



EL VALLE DE JUÁREZ:

SU HISTORIA, ECONOMÍA Y AMBIENTE
PARA EL USO DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA

ESMERALDA CERVANTES RENDÓN
COORDINADORA

© El Colegio de Chihuahua
© Esmeralda Cervantes Rendón

El Colegio de Chihuahua
Calle Partido Díaz #4723
Colonia Progresista, C. P. 32310
Ciudad Juárez, Chihuahua, México

Primera edición 2017
ISBN: 978-607-8214-43-3
Coordinación Editorial: E. Liliana Chaparro Vielma
Diseño editorial y portada: Marla Rascón
Corrección: Jorge Muñoz

Se autoriza cualquier reproducción total o parcial de esta obra, siempre y cuando sea sin fines de lucro o para usos estrictamente académicos, citando invariablemente la fuente sin alteración del contenido y dando los créditos autorales.

Proyecto realizado con financiamiento de la Secretaría de Educación Pública-Subsecretaría de Educación Superior-Dirección General de Educación Superior Universitaria. CONVENIO No.: 2016-08-005-065

ÍNDICE

Introducción	5
Desarrollo histórico del Valle de Juárez <i>Gabriela Montano Armendáriz y Esmeralda Cervantes Rendón</i>	9
Economía del Valle de Juárez <i>Cely Celene Ronquillo Chávez, Thania Castañeda Picasso y Gerardo Padilla</i>	21
Agua del Valle de Juárez: caso localidad de Praxedis <i>Alfredo Granados Olivas, Arturo Soto Ontiveros y Ana Cristina García Vásquez</i>	37
Evaluación del recurso solar del Valle de Juárez <i>Adrián Botello Mares, Luis E. Cervera Gómez y Rodolfo A. Tejeda Guevara</i>	81
Financiamiento al campo para proyectos de energía solar fotovoltaica <i>Cely Celene Ronquillo Chávez, Thania Castañeda Picasso y Gerardo Padilla</i>	107
Caso de estudio: Sistema fotovoltaico para el riego en la localidad de Praxedis <i>Rodolfo A. Tejeda Guevara, Esmeralda Cervantes Rendón y Ranulfo Lemus Sánchez</i>	115

INTRODUCCIÓN

Esmeralda Cervantes Rendón

El uso de energías alternativas y el logro de una eficiencia mayor por medio de la agricultura sustentable en el campo ha sido evaluada desde diferentes aspectos, sin embargo, con este libro se muestra una radiografía de una zona que a pesar de haber sufrido estragos por diversos aspectos tanto sociales, económicos y ambientales, sigue en la lucha y representa una parte importante del desarrollo histórico y económico de la región fronteriza Paso del Norte.

El libro *El Valle de Juárez: su historia, economía y ambiente para el uso de energía fotovoltaica* forma parte del proyecto “Análisis para el reemplazo de la energía eléctrica alternativa en sistemas de irrigación en el Valle de Juárez”, realizado con financiamiento de la Secretaría de Educación Pública-Subsecretaría de Educación Superior-Dirección General de Educación Superior Universitaria, CONVENIO No.: 2016-08-005-065, es el primer proyecto del Centro Regional de Investigación y Desarrollo de Energías Alternativas, que es parte de El Colegio de Chihuahua.

En el desarrollo se realizó un diagnóstico de la región del Valle de Juárez, con el fin de identificar la factibilidad de implementar un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica para

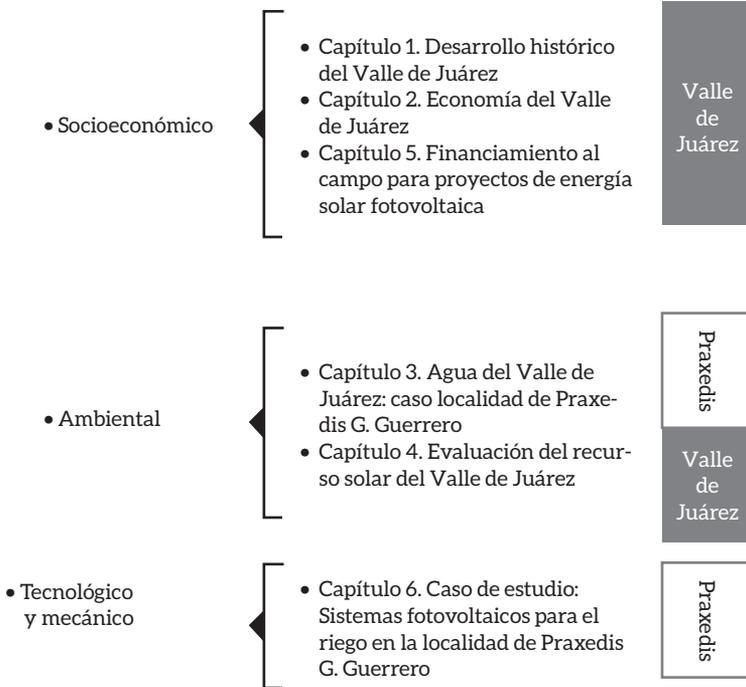
suplir la energía para los sistemas de bombeo agrícola de esta región, para ello se abordaron los aspectos:

- Histórico-sociales
- Económicos
- Físicos y ambientales (radiación solar y calidad del agua)
- Tecnológicos y mecánicos

Los aspectos histórico-sociales, económicos y el análisis de la radiación solar, se realizaron sobre el Valle de Juárez, sin embargo para identificar los factores que deben ser considerados en el diseño de un sistema fotovoltaico, se tomaron en cuenta tres pozos ubicados en la localidad de Praxedis G. Guerrero.

En este libro se presentan los resultados encontrados en cada uno de los aspectos antes mencionados y el caso práctico de un pozo, en donde resalta la importancia de estudiar cada uno de los factores antes mencionados.

División de capítulos por temas



El libro se encuentra dividido en seis capítulos, en los capítulos 1, 2 y 5, se abordan los aspectos históricos, sociales y económicos, mientras que en los capítulos 3 y 4 se describen los resultados encontrados en cuanto a cuestiones ambientales, considerando el agua y el recurso solar, para finalizar con el capítulo 6, en donde se describen las características mecánicas y eléctricas, así como el diseño del sistema fotovoltaico.

En el capítulo 1, “Desarrollo histórico del Valle de Juárez”, se relata la historia del Valle de Juárez, desde su creación, la importancia del campo y la descripción de su cultura y de las luchas sociales que han tenido en el tiempo. Por su parte, el capítulo 2, “Economía del Valle de Juárez”, esboza la situación económica y demográfica de los últimos años, además relaciona las causas que se identificaron por el descenso de la población, así como una

descripción general de las fuentes de agua que utiliza esta región para el riego.

En el capítulo 3, “Agua del Valle de Juárez: caso localidad de Praxedis”, se hace un análisis y descripción detallada del acuífero del Valle desde su medio físico y su hidrogeología y se presentan los resultados obtenidos en campo sobre la calidad del agua en la localidad de Praxedis. Por otro lado, en el capítulo 4, se detallan los conceptos sobre la radiación solar, con el fin de poder medirla y entender sus diferentes variables, en donde también se describen los resultados obtenidos por medio de los Sistemas de Información Geográfica para modelar la radiación solar del Valle.

En el capítulo 5 se presentan las opciones que se tienen de financiamiento al campo y que apoyan proyectos relacionados con las energías renovables, y para finalizar, el capítulo 6, que es el análisis eléctrico-mecánico del pozo, en donde se plantea el diseño de un sistema fotovoltaico, y con base en lo encontrado en cada uno de los capítulos anteriores, se logra generar conclusiones sobre las consideraciones que se deben de tener para implementar un sistema de este tipo.

Además de presentar los fundamentos para un sistema fotovoltaico, con este libro se busca rescatar la parte histórica y social del Valle de Juárez, en donde vale la pena mencionar el gran apoyo que se tuvo por la Asociación de Usuarios del Módulo Número Tres, ubicada en Praxedis G. Guerrero, que sin esa apertura no hubiera sido posible realizar con éxito este proyecto.

