprinkler irrigation with costs equivalent to 10 percent. These results have motivated the consideration of a second stage of the project which contemplates similar action on another 4,000 ha.

Keywords: tropical crops, soil hydraulic properties, surface irrigation design.

RÉSUMÉ

La superficie irriguée dans l'état de Nayarit, au Mexique, situé sur les régions hydrologique-administratives du Pacifique Nord et Lerma-Santiago-Pacifique est de

1 Comisión Nacional del Agua. Av. Insurgentes 1050 Oriente, Col. Menchaca, Tepic, Nayarit, C.P. 63150.
E mail: jesus.vazquezli@conagua.gob.mx

2 Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac Núm. 8532 Progreso, Jiutepec, Morelos. C.P. 62550. E mail: zatarainf@gmail.com; cbfuentesr@gmail.com

116.230 ha, dont 52.717 ha appartiennent au périmètre irrigué 043 « État de Nayarit » et le reste à 401 petites unités d'irrigation réparties sur le territoire de l'état. La surface sera augmentée avec la construction du canal « Centenaire » qui permettra l'intégration de 43.000 ha supplémentaire à l'irrigation. En général, comme le reste du pays, dans l'état de Nayarit prédomine l'irrigation gravitaire avec de faible efficacité d'application de l'eau. Le gouvernement fédéral mexicain à travers de la Commission Nationale de l'Eau (CONAGUA, appelée par son acronyme espagnol) a mis en œuvre dans le pays le projet d'Irrigation Gravitaire Technicisée (RIGRAT, appelée par son acronyme spagnol) afin d'accroître l'efficacité de l'application de l'irrigation dans les parcelles. Le projet RIGRAT est basé sur plusieurs études utilisant des outils de modélisation et de méthodologies de caractérisation hydrodynamique des sols dans lesquels il a été démontré que la conception appropriée de l'irrigation est essentielle pour une application efficace de l'eau. Une première étape de la modernisation de l'irrigation dans l'état de Nayarit a commencé avec 2.000 ha. Cette surface est située dans un module d'irrigation sur la rive droite de la rivière Santiago et les principales cultures sont la canne à sucre, le riz, le pâturage, les bananes, le maïs et la mangue. Pour développer des conceptions d'irrigation ont été faites les principales activités de topographie, caractérisation hydrodynamique du sol et la modélisation mathématique inverse sur des données de test d'irrigation menées à cet effet. Les résultats potentiels sont illustrés sur une parcelle de 34 hectares avec la culture de la banane. Avec un débit de 37 ls-1, la modification de la conception a permis une diminution du temps d'arrosage de 21 à 15 jours. Dans le cas de la rive droite de la rivière Santiago l'irrigation gravitaire technicisée s'érige également comme une option pour l'agriculteur qui acquiert les services d'un système d'aspersion portable pour irriguer sa parcelle. Dans ce module d'irrigation, les usagers de l'eau louent des systèmes portables d'irrigation pressurisés dont le coût est d'environ 100 usd/ha/arrosage, ce qui signifie un pourcentage important des coûts de production et parfois les cultures sont cultivées dans le déficit en eau par manque de ressources de la part de l'agriculteur. L'efficacité de l'application obtenue avec l'irrigation gravitaire est du même ordre de grandeur que celle des systèmes portables mais avec un 10% des coûts de ces systèmes. Ces résultats ont motivé la mise en œuvre d'une deuxième étape du projet portant sur la modernisation d'une surface supplémentaire de 4.000 ha et même considérer que l'irrigation gravitaire est recommandé pour des usagers de l'eau qui ne disposent pas d'autres systèmes d'irrigation et que par conséquent ils doivent payer le loyer des systèmes d'irrigation par aspersion portables.

Mots clés: les cultures tropicales, les propriétés hydrauliques du sol, la conception de l'irrigation gravitaire.