DESARROLLO HISTÓRICO DEL VALLE DE JUÁREZ

Gabriela Montano Armendáriz y Esmeralda Cervantes Rendón

INTRODUCCIÓN

El Valle de Juárez se encuentra ubicado entre México y Estados Unidos, al margen del río Bravo, entre los paralelos 30°50' y 31°44' de latitud norte y entre los 106°29' y 105° 32' de longitud oeste, con una longitud de 150 km y consta de una extensión territorial de 6 km (Garza *et al.*, 2008; Figueroa *et al.* 2010; Cocef, 2015).

Los inicios de su conformación datan a partir de la guerra entre México y Estados Unidos, suceso en el que se pierde el territorio de Texas, Nuevo México y California y se conforma una nueva frontera cercana a los márgenes del río Bravo o entonces denominado río Grande, lo anterior terminó pactado el 2 de febrero de 1848, con el Tratado de Guadalupe Hidalgo (González, 2002), en el cual se estipula que los territorios no fueron vendidos por México, sino conquistados por Estados Unidos. Uno de los resultados de dicho tratado es que muchas familias fueron desterradas al lado mexicano resultando nuevas comunidades rurales que dieron lugar a una región hoy conocida como el Valle de Juárez, constituido por 3 municipios y 23 localidades (tabla 1).

TABLA 1. Localidades que comprenden el Valle de Juárez, por municipio.

Municipio	Juárez	Guadalupe	Praxedis Guerrero
Localidad	Jesús Carranza	Guadalupe	Praxedis Guerrero
	Loma Blanca	Barreales	Francisco Sarabia
	El Millón	Porfirio Parra	Colonia Esperanza
	San Agustín	Juárez y Reforma	Rinconada de Gallegos
	San Francisco Tres Jacales	San Isidro	El Porvenir
		Placitas de Otero	San José Paredes
		Rancho Nuevo	Progreso (Loma de Cruz)
		Rinconada del Mimbres	
		Vado de Cedillos	
		El Faro	

FUENTE: Elaboración propia a partir de los datos del Informe final de Cocef (2000).

Es importante señalar que para 1906 se firmó el Tratado de Límites y Aguas que otorgaba 74 millones de metros cúbicos de agua al año, entonces cantidad suficiente para la región (González, p. 122; Tratado de 1906, CILA).

Menciona González de la Vara (p. 150) que para el año de 1922, en el rancho de nombre Fronteras, ubicado en el municipio de Praxedis G. Guerrero, se comenzó a sembrar el algodón por pedidos de la compañía Anderson Clayton, ya que dicho cultivo tenía un alto precio en el mercado internacional.

El auge algodonnero se dio a lo largo de todo el país durante dos décadas, ya que en México se encontraban establecidas fábricas textiles (tabla 2) como La Constancia Mexicana, fundada en 1835.

TABLA 2. Cantidad de fábricas de textiles en México.

Año	Fábricas
1923	113
1932	137
1933	147

FUENTE: Rivero, en Villaseñor (1934).

Cabe señalar la importancia de la industria textil en México, ya que el algodón era su principal materia prima, ocupando así gran parte de la producción, para entonces el estado con mayor producción fue Veracruz y en menor cantidad la región del río Nazas, sur de Acapulco, Chihuahua, Coahuila, Sinaloa y Colima (King, 2011).

En 1934, Eduardo Villaseñor (1934) hace una recomendación en la que señala que la industria textil no tiene crecimiento debido a la política arancelaria tan variable, agregándole a la situación los altos costos de producción, lo que manifiesta como un país estancado.

Durante el transcurso del año de 1934 se conformó la zona agrícola de la región en el Distrito de Riego 9, que comprendía 27 239 hectáreas desde las afueras de Ciudad Juárez hasta Guadalupe (González, 2002).

Por su parte, Luis Aboites Aguilar (2013) menciona que la cúspide del oro blanco se vivió en 1940 y que para los años 50 comenzaba el declive lento, mientras que para 1960 ya se vivía un declive acelerado.

LA AGRICULTURA

El Valle de Juárez es una región con bondades que aun con lo extremo de su clima, le ha permitido desarrollar la agricultura sembrando alfalfa, zacate sudán, pistache, maíz, sorgo, trigo y algodón.

El algodón es una de las fibras textiles más importantes del mundo, fue en Veracruz, México en el siglo xvi donde se cultivó por primera vez el algodón y después se extendió a otras partes del país (Conacyt, s/a). Considerado el “oro blanco”, existen diversas descripciones del algodón por región, pero el que crecía en el Valle de Juárez era especial, ya que se caracterizaba por ser de tonos fuertes en verde y blanco, y que la longitud de su fibra lo hacía diferente al de otras regiones aunque implicaba un mayor costo de producción y su rendimiento se veía influido por las variaciones climáticas sobre las siembras (Aboites, 2013). Agregando a la descripción anterior el algodón, el que fue identificado en la región, era de tipo Acala, del cual las características de sus plantas son más bajas que las otras variedades, de mayor rendimiento, con una mota más compacta, lo anterior resultaba más fácil para pizar, era una fibra más larga, resistente y en cuanto a la semilla, generaba aceite de buena calidad (Sterling, 1930).

En 1929, en diferentes zonas del país una de ellas el Valle de Juárez, se registró la plaga del gusano rosado que pudría la flor del algodón, el gobierno mexicano decretó una veda contra dicha plaga en la que prohibía la siembra del algodón y se declaraba en cuarentena (Aboites, 2013).

Para 1953, la siembra más fructífera en el Valle de Juárez era el algodón, valorado como el segundo mejor en el mundo después de Egipto. Pero se generó la celulosa, la cual es creada a partir de la borra del algodón y se utilizó para producir fibras sintéticas como el rayón o artisela, fiocco y nylon, que después desplazó a la propia fibra del algodón en la industria textil, ya que su aplicación avanzó rápidamente en Estados Unidos y Japón (Aboites, 2013). Dicha modificación en la industria textil repercutió en grandes extensiones de la zona agrícola, el conocido *dumping* algodoner, en donde las bolsas de valores del mundo se desplomaron súbitamente y con ellas el precio del algodón (El Herald de Chihuahua, 4 de abril 1999). A manera de ejemplo, cada paca de algodón tiene 5 quintales, cada quintal tiene 100 libras mismas que equivalen a 42.06 kilogramos, para abril de

1999 costaba 0.48 centavos de dólar cada libra, lo cual no era costoso ya que había sido una cosecha de más de \$13 000 pesos de inversión, lo cual significó la ruina del sector agrario.

Para 1993 se llevaban más de 40 años de haber apostado todo en la agricultura a la siembra del algodón, como en cualquier industria, teniendo buenas temporadas y muchas complicadas debido a los múltiples factores de la zona como sequías, el no funcional Tratado de Aguas firmado de 1906 y el de 1944, sin los beneficios necesarios para los agricultores del Valle de Juárez y aunado a todo lo anterior, una política gubernamental de un apoyo incipiente al agro, como diría Andrés Molina Enríquez en 1908, en su libro *Los grandes problemas nacionales*, el cual sigue vigente hasta la actualidad.

Incrementando más las complicaciones mencionadas, en los años noventa sufrieron el riesgo de un desastre químico, causado por el amoníaco que se utiliza para fertilizar las tierras del Valle de Juárez y las fábricas que producen hielo, ocupando volúmenes importantes de ácido fluorhídrico y ácido sulfúrico para desinfectar el agua (Norte de Ciudad Juárez, 26 de julio de 1993). Como repercusión de lo anterior, se perdieron miles de toneladas de maíz, sorgo, algodón, alfalfa por las aguas residuales contaminadas, quedando las tierras en mal estado (Diario de Chihuahua, 13 de agosto de 1993). Entre otras repercusiones que afectan su calidad ambiental, vivieron el anuncio de la creación de un tiradero nuclear en Sierra Blanca (Waste Dump) para el cual los pobladores de las localidades del Valle de Juárez y las del lado americano se unieron para evitar el establecimiento de este tiradero que afectaría la salud de los locales; realizaron manifestaciones en México y EU, recaudaron firmas y evitaron el asentamiento de dicho tiradero nuclear en 1998 (El Diario, 9 de julio de 1998; La Jornada, 31 de julio de 1998; El Herald de Chihuahua, 5, 7, 8, 9, 16 y 23 de agosto, 4, 8, 14, 18, 20 de septiembre de 1998). El suceso mencionado mostró la solidaridad y lo aguerrido de la población para hacer valer sus peticiones como ciudadanos, ya que con el triunfo de su petición el 22 de octubre de 1998, mientras espera-

ban la resolución del gobierno estadounidense, en las afueras del Capitolio en Austin, Texas, población acompañada de un grupo de matachines bailaron la danza de la victoria, característica de su localidad.

A partir del mes de mayo de 2014 entró en vigor el subsidio de la Comisión Federal de Electricidad aplicado en los municipios de Praxedis G. Guerrero, Guadalupe, Samalayuca, Ahumada, ejido Benito Juárez y Constitución, para entonces dicha zona rural estaba comprendida por cinco mil usuarios a quienes se les modificó la tarifa de 1B a 1C, representando un mayor subsidio a la energía que consumían (El Diario, 22 abril 2014). A finales del mismo año, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación informó que la cosecha del algodón generaría más de 11 millones de dólares; se levantaron 31 mil 950 pacas de algodón, de las cuales 13 mil se venderían a un precio de 78 dólares por quintal (cada paca contiene 5 quintales), 18 mil 950 se venderán a 63 dólares por quintal (El Diario, 8 de noviembre 2014). Para el año siguiente la producción de algodón fue de 50 mil pacas (Norte de Ciudad Juárez, 1 de enero 2015).

Una serie de manifestaciones pacíficas se realizaron durante los últimos años, fueron encabezadas por los grupos de agricultores del Valle de Juárez como el Barzón, expresando las necesidades de una baja en los costos básicos para la siembra como el diésel y la luz, debido a que en México son más costosos y representan el 60 % del costo del cultivo, solicitando a la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa) que reactive el subsidio del diésel cancelado dos años atrás, ya que el precio en el 2015 era de 14.20, perdiendo competitividad con los productores estadounidenses ya que ellos tienen subsidio y equivale a 8.50 pesos. La mención de la comparación en este párrafo es de suma importancia, ya que debido a la aplicación del Tratado de Libre Comercio (1994), los agricultores mexicanos no estaban listos para la competencia de ventas y producción y fue aún más complicado su crecimiento en la agricultura (El Diario, Ciudad Juárez, 12 y 15 de febrero 2015).

Las complicaciones en la región del Valle de Ciudad Juárez persisten; por ejemplo, los precios en la producción de algodón, trigo, avena o alfalfa, aún siguen repercutiendo ya que el precio del algodón para el 2014 fue de \$69 dólares y sufrió una baja en 2015, vendiéndose en \$52 dólares el quintal, agregando la escasez por el líquido, y la demanda constante de los agricultores no solo al gobierno, sino también a las distintas administraciones en los dirigentes de los módulos de riego y los altercados entre los mismos agricultores que se impiden el paso del agua, en relación con el costo el precio de \$35 pesos la hora y cada riego mínimo necesita 58 horas de 2 pozos para poder regar (El Diario de Juárez, 9 de abril 2015).

Desde 1995 hasta 2015 se ha presentado una sequía de 20 años, la constante escasez de agua rodada proveniente de las presas de El Caballo y El Elefante ha generado la necesidad de regar con aguas tratadas y provocado la disminución de 2 mil hectáreas de siembra (El Diario de Juárez, 14 de abril de 2015).

Aún se mantienen las características de un clima extremoso y se sufren sus repercusiones como la tormenta de granizo en la Colonia Esperanza, con una duración de media hora que alcanzó un pie (30 cm) de altura. Lo anterior ocasionó una pérdida de 420 hectáreas de cultivos, 300 de algodón y 120 de trigo, cerca de 10 millones de pesos. La pérdida fue total, ya que para entonces los créditos de Financiera Rural aún no habían sido entregados y por lo tanto tampoco se habían pagado los seguros de la inversión (El Diario de Juárez, 6 de mayo de 2015).

La cuota de agua acordada del Tratado de 1906, incrementó 6 millones de metros cúbicos que en total son 74 millones de metros cúbicos que EU debe entregar a México (Norte de Ciudad Juárez, 29 de abril de 2015), solo que ahora tarda más tiempo en llegar hasta los campos del Valle de Juárez, ya que el río Grande ha cambiado aquella composición de gran abasto de agua para ahora estar completamente seco, lo cual ocasiona que el agua rodada que se libera de las presas estadounidenses no llegue debido a la sequedad del río Bravo (El Diario de Juárez, 2 y 4 de junio de 2015).

A manera de reconocimiento, es importante señalar que en conjunto los municipios de Guadalupe y Praxedis G. Guerrero¹ producen la cuarta parte del trigo en grano del estado de Chihuahua, el cual se entrega a la Molinera L. R. B. S. A. en Ciudad Juárez, ubicada en el Eje vial Juan Gabriel, después de ser procesado el trigo ya convertido en harina, la producción es enviada para su venta a diversas partes del país (El Diario de Juárez, 5 de junio de 2015). Por lo tanto es un producto completamente creado en la región y en comercio hasta la actualidad.

La construcción más reciente es el puente de cruce internacional Guadalupe-Tornillo, el cual reemplaza al antiguo localizado entre Fabens y Caseta (Porfirio Parra) construido en 1938. Debido a que la economía entre México y Estados Unidos se encuentra diariamente ligada mediante el comercio de productos, se estima un flujo de cruce aproximado de 2409 vehículos diarios (El Diario de Juárez, 4 de febrero 2016).

1.3 SOCIEDAD

Como parte de su cultura algonera, la sociedad del Valle de Juárez celebraba cada septiembre la Feria de las Fiestas Patrias del Algodón, con una duración de los cuatro fines de semana del mes, en los cuales se hacía un concurso para elegir una reina y permanecían juegos mecánicos, grupos musicales en vivo, puestos de comida y bebidas.

Cabe mencionar que la fiesta patronal de Guadalupe, Distrito Bravo es la de la Virgen de Guadalupe, celebrada el 12 de diciem-

1 Fundado en 1849, principalmente nombrado San Ignacio, el inicio de su población fue conformado por mexicanos que venían de Texas y Nuevo México, una vez que entró en vigor el Tratado de Guadalupe Hidalgo. Actualmente es el municipio número 053 del estado de Chihuahua y su nombre fue otorgado por la legislatura local en diciembre de 1933. Sus principales localidades son El Porvenir y Colonia Esperanza. La fiesta patronal de San Ignacio se celebra el 31 de julio, celebrando con bailes, juegos artificiales y danza con matachines (Inafed, 2010).

bre, convocando a danzas de matachines y comida alrededor de la parroquia.

El platillo clásico del Valle de Juárez es el chile colorado, compuesto de diferentes chiles secos, especias como el comino, cebolla, ajo y carne de cerdo, la cual se prepara frita para después mezclarla. Dicho guiso es tradición de la región, incluso se llegaron a realizar concursos al mejor platillo. Cada familia tiene su propia receta, misma que se va compartiendo de generación en generación o cuando una pareja contrae matrimonio, a la esposa se le comparte la receta familiar, quien es la custodia de la receta que aprendió en casa y de la del esposo. Los funerales que tuvieron lugar en el Valle de Juárez son descritos como tranquilos, no así cuando el difunto era demasiado joven o fallecía en un accidente carretero, en los cuales siempre había pan, café, pozole o menudo, pero sin faltar el chile colorado.²

La población, al igual que su agricultura sufrió múltiples cambios durante el paso de los años. Durante 1976 a 1992 se ubicaron alrededor de 20 cadáveres que con base en las investigaciones policíacas fueron tirados cerca del Valle de Juárez por ser una región alejada (Norte de Juárez: 15 de septiembre de 1992, 19 de septiembre de 1992).