1. Introduction

The hydro-agricultural infrastructure programs of the National Water Commission (CONAGUA) are merged into a program called "S2017 Program to Support Hydro-agricultural Infrastructure". This program includes the subprogram "Rehabilitation, modernization and equipment of irrigation districts" that includes the component of technical improvement of surface irrigation. This component aims to improve surface irrigation by means of support to the civil user associations for the technical design of surface irrigation systems. This also includes land leveling, real-time irrigation forecasting and levy water charges on volumetric use basis (CONAGUA, 2017).

The RIGRAT project is based on multiple studies that have used modeling tools and soil hydrodynamic characterization methodologies in which an adequate design of surface irrigation has been shown to achieve high irrigation efficiencies.

A first stage of the irrigation improvement in Nayarit state has contemplated the incorporation of 2,000 ha to the RIGRAT project, particularly in the irrigation module III right bank of the Santiago river. The main crops in this area are sugar cane, rice, grass, banana, corn and mango. In order to elaborate the irrigation designs, the main activities of topographic surveys, hydrodynamic characterization of soils and inverse mathematical modeling have been carried out with data of tests of irrigation done for that effect. The efficiencies achieved with surface irrigation are of the same order of magnitude as those of portable sprinkler irrigation with costs equivalent to 10 percent.

These results have motivated the consideration of a second stage of the project which contemplates the technical upgradation of another 4,000 ha and it is even considered that surface irrigation is an option recommended for users who do not have other irrigation systems and consequently, have to rent a portable sprinkler equipment.

In this paper, the importance of irrigation design is emphasized without impairing the other activities involved in the RIGRAT project.

Strelkoff *et al.* (2009) pointed out that probably the most important factor in the process of the design of surface irrigation and one of the most difficult to quantify is the infiltration. So its appropriate characterization is fundamental in the performance of irrigation systems. The soil hydraulic properties are the most important input data in the simulation models of surface irrigation, which in the most complete mechanistic formulation is performed using Saint Venant equations for surface flow, and Richards's equation (1931), for infiltration.

The determination of infiltration parameters through inverse non-point methods is an alternative of soil characterization. These methods consist of finding the parameters that allow to simulate an experimental irrigation test and implicitly assume that the parameters are representative of the soil where the advance test is performed.

For the project purpose, it was fulfilled with the diffusion and promotion component of the RIGRAT, topographic surveys and executive projects were carried out for the leveling of approximately 500 ha, irrigation designs were carried out on approximately 300 ha and the project results were evaluated through real-time irrigation monitoring and water measurement.

2. Materials and methods

In order to meet the objectives of the RIGRAT project, the following activities are contemplated: dissemination and promotion; land leveling projects development; irrigation design and evaluation; monitoring real-time irrigation; and measurement of water use.

Information management of the project was made with a GIS, which includes the information collected and generated during the development. The GIS was developed on the ArcViewESRI®ArcMap™ 10.0 platform. For the construction of the system, we used two or three-rectified satellite images with 1.5 m resolution in natural colors.

We compiled the user list in a "shapefile" file format. In the database there is registered an area of 13,266 ha divided into seven zones. On average, 45% of the area is planted with beans, 23% with tobacco, 8% with corn, 5% with sugar cane, 5% with jicama; 5% is planted with rice, 3% with mango, 2% is planted with leaf tomato, 1% is planted with banana and the rest is distributed in tomato, chili, papaya and some vegetables.

The plots selected were identified and incorporated into the system (Figure 1). The total area was complemented during the agricultural cycle 2015-2016 to add a total area of 2,000 hectares.



Figure 1. Plots incorporated into the RIGRAT project in the irrigation district 043 Nayarit State

We used total stations without reflector of 2 and 5 seconds CST/berger of the series 300 in order to perform the topographic surveys.

In surface irrigation design, it is sought to maximize irrigation efficiency by determining the optimum values of length and time and irrigation flow, given the soil hydraulic properties, topographic, soil flow resistance and crop characteristics (Rendón *et al.*, 2012).