El año de 1992 fue crucial debido a la escasa producción agrícola y los efectos del Tratado de Libre Comercio (TLC) que dejaron fuera de la competitividad a colonias como Vado de Cedillos, Esperanza, El Cuervo y El Porvenir, ya que eran productoras de alfalfa que vendían a las compañías lecheras locales, pero con el TLC las compañías compraron el producto en Estados Unidos y la producción local se quedó sin comprador. Lo anterior generó como resultado que aumentara el despoblamiento campesino (Norte de Ciudad Juárez; 23 y de noviembre de 1992), abandonando localidades como las mencionadas, las cuales mantenían para entonces muy poca población, dicho movimiento de población tenía como objetivo buscar empleo en una maquiladora en Ciu-

2 Datos recopilados en entrevista anónima, realizada el 6 de enero de 2017.

dad Juárez o bien para trasladarse a Estados Unidos en donde el campo siempre ha sido de gran contraste por sus plantaciones.

Los problemas sociales recrudecieron en el año 2000, cuando los pobladores empezaron a manifestarse por problemas de revisiones policiacas, asesinatos, despojos, con lo que iniciaron no solo el dejar al campo sin agricultores, sino el despoblamiento de toda una región.

REFERENCIAS

- Aboites, L. (2013). *El Norte entre algodones, población, trabajo agrícola y optimismo en México 1930-1970*. El Colegio de México.
- COCEF. (2000). Plan Maestro para el Mejoramiento de los Sistemas de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento en Poblaciones Ribereñas del Alto Bravo en los Municipios de D. B., Praxedis G. Guerrero y Juárez en el Estado de Chihuahua.
- COCEF. (2015). *Evaluación del Impacto de la Infraestructura de Saneamiento Básico en Comunidades del Valle de Juárez, Chi. 2013-2014*. Recuperado de: http://www.cocef.org/uploads/files/evaluacin_impacto_valle_de_juarez_-_final_-_junio_16_2015_esp..pdf
- CONACYT, <http://conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/algodon>
- Figuroa, U., Flores, M., Palomo, M., Corral, B., & Flores, J. (2010). Uso de biosólidos estabilizados con cal como fertilizante orgánico en algodónero para el Valle de Juárez, Chihuahua. *Ciencia en la frontera: Revista ciencia y tecnología de la UACJ*. 8(1): 35-43.
- Garza, V; Fernández, I; Badii-Zabe, M & Quevedo, H. (2008) *Parasitosis intestinales asociadas al reuso de las aguas residuales de Ciudad Juárez, Chihuahua, en el Valle de Juárez, estudio de casos y controles*. El Colegio de Chihuahua, p. 4.
- González, M. (2002). *Breve historia de Ciudad Juárez y su región*. El Colegio de la Frontera Norte.

- Instituto para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Secretaría de Gobernación (2010). Consultado en: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM08chihuahua/municipios/08053a.html>
- King, R. (2011). La producción fabril de textiles de algodón en el centro de México: Los primeros pasos (1830-1845). Publicaciones digitales ENCRyM, 3(1).
- Sterling, E. (1930). Datos y estudios para formación del Informe Agrícola del Valle de Juárez, Chihuahua. CONAGUA. (Archivo histórico del agua/Clasificación Núm. 32/Chih/Anaquel 75/EB)
- Villaseñor, E. (1934). Nuestra industria textil del algodón. *El trimestre económico*, vol. 1, no. 4, pp. 365-389.

PERIÓDICOS

- El Diario de Chihuahua
- El Diario de Juárez
- El Heraldo de Chihuahua
- La Jornada
- Norte de Ciudad Juárez

ECONOMÍA DEL VALLE DE JUÁREZ

*Cely Celene Ronquillo Chávez, Thania Castañeda Picasso
y Gerardo Padilla*

RESUMEN

Es relevante obtener información que permita generar un análisis diagnóstico de la situación económica del Valle de Juárez. El objetivo principal de esta investigación fue compilar una serie de indicadores para analizar la situación económica actual de esta región y así proponer la adopción de energías limpias en el sector agrícola de esta zona. Se incluye, además, un análisis de localización a través de mapas georreferenciados generados con el *software* ArcGis 10.1.

INTRODUCCIÓN

El presente capítulo tiene como objetivo presentar una síntesis de la investigación correspondiente a un diagnóstico económico de la región del Valle de Juárez, esta zona agrícola se ubica al noroeste de Chihuahua, y abarca una parte de los municipios de Ciudad Juárez, Praxedis G. Guerrero y Guadalupe, comprende el

margen inferior del río Bravo, que marca la línea internacional entre México y Estados Unidos.

La actividad económica dominante en la región es la agropecuaria, destacando la producción de algodón, alfalfa, trigo, avena, cebada y sorgo. Dichos sembradíos históricamente se han abastecido con los escurrimientos del río Bravo.³ El Valle de Juárez ha sido en las últimas décadas una región agrícola importante, sin embargo, ha presentado una marcada disminución en su densidad poblacional y por ende en su economía.

El capítulo está conformado por una introducción general, luego se presentan datos demográficos de la zona y el diagnóstico de la situación económica del Valle de Juárez, donde se incluye: una tendencia de la superficie cosechada (2003-2015), los principales cultivos de la región y el valor de la producción por cultivo. También se mencionan cuáles son las fuentes de suministro de agua para riego y las causas del abandono del sector agrícola en el Valle de Juárez. Asimismo, se consideró pertinente mencionar las fuentes de financiamiento al campo y finalmente, en el último apartado se incluye una breve revisión sobre energías renovables.

Para la elaboración de la presente investigación, se realizaron búsquedas de fuentes secundarias de información, de tal forma que se consultaron bases de datos electrónicas, así como páginas gubernamentales sobre programas de financiamiento y revisiones de notas periodísticas, todo esto con la intención de obtener cifras oficiales. No obstante, las dificultades que representa acudir a la zona de estudio, el trabajo también cubrió investigación de campo y sesiones en la ciudad de Chihuahua en las oficinas de FIRCO (Fideicomiso de Riesgo Compartido).

3 Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza. (2015). Evaluación del Impacto de la Infraestructura de Saneamiento Básico en Comunidades del Valle de Juárez, Chih. 2013-2014. Ciudad Juárez, Chih.: Banco de Desarrollo de América del Norte. Obtenido de http://www.cocef.org/uploads/files/evaluacion_impacto_valle_de_juarez_-_final_-_junio_16_2015_esp.pdf

En la tabla 3 se muestran datos sobre la población de los tres municipios que componen el Valle de Juárez. En cuanto a la población total, de acuerdo con información del censo del Inegi, observamos una reducción considerable de la población en los municipios de Guadalupe y Praxedis G. Guerrero en el periodo de 2005 a 2015. Guadalupe reportó una población de 9148 habitantes, observándose una reducción del 42 % respecto de la población de 2005. Presenta el mismo comportamiento el municipio de Praxedis G. Guerrero, ya que en el censo de 2005 la población era de 8514, lo cual exhibe una reducción del 36 % en sus habitantes para el año 2015. Además, según la información disponible de 2010 a 2015, se observa una importante disminución de la población ocupada en el sector primario, la cual se está desplazando hacia los otros sectores, principalmente hacia el secundario, el cual experimentó un aumento en los tres municipios.

TABLA 3. Datos de la población de los municipios que forman parte del Valle de Juárez

Municipio	Ciudad Juárez			Guadalupe			Praxedis G. Guerrero			
	Año	2005	2010	2015	2005	2010	2015	2005	2010	2015
Población total		1 313 338	1 332 131	1 391 180	9148	6548	5272	8514	4799	5486
Porcentaje de la población ocupada en el sector primario			0.66	0.33		20.47	15.26		29.47	22.44
Porcentaje de la población ocupada en el sector secundario			45.02	50.41		36.60	40.57		31.39	40.97
Porcentaje de la población ocupada en el sector terciario			52.62	47.94		42.46	41.50		38.73	35.68

FUENTE: Elaboración propia con datos del Censo de Población y Vivienda 2010; Encuesta intercensal 2015-Inegi.

El déficit poblacional de la región se atribuye a distintas causas: la falta de empleos redituables, las condiciones climatológicas, sequías, escasez de agua y la inseguridad, entre otros factores. La situación de la violencia y la extorsión que se vivió en la zona a partir de 2008, provocó que un gran número de pobladores hayan emigrado a otras ciudades. No obstante, la región ya era afectada por violencias rezagadas como los feminicidios de los años noventa que cambiaron el panorama del Valle de Juárez a nivel internacional.⁴ Estos sucesos han dejado esta región en la miseria.⁵ Hacia el año 2010 la tasa de asesinatos en Ciudad Juárez estaba en su pico más alto con 3116 muertes violentas y caracterizando 2012 por la importante disminución en el número de vidas perdidas como resultado de homicidios, donde según datos de la Jurisdicción Sanitaria número II y de la representación de la Secretaría de Salud en la zona norte, en el Valle de Juárez se registraron 628 homicidios.⁶ También, los datos proporcionados por el Inegi relacionados a las defunciones por homicidios para el periodo 2000-2015 en estos municipios, demuestran la gran inseguridad que se manifiesta en la zona.

La violencia ha provocado que la región esté casi abandonada y que el miedo alcanzara a su población, la gente evitaba salir de sus hogares por el temor de ser alcanzados por una bala perdida, ser asaltados o incluso ser secuestrados.⁷ Aunque hubo un aparente periodo de paz, la violencia ha regresado a la región ya que enfrentamientos entre policías y grupos armados han causado alerta en los habitantes de la región.⁸ No obstante, cabe resaltar

4 <http://www.americamagazine.org/issue/construyendo-un-mundo-mejor-en-el-valle-de-juarez>

5 <http://www.cronicadechihuahua.com/Sufre-el-Valle-de-Juarez-por-la.html>

6 http://www.uacj.mx/ICSA/SiteAssets/Paginas/Observatorio-de-Seguridad-y-Convivencia-Ciudadanas-del-Municipio-de-Ju%C3%A1rez/Boletn_Observatorio_Num_6.pdf

7 http://www.nacion.com/mundo/Disminuye-violencia-Ciudad-Juarez_0_1325067542.html

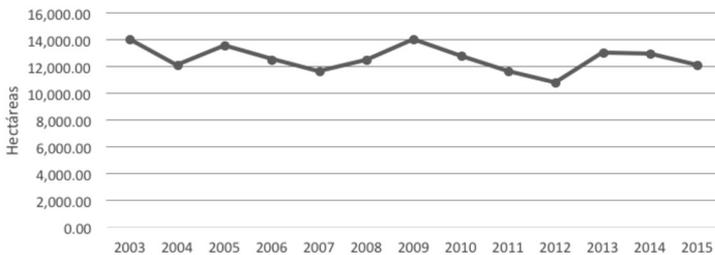
8 <http://elpuntero.com.mx/n/30884/ola-de-violencia-sacude-valle-de-juarez-balaceras-cobran-7-muertos>

que no es un tema resuelto ni es exclusivo de México, pues la violencia y la inseguridad se presenta en el mundo entero y en la región latinoamericana hay países con índices de violencia superiores.

DATOS ECONÓMICOS DEL VALLE DE JUÁREZ

Según datos presentados por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2016), la actividad agrícola en el Valle de Juárez ha ido disminuyendo de manera considerable en los últimos años. En el año 2003 la superficie cosechada era de 14 043.57 hectáreas, mientras que en 2015 pasó a ser de 12 144.43, esto principalmente a la falta de apoyos para el sector. En la figura 2 se muestra la evolución de la superficie cultivada en esta región durante el periodo 2003-2015, observándose una tendencia negativa.

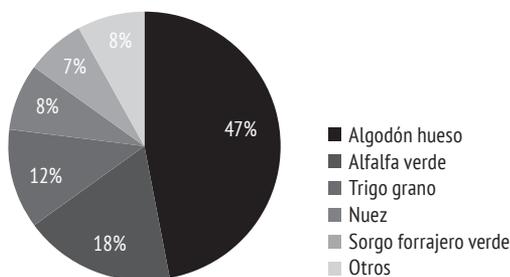
FIGURA 2. Comportamiento de la superficie cosechada en el Valle de Juárez en el periodo 2003-2015.



FUENTE: Elaboración propia con datos del SIAP.

De acuerdo con la información de cierre del ciclo agrícola de 2015, los principales cultivos en esta zona fueron el algodón, la alfalfa, el trigo, la nuez y el sorgo forrajero, siendo el algodón el que representó la mayor proporción con respecto a la superficie cosechada total (figura 3).

FIGURA 3. Diversidad de cultivos de la superficie cosechada en 2015 en el Valle de Juárez.



FUENTE: Elaboración propia con datos del SIAP.

El valor de la producción de estos cultivos representó el 88 % del valor total de la producción de 2015. El algodón y la nuez fueron los dos cultivos con mayor valor de esta zona (tabla 4), los cuales tienen un gran comercio a nivel internacional, por ello es importante apoyar en estos rubros a los agricultores para apuntalar el desarrollo de esta zona y aumentar su competitividad.

TABLA 4. Valor de la producción de 2015 en el Valle de Juárez

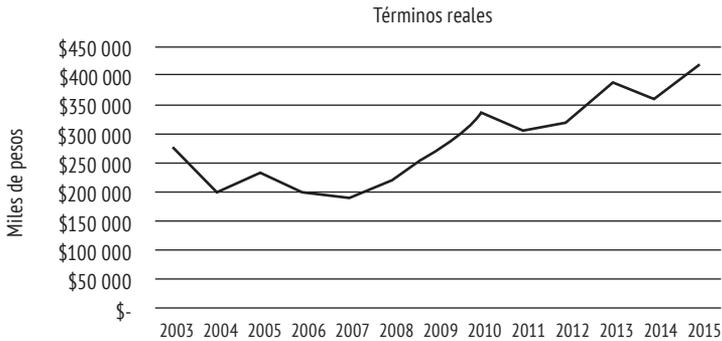
Cultivos	Producción (Ton)	Valor de la producción (miles de pesos)	Valor promedio de la producción
Algodón hueso	17 759.35	\$ 197 245.82	\$ 11 106.59
Nuez	1272.90	\$ 108 196.50	\$ 85 000.00
Alfalfa verde	180 003.60	\$ 85 893.29	\$ 477.18
Trigo grano	7811.10	\$ 23 433.30	\$ 3000.00
Sorgo forrajero verde	24 515.92	\$ 13 238.60	\$ 540.00

FUENTE: Elaboración propia con datos del SIAP.

Como se aprecia en la figura 4, el valor de la producción expresado en términos reales durante el periodo 2003-2015, mues-

tra una tendencia positiva, presentando una tasa media de crecimiento anual del 3.58 %.

FIGURA 4. Valor de la producción en términos reales en el Valle de Juárez (2003-2015).



FUENTE: Elaboración propia con datos del SIAP.

FUENTES DE SUMINISTRO DE AGUA PARA RIEGO

Las fuentes de riego para la distribución del agua en el Valle de Juárez son tres: las aguas del Tratado Internacional de 1906 entre México y Estados Unidos de América procedentes del río Bravo; las aguas residuales de Ciudad Juárez; y, las aguas de pozos profundos. Sin embargo, estos últimos han sido abandonados de manera paulatina debido a que la rehabilitación ha resultado costosa aunada a la elevada concentración de sales.⁹

Según la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (Cocof), se aprovecha el 57 % aproximadamente del agua dentro de la zona, mientras que alrededor del 43 % se pierde (debido a evaporación, filtración y mal manejo) en la conducción a los terrenos agrícolas. Para lo cual es necesario fomentar una mejor cul-

9 https://www.researchgate.net/publication/33551129_Estudio_general_del_caso_Valle_de_Juarez_Mexico_Ciudad_de_Juarez_Chihuahua_Proyecto_Regional_Sistemas_Integrados_de_Tratamiento_y_Uso_de_Aguas_Residuales_en_America_Latina_Realidad_y_potencial_Convenio

agrícola.¹⁰ Por esto, los productores que han permanecido enfrentan problemas de escasez de agua, los agricultores locales se encuentran “atados” para la explotación de mantos acuíferos que les permitan aumentar sus cosechas en cada temporada de riego, por lo que en 2011 expusieron al gobernador del estado que no se cuenta con el agua suficiente para el riego debido a la sequía por falta de lluvias y a la falta de precipitaciones, además que el agua que entregan a esta zona, producto de un convenio internacional, ha disminuido de manera considerable.