Surface irrigation can be divided into four phases: advance, storage, consumption and recession. Advancement phase begins with the introduction of water and ends when the final end is reached. Irrigation modeling can be done with the Barré de Saint-Venant equations, formed by the equations obtained from the mass conservation principles and momentum:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} + V_i = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial(qU)}{\partial x} + gh \frac{\partial h}{\partial x} + gh(J - J_o) + \beta V_i U = 0 \quad (2)$$

where x is spatial coordinate on the movement main direction [L]; t is the time [T]; $q(x,t) = U(x,t)h(x,t)$ is the unit flow [L² T⁻¹]; $U = U(x,t)$ is the average velocity in a cross section [LT⁻¹]; $h = h(x,t)$ is the surface water depth [L² T⁻¹]; $J_o = -\partial Z/\partial x$, is generally assimilated to the topographic slope when the inclination angle is small [L L⁻¹] and with z facing upwards [L² T⁻¹]; $J = J(x,t)$ is the friction slope [L L⁻¹]; g is the gravitational acceleration [L T⁻²]; $V_i = V_i(x,t) = \partial l(x,t)/\partial t$ is the infiltration rate [L T⁻¹], $l = l(x,t)$ is the accumulated infiltration depth [L]; the non-dimensional parameter β is defined as $\beta = V_{ix}/U$, where V_{ix} is the projection in the movement direction of the departure water mass velocity due to infiltration, is neglected.

In the advance phase, we have the following initial and boundary conditions:

$$q(x,0) = 0 \qquad h(x,0) = 0 \qquad (3)$$

$$q(0,t) = q_0, \qquad q(x_f,t) = 0 \qquad h(x_f,t) = 0 \qquad (4)$$

where q_0 is the constant unit flow imposed on the entrance and $x_f(t)$ is the wave-front position.

To close the (1)-(4) system it is necessary to provide equations for the infiltration velocity and the friction slope through a hydraulic resistance law. Richards equation (1931) can be used to describe the infiltration or a simplification as the model of Green and Ampt (1911), which is derived from the Richards equation when the hydraulic diffusivity is assimilated to a density of Dirac and the unsaturated hydraulic conductivity is continuous (Parlange *et al.*, 1982, 1985).

The Green and Ampt (1911) model is represented by the following ordinary differential equation:

$$\frac{\partial I}{\partial t} = K_s \left[1 + \frac{(h + h_f)(\theta_s - \theta_o)}{I} \right] \qquad (5)$$

where I is the accumulated water depth infiltration [L]; K_s is the saturated hydraulic conductivity [LT⁻¹]; θ_s y θ_o are the water content at saturation and initial, respectively, [L³L⁻³]; h_f is the suction at the wetting front (piston flow) [L]; and h is the surface water depth [L].

The hydraulic resistance law relates the friction slope to the mean velocity and the surface water depth. We can use the law proposed by Fuentes *et al.* (2004), which results from the analysis of the coupling of the Barré of Saint-Venant and Richards equations in the singularity present at the entrance:

$$U = k \frac{g^d}{v^{2d-1}} h^{3d-1} J^d \qquad ; \qquad q = Uh = kv \left(\frac{gh^3 J}{v^2} \right)^d \qquad (6)$$

where v is the kinematic viscosity coefficient [L²T⁻¹]; k is a dimensionless constant that depends mainly on the soil roughness; the power d is such that $1/2 < d < 1$, the lower limit corresponds to the Chézy regime and the upper limit to the Poiseuille regime.

We identified as simplified forms of Saint-Venant equations the diffusive wave or zero inertia model, which is obtained by eliminating the inertia terms of equation (1); the kinematic wave model, which results from eliminating the variation of the surface water depth in space in the diffusive wave model; and the hydrologic model of Lewis and Milne (1938), which retains the equation of continuity and assumes a constant mean surface water depth in time and space (\bar{h}). The last model assumes that the infiltration depends only on the contact time (τ) of water-soil at a point, defined by $\tau(x,t) = t - t_x$, where t is the total advance time and t_x is the arrival time of the wave-front at the point in question.