Se ha insistido en la necesidad de revisar el Tratado Internacional de Agua entre Estados Unidos y México, ya que resulta perjudicial para Chihuahua, porque es de los estados que más aporta y tiene los problemas más graves de sequía, además de que las condiciones climáticas han cambiado en los últimos 50 años, siendo cada vez más extremas. Resulta oportuno mencionar que la presa de El Elefante proporciona el vital elemento para agricultores de El Paso y del Valle de Juárez, está al 17 % de su capacidad, lo cual no es suficiente para los sembradíos del lado mexicano que son de algodón y alfalfa.¹¹ Para 2012, de las 10 presas que existen en la entidad, solamente dos tienen un almacenaje que rebasa el 50 %, mientras que el resto registró un bajo almacenamiento, según datos de la Comisión Nacional del Agua (Conagua).¹²

Pese a que la Conagua entregó concesiones de aguas nacionales,¹³ este beneficio no aplicó para el Valle de Juárez, ya que

10 9 septiembre, 2010, José A. García H. El Diario <http://www.inforural.com.mx/algodoneros-dejan-en-abandono-el-valle/>

11 8 octubre, 2011, Carlos Hernández Martínez. El Pueblo de Chihuahua <http://www.inforural.com.mx/reclaman-productores-a-duarte-abandono-del-valle-de-juarez/>

12 23 abril, 2012, Orlando Chávez. El Diario de Juárez <http://www.inforural.com.mx/reclama-gobernador-a-estados-unidos-agua-para-el-valle/>

13 Las aguas nacionales son las que están bajo los tratados internacionales, como lo son la presa de El Elefante y del Caballo; además de las de aguas residuales o las que se encuentran en los pozos.

por estar bajo zona de veda, no se puede aumentar el número de agricultores que se beneficien de las aguas del subsuelo, debido a la baja disponibilidad, esto lo señaló Miguel Núñez Nava, jefe del Distrito de Riego 009. Actualmente, la Conagua tiene un registro aproximado de dos mil agricultores que trabajan alrededor de 71 mil hectáreas de riego en el Valle de Juárez, pero por la restricción del agua, reducen su capacidad de producción hasta en un 50 %.¹⁴

Los efectos de la sequía en 2011 fueron devastadores: en unos campos secó plantíos y en otros, las plantas no crecieron lo suficiente y se dificultó la pizca, por lo que se perdió mucha producción agrícola. Las máquinas no alcanzaron a cosechar porque están diseñadas para plantas con más altura y para levantar el producto se deben contratar pizcadores y es difícil conseguir a quien realice ese trabajo a mano, ya que es necesario emplear 33 jornaleros por hectárea de forma directa y 77 jornales de forma indirecta. Del mismo modo, la falta de agua también tuvo efectos negativos en la siembra de alfalfa y sorgo.¹⁵

Dado lo anterior, los agricultores del Valle de Juárez en 2012 solicitaron al gobierno federal y estatal su apoyo para la rehabilitación de 42 pozos que han terminado su vida útil, a fin de contrarrestar los efectos negativos derivados de la escasez de agua, ya que, de los 50 pozos en la región del Valle, solo el 16 % operan correctamente.

En la región se cultivan entre cinco mil y seis mil hectáreas de cada producto (trigo, alfalfa, algodón, entre otros). Uno de los problemas es que mientras más alejados se encuentren los sembradíos, más se dificulta llevar el agua y, por lo tanto, las familias que se sostienen de esos productos prácticamente no obtienen nada y dejan todo el año sus tierras ociosas. En 2012 había 40

14 24 abril, 2014, Francisco Chávez. El Diario de Juárez <http://www.inforural.com.mx/atados-agricultores-por-escasez-de-agua/>

15 5 octubre, 2011, El Diario de Chihuahua <http://www.inforural.com.mx/se-perdieron-por-sequia-600-hectareas-de-sembradio-en-el-valle/>

usuarios de agua para el riego de 400 que hubo en tiempos de bonanza, hace más de 10 años.¹⁶

Los agricultores del Valle de Juárez se han visto obligados a vender sus tierras debido a que no se han recuperado de la pérdida económica que les produjo la devastación de sus cosechas, originada por el torrencial de lluvias que se registró en la región en septiembre de 2013, así lo señaló Héctor Hernández, representante del Frente de Productores Agropecuarios. Campesinos juarenses dieron a conocer que en cada temporada registran pérdidas en su cosecha debido a que la sequía impacta en los procesos de cultivo. También esto trae consigo una reducción de las ventas, que se traduce en el abaratamiento de las pacas del producto, ya que, en promedio, una paca de alfalfa puede costar 60 pesos, sin embargo, terminan ofertándola en 25 pesos, es decir, menos de la mitad de su precio real en el mercado.¹⁷

La reducción de sus ventas y sus bajos ingresos impiden que compren el seguro de los cultivos en caso de desastres naturales, que con anterioridad se subsidiaba con el 40 %, pero desapareció por el recorte presupuestal de la Secretaría de Hacienda.¹⁸ Además, es importante destacar que la falta de proyectos gubernamentales de apoyo al campo mantiene a los agricultores limitados para aumentar sus cosechas, a través de la tecnificación de la agricultura.

El panorama es muy cambiante para los productores del Valle de Juárez, ya que han indicado que por lo caro de los insumos y la variación de los precios internacionales de los cultivos ya no encuentran a cuál de ellos apostarle: trigo, algodón, maíz, y hasta nueces, todos les han dado sorpresas que los llevan a las

16 2 marzo, 2012, Beatriz Corral. NORTE DIGITAL <http://www.inforural.com.mx/piden-agricultores-del-valle-rehabilitacion-de-42-pozos/>

17 5 mayo, 2014, Francisco Chávez. El Diario <http://www.inforural.com.mx/forzados-a-vender-sus-tierras-los-agricultores-del-valle/>

18 8 mayo, 2014, Luis Torres. El Diario <http://www.inforural.com.mx/en-el-valle-visita-sagarpa-a-agricultores-afectados-por-granizo/>

pérdidas en los últimos años debido a la volatilidad del mercado, por lo que hay que estar experimentando con nuevos cultivos que probablemente mantendrán su precio.¹⁹

REFERENCIAS

- Chávez, O. (23 de abril de 2012). Reclama gobernador a Estados Unidos agua para el Valle. El Diario de Juárez. Recuperado en <http://www.inforural.com.mx/reclama-gobernador-a-estados-unidos-agua-para-el-valle/>
- Chávez, F. (24 de abril de 2014). Atados agricultores por escasez de agua. El Diario de Juárez. Recuperado en <http://www.inforural.com.mx/atados-agricultores-por-escasez-de-agua/>
- Chávez, F. (5 de mayo de 2014). Forzados a vender sus tierras los agricultores del Valle. El Diario. Recuperado en <http://www.inforural.com.mx/forzados-a-vender-sus-tierras-los-agricultores-del-valle/>
- Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza. (2015). Evaluación del Impacto de la Infraestructura de Saneamiento Básico en Comunidades del Valle de Juárez, Chih. 2013-2014. Ciudad Juárez, Chih.: Banco de Desarrollo de América del Norte. Obtenido de http://www.cocef.org/uploads/files/evaluacin_impacto_valle_de_juarez_-_final_-_junio_16_2015_esp..pdf
- Coronado, M. (5 de octubre de 2011). Se perdieron por sequía 600 hectáreas de sembradío en el Valle. El Diario de Chihuahua. Recuperado en <http://www.inforural.com.mx/se-perdieron-por-sequia-600-hectareas-de-sembradio-en-el-valle/>
- Coronado, M. (9 de junio de 2015). Volatilidad de los precios de cosechas le pegan al Valle. El Diario. Recuperado en <http://www.inforural.com.mx/volatilidad-de-precios-de-cosechas-le-pegan-al-valle/>

19 9 junio, 2015, Martín Coronado. El Diario <http://www.inforural.com.mx/volatilidad-de-precios-de-cosechas-le-pegan-al-valle/>