In a detailed study of gravity irrigation by Saucedo *et al.* (2001) using the Saint-Venant and Richards equations show that considering the infiltrated water depth only as function of opportunity time is enough. It has been shown also that the Lewis and

Milne hydrological model is a good approximation in the advancement phase of surface irrigation as it retains its main characteristics (Rendón *et al.*, 1997).

The integration of equation (5) with the condition $I = 0$ at $t = 0$, considering a constant surface water depth, leads to:

$$I = K_s t + \lambda \ln \left(1 + \frac{I}{\lambda} \right) \quad (7)$$

where $\lambda = (\bar{h} + h_f)(\theta_s - \theta_o)$.

Equation (7) presents two unknown parameters: h_f and K_s . The parameters: θ_s and θ_o can be measured and the parameter \bar{h} estimated with the equation (6) with the considerations shown in Zataráin *et al.* (2017) if the roughness dimensionless coefficient is known.

Irrigation designs were supported by inverse modeling of irrigation tests done for this purpose.

3. Results

In the irrigation module III right bank of the Santiago river irrigation systems are distributed as follows: 75% sprinkler, 13% gravity and 12% drip (Figure 2). However, it is important to note that most users who use sprinkler irrigation do so by paying owners of portable irrigation equipment. The current cost is approximately 600 usd/ha/irrigation. The cost may be prohibitive for some users and therefore do not apply the amount of irrigation required by the cultures.



Figura 2 .Irrigation systems at irrigation module III right bank of the Santiago river.

In order to support the irrigation tracings in each of the plots, the topographical maps were incorporated into the geographic information system. An example of the generated level curves is shown in Figure 3. The contour topographic planes have been generated for the 500 ha that have a topographic survey.



Figura 3. Example of topographic plans incorporated in the geographic information system

Irrigation tests were carried out on plots which sums approximately 300 hectares. A first approximation of the infiltration parameters was made from the soil texture. The final parameters were estimated through inverse modeling of irrigation tests.

The project results are exemplified with a plot of 34 ha grown with banana (Figure 4). The user originally managed the irrigation with lengths of more than 500 meters. With the application of the design procedure it modified the design of the irrigation as shown in Figure 5.



Figura 4. Irrigation in banana plot

With a plot flow of 34 l s^{-1} , we irrigated four borders of 4 m wide, which implies a unit flow of 2.125 lps m^{-1} .

The modification in the design implied a reduction of the irrigation time of 21 to 15 days and a decrease of the infiltrated water depth of 18 to 13 centimetres.



Figura 5. Irrigation design in a plot grown with banana

4. Conclusions

Dissemination and promotion component of the RIGRAT project was completed within the ID 043 Nayarit State. Topographic surveys and executive projects have been carried out to level approximately 500 hectares.

Irrigation designs have been carried out in approximately 300 ha based on the inverse modeling of irrigation tests and the hydraulics equations presented in compliance with the rigor in their solution.

The results of the RIGRAT project were evaluated by monitoring real-time irrigation and measuring land parcels in two agricultural cycles. The surface water application efficiency in the plot was on average 80%, which is similar to the efficiency of portable sprinkler irrigation and more than twenty percent points than tradition surface irrigation at the study area.