- www.inforural.com.mx/volatilidad-de-precios-de-cosechas-le-pegan-al-valle/
- Coronado, M. (5 de octubre de 2014). Tendrá el Valle cosecha récord de algodón. El Diario de Chihuahua. Recuperado en <http://www.inforural.com.mx/tendra-el-valle-cosecha-record-de-algodon/>
- Corral, B. (2 de marzo de 2012). Piden agricultores del Valle rehabilitación de 42 pozos. NORTE DIGITAL. Recuperado en <http://www.inforural.com.mx/piden-agricultores-del-valle-rehabilitacion-de-42-pozos/>
- Cortazar, A., y Carrera, B. (2011). Contradicciones en la información sobre el desarrollo económico y social del Valle de Juárez, México. Foro Bienal Iberoamericano de Estudios del Desarrollo (pág. 23). Juárez, Chih.: Red Iberoamericana de Estudios del Desarrollo. Obtenido de <http://www.riedesarrollo.org/memorias/2011/pdf/M5-4.pdf>
- García, J. A. (9 de septiembre de 2010). Algodoneros dejan en abandono el Valle. El Diario. Recuperado en <http://www.inforural.com.mx/algodoneros-dejan-en-abandono-el-valle/>
- Hernández, C. (8 de octubre de 2011). Reclaman productores a Duarte abandono del Valle de Juárez. El Pueblo de Chihuahua. Recuperado en <http://www.inforural.com.mx/reclaman-productores-a-duarte-abandono-del-valle-de-juarez/>
- OECD. (2010). Contribution of Cities to a Green Growth Model. En *Cities and Climate Change* (págs. 145-168). Paris: OECD Publishing. Obtenido de: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264091375-en>
- Secretaría de Energía. (2014). "Programa Especial para el Aprovechamiento de las Energías Renovables 2014-2018". Disponible en: <http://www.gob.mx/sener/acciones-y-programas/programa-especial-para-el-aprovechamiento-de-las-energias-renovables-2014-2018-10375> (Enero 10, 2017)
- Sagarpa. (2015). "Programa de fomento a la agricultura: Bioenergía y sustentabilidad". Disponible en: <http://www.>

sagarpa.gob.mx/ProgramasSAGARPA/2015/fomento_agricultura/Bioenergia_sustentabilidad/Paginas/Descripci%C3%B3n.aspx (Enero 10, 2017)

Torres, L. (8 de mayo de 2014). En el Valle visita SAGARPA a agricultores afectados por granizo. El Diario. Recuperado en <http://www.inforural.com.mx/en-el-valle-visita-sagarpa-a-agricultores-afectados-por-granizo/>

AGUA DEL VALLE DE JUÁREZ: CASO LOCALIDAD DE PRAXEDIS

*Alfredo Granados Olivas, Arturo Soto Ontiveros y Ana Cristina
García Vásquez*

3. 1 RESUMEN

Las aguas subterráneas representan un recurso natural no renovable que requiere de ser manejado de manera sustentable. Simboliza el acervo más importante que existe a nivel mundial de agua dulce disponible para su explotación con una visión económico-sustentable. En este segmento del estudio, se ha trabajado en el objetivo principal de la caracterización hidrogeológica e hidrogeoquímica del acuífero localizado en la colonia Esperanza localizada en el municipio de Praxedis G. Guerrero, en el Valle de Juárez. Se utilizó investigación documental para definir la caracterización de las propiedades físicas del sistema acuífero del Bolsón del Hueco en la sección de interés, documentando las publicaciones que han hecho referencia a estas propiedades físicas en la región de estudio. Complementariamente, se ha realizado trabajo de campo para medir los gastos y los niveles piezométricos (estático y dinámico) en el acuífero, utilizando para este propósito equipo de sondas eléctricas para registrar los niveles en la infraestructura

hidráulica evaluada. De igual forma, se tomaron muestras de agua en los pozos para medir sus propiedades hidrogeoquímicas desde la perspectiva de calidad del agua evaluando sus concentraciones para definir las familias de agua que se encuentran en la localidad. Los principales resultados demuestran un gradiente hidráulico hacia la planicie de inundación del sistema fluvial del río Bravo, en donde se localizan las partes bajas de la cuenca y se da un cono de abatimiento mínimo con niveles estáticos superficiales. De igual manera, las concentraciones de valores de conductividad eléctrica (CE) y dureza (CaCO_3) se presentan en la misma tendencia geoespacial. Se concluye con recomendaciones específicas relacionadas a las posibilidades para establecer este tipo de proyectos de reemplazo de energía eléctrica con medios de energías alternativas.

3. 2 ESTUDIOS SOBRE EL AGUA EN EL VALLE DE JUÁREZ

La disponibilidad de agua, en cantidad y calidad, es hoy en día una variable crítica para el desarrollo de las poblaciones, mismas que ejercen presión sobre el recurso. Esta demanda por el recurso tanto en cantidad como en calidad, puede llegar a deteriorar la condición del agua como recurso útil, disminuyendo o debilitando con esto su aprovechamiento e inclusive su uso para las necesidades vitales (Manzano-Solís, 2007).

En México existen estudios e investigaciones sobre los recursos hídricos que permiten ver la evolución de este elemento desde diversos panoramas. Pero la mayoría de los artículos y publicaciones se centran en el estudio de las aguas superficiales y su ciclo hidrológico y prestan poca atención al estudio del agua subterránea (González, 2011).

En los últimos años, se ha trabajado de manera oficial desde la agenda del Plan Nacional Hídrico en la generación de información necesaria para comprender las propiedades y disponibilidad del recurso agua (superficial y subterránea) para lograr la sustentabilidad hídrica del país, generando importantes esta-

dísticas al respecto de la disponibilidad del recurso y su distribución geográfica en el país (CNA, 2015).

En una visión general, los problemas de escasez del agua en el estado de Chihuahua son preocupantes, principalmente para el noreste del estado en donde se asienta Ciudad Juárez, que es la ciudad más poblada del estado. De igual forma, se localizan en la región adyacente a esta urbe, 23 comunidades de la región agrícola conocida como Valle de Juárez, que se abastecen del acuífero Bolsón del Hueco, que está considerado como sobreexplotado, principalmente en la zona urbana y periurbana de la ciudad, ya que al paso del tiempo las profundidades de bombeo han ido en aumento por la caída de los niveles estáticos, sobre todo en la parte sur de la ciudad, por lo cual en algunos casos los pozos se han cerrado debido a la degradación de la calidad del agua (Cocef, 2005).

Para ello se hace un estudio en la comunidad de Praxedis G. Guerrero con el fin de conocer básicamente las condiciones hidrogeológicas que guarda esta comunidad y complementar los datos que se han hecho en la región del Valle de Juárez para evaluar potencial uso de energía alternativa como fuente de energía para el bombeo de pozos profundos de la localidad.

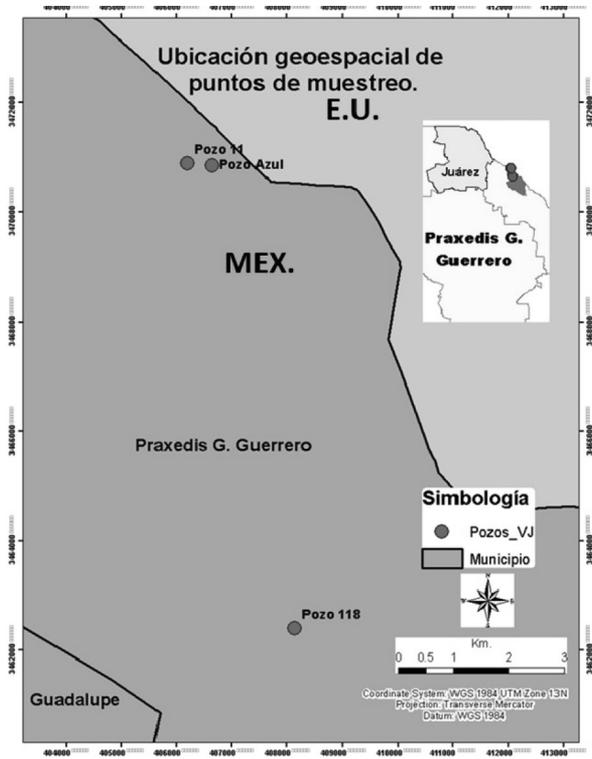
LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La población de Praxedis G. Guerrero originalmente fue fundada con el nombre de San Ignacio en el año de 1849, y no fue hasta 1933 que el Congreso de Chihuahua cambió su nombre por el de Praxedis Gilberto Guerrero, en honor al personaje del mismo nombre, el cual murió en la batalla de Janos durante la Revolución Mexicana. Administrativamente, dependió por muchos años del Municipio de Juárez, hasta que se decretó la categoría de municipio el 15 de febrero de 1859; finalmente en febrero de 1922 se constituye como pueblo autónomo. Praxedis G. Guerrero es una población pequeña dedicada principalmente a la agricultura en el Valle de Juárez y su cercanía con Ciudad Juárez ha

diversificado sus actividades económicas, aunque también ha generado una importante migración, sobre todo de las generaciones más jóvenes (PDM, 2013).

Praxedis se localiza en la latitud 31° 12', longitud 106° 01' a una altitud de 1092 metros sobre el nivel del mar. Colinda al norte y al este con Texas; al sur y al oeste con el Municipio Guadalupe. La cabecera municipal se encuentra a 411 kilómetros aproximadamente de la capital del estado. Tiene 27 localidades, todas rurales. Sus principales núcleos de población son Praxedis G. Guerrero, cabecera municipal; la Sección Municipal El Porvenir y las localidades de colonia Esperanza y Barrio de Progreso. Tiene una extensión de 808.97 kilómetros cuadrados, lo cual representa el 0.32 % de la extensión territorial estatal, y el 0.04 % de la nacional (figura 6).

FIGURA 6. Ubicación geográfica de la localidad de Praxedis G. Guerrero y de los puntos de muestreo.



FUENTE: Elaboración propia.

De acuerdo al Plan de Desarrollo Municipal de Praxedis G. Guerrero, se obtuvo la siguiente información:

OROGRAFÍA

Su orografía es predominantemente terreno plano, ya que se encuentra situado entre el término del Desierto Septentrional y la margen derecha del río Bravo; su serranía principal es la Sierra de San Ignacio.

HIDROGRAFÍA

Pertenece a la vertiente del Golfo. Su única corriente fluvial es el río Bravo del norte, que sirve de línea divisoria con Estados Unidos de Norteamérica y cortos arroyos tributarios que solo arrastran agua en los días de lluvia de la parte sur de la cuenca en México.

CLIMA

Es árido extremoso, su viento dominante es del sudoeste. De acuerdo a la clasificación de climas realizada por Köppen y modificada por Enriqueta García (1964) para las condiciones de la república mexicana. El clima de la región es muy seco o desértico y se clasifica por su humedad y temperatura como BWkx'(e), templado con verano cálido. De acuerdo con los registros de estación climatológica Juárez, que cuenta con información desde el año 1957, la temperatura media anual de la región es de 18.2° C, con valores extremos de 7.5 y 28.4° C, en los meses de enero y julio, respectivamente. El historial de precipitaciones registradas desde el año 1957 muestra ciclos con precipitaciones significativas, arriba del promedio, cada 9 o 10 años. Sin embargo, la precipitación promedio anual es de 265.3 mm, las cuales se registran principalmente durante los meses de julio a septiembre. Su evapotranspiración (ETP) es variable y los registros con los que se cuentan no son tan amplios, ya que datan de 1999 a la fecha de tal forma que fue posible determinar que el valor promedio anual de la ETP es del orden de los 2218 mm.

PRINCIPALES ECOSISTEMAS

Su flora está constituida por plantas típicas del desierto, como xerófilas, herbáceas, arbustos de diferentes tamaños entremezclados con algunas especies de agaves, yucas y cactáceas, leguminosas como el huizache, guamúchil, quiebre hacha, zacates, peyote,

bonete y chaparral espinoso. Su fauna consta de: paloma güilota y alas blancas, conejo, liebre, puma, gato montés y coyote.

CLASIFICACIÓN Y USO DEL SUELO

Sus suelos dominantes son del tipo regosoles eútricos de textura gruesa y en pendientes quebradas o fuertemente disectadas, asociados con litosoles y/o xerosoles y yermosoles, con inclusiones de solonetz en su fase lítica, todos estos bajo la Clasificación FAO.

SALINIDAD

El problema de salinidad en Praxedis G. Guerrero se debe a que se encuentra en una zona árida y la evaporación es 12 veces superior a la precipitación, provocando alto grado de evapotranspiración y que las sales se acumulen en la superficie del suelo; además de que no se cuenta con suficiente agua para riego; y las disponibles contienen altos niveles de sales disueltas, por lo que la contaminación de los suelos por este factor es un problema serio para la sustentabilidad y conservación de los mismos.

De acuerdo con estudios recientes, en el Municipio de Praxedis G. Guerrero el problema de salinidad se ha incrementado, encontrando como la principal razón la falta de agua para riego, en donde adicionalmente se agrega el problema de que esta es de mala calidad, obligando a sembrar cultivos tolerantes y que respondan a menor cantidad de agua, como es el caso del algodón.

RASGOS DEMOGRÁFICOS

De acuerdo a los datos más recientes proporcionados por el Inegi en el censo de población 2015, el municipio de Praxedis G. Guerrero cuenta con una población total de 4799 habitantes, de los cuales 2433 son hombres y 2366 son mujeres.

DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL ACUÍFERO VALLE DE JUÁREZ (texto íntegro CNA, 2015b)

LOCALIZACIÓN

El acuífero Valle de Juárez, definido con la clave 0833 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la Conagua, se localiza en la porción norte del estado de Chihuahua. Abarca una superficie de 3386 km², se ubica dentro de los paralelos 105°37' y 106°38' de latitud norte, y entre los meridianos 30°50' y 31°48' de longitud oeste.

FISIOGRAFÍA

De acuerdo con la clasificación de Provincias Fisiográficas realizada por E. Raisz (1964), la zona se localiza en la porción centro occidental de la Provincia Cuencas y Sierras, la cual está limitada al oriente por la Sierra Madre Oriental, al sur por las Sierras Transversales y al occidente por la Sierra Madre Occidental. La Provincia Fisiográfica de Cuencas y Sierras, se caracteriza por ser una extensa zona desértica en la que emergen grandes bloques montañosos, constituidos principalmente de rocas sedimentarias marinas de edad cretácica separados por amplias llanuras que, al paso del tiempo, durante el Paleógeno y Cuaternario, han sido rellenadas por depósitos aluviales, fluviales y lacustres conformando las cuencas endorréicas conocidas en el norte del país como “bolsones”, típicos de esta provincia. Estas regiones se caracterizan por su escasa pendiente y por presentar, en la mayoría de los casos, una laguna en su porción central, que generalmente son temporales. En la localidad los rasgos topográficos más importantes son el valle del río Bravo, denominado Valle de Juárez, y las sierras aisladas, angostas y alargadas que presentan una orientación preferencial noroeste-sureste. Entre ellas desta-

can las sierras de Juárez, El Presidio, Guadalupe, la Esperanza y San Ignacio, las cuales en general presentan un flanco escarpado y el otro con pendientes muy fuertes, seguido de una zona de transición constituida por lomeríos suaves que desaparecen hacia su proximidad con el río, donde se forma la planicie aluvial del río Bravo.

HIDROGRAFÍA

De acuerdo a la clasificación de Regiones Hidrológicas de la Comisión Nacional del Agua, la zona se encuentra en la Región Hidrológica RH 24 "Río Bravo", subregión hidrológica río Conchos, dentro de la cuenca río Bravo-Ciudad Juárez. Esta región hidrológica tiene como principal corriente precisamente el río Bravo, del cual toma su nombre. Se trata de una corriente de régimen perenne que fluye de noroeste a sureste, limitando el área en su porción norte; asimismo, desde Ciudad Juárez, Chihuahua, hasta su desembocadura en el Golfo de México, en la ciudad de Matamoros, Tamaulipas, es frontera internacional entre México y Estados Unidos de América.

La zona no cuenta con estructura hidráulica para el almacenamiento de las corrientes superficiales, sin embargo, aguas arriba sobre río Bravo en territorio norteamericano, la presa El Elefante cobra significativa importancia, ya que regula totalmente sus escurrimientos. Dentro del área que comprende el acuífero se cuenta con importantes obras hidráulicas para los usos público-urbano y agrícola, constituidas por una gran cantidad de pozos; extensas redes de distribución de agua potable y alcantarillado