References

- CONAGUA, 2017. Manual de operación de la componente riego por gravedad tecnificado. www.gob.mx/conagua.
- Green, W. H. and G. A. Ampt. 1911. Studies in soil physic, 1: the flow of air and water through soils, J. Agric. Sci. 4: 1-24.
- Lewis, M. R. and W. E. Milne. 1938. Analysis of border irrigation, Trans. of ASAE 19: 267-272.
- Parlange, J.-Y., R. D. Braddock, I. Lisle and R.E. Smith. 1982. Three parameter infiltration equation. Soil Sci. 111: 170-174.
- Parlange, J.-Y., R. Haverkamp and J. Touma. 1985. Infiltration under ponded conditions: 1. Optimal analytical solution and comparison with experimental observations. SoilSci. 139: 305-311.
- Rendón, L., C. Fuentes and G. Magaña. 1997. Diseño del riego por gravedad. En Manual para el Diseño de Zonas de Riego Pequeñas. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México.
- Rendón L., H. Saucedo and C. Fuentes, 2012. Diseño del riego por gravedad, en Riego por Gravedad, editado por Carlos Fuentes y Luis Rendón. Universidad Autónoma de Querétaro 358 p.
- Richards, L. A., 1931. Capillary conduction of liquids through porous medium. Physics 1: 318-333.
- Saucedo, H., C. Fuentes and M. Zavala, 2006. El sistema de ecuaciones de Saint-Venant y Richards del riego por gravedad: 3. verificación numérica de la hipótesis del tiempo de contacto en el riego por melgas. Ingeniería Hidráulica en México 21: 135-145.
- Strelkoff, T.S., A.J. Clemmens and E. Bautista, 2009. Estimation of soil and crop hydraulic properties. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 135: 537-555.
- Zataráin, F., C. Fuentes and L. Rendón, 2017. Condiciones para modelar el riego por gravedad con propiedades hidrodinámicas equivalentes del suelo. Agrociencia 51. pp. 245-264.



022 TECNIFICACIÓN DEL RIEGO POR GRAVEDAD EN EL DISTRITO DE RIEGO 043 ESTADO DE NAYARIT

Zataráin M. Felipe¹, Vázquez L. Jesús E.² y Fuentes R. Carlos¹

¹Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac Núm. 8532 Progreso, Jiutepec, Morelos, México. 62550. zatarainf@gmail.com

²Comisión Nacional del Agua. Av. Insurgentes 1050 Oriente, Col. Menchaca, Tepic, Nayarit, México. 63150. jesus.vazquezli@conagua.gob.mx

RESUMEN

El distrito de riego 043 Estado de Nayarit tiene una superficie de 52,717 ha, la construcción del canal Centenario incrementará en 43,000 hectáreas. En el distrito predomina el riego por gravedad, en la margen derecha del río Santiago tradicionalmente se emplean sistemas portátiles de aspersión (75 %). En este módulo de riego, los usuarios rentan los equipos con un costo aproximado de \$ 2,000/ha/riego, lo que significa un porcentaje sustancial en los costos de producción y en ocasiones los cultivos se desarrollan bajo déficit hídrico por la falta de recursos del agricultor.

El Gobierno Federal a través de la Comisión Nacional del Agua ha venido implementando el Proyecto de Riego por Gravedad Tecnificado (RIGRAT) para incrementar la eficiencia de aplicación del riego en las parcelas. El proyecto RIGRAT tiene como base múltiples estudios que han utilizado herramientas de modelación y metodologías de caracterización hidrodinámica de suelos que han demostrado que un diseño adecuado del riego permite alcanzar altas eficiencias de aplicación.

Una primera etapa de la tecnificación del riego en el Estado de Nayarit ha contemplado la incorporación de 2,000 ha al proyecto RIGRAT, cuyos principales cultivos son caña de azúcar, arroz, pasto, plátano, maíz y mango. Para elaborar los diseños de riego se han realizado levantamientos topográficos, caracterización hidrodinámica de suelos y modelación matemática inversa con datos de pruebas de riego realizadas para tal efecto. Los resultados potenciales se ejemplifican con una parcela de 34 ha cultivada con plátano, con un gasto en la toma parcelaria de 37 l s^{-1} , la modificación en el diseño implicó una disminución del tiempo de riego de 21 a 15 días.

Palabras clave: cultivos tropicales, caracterización hidrodinámica de suelos, diseño del riego superficial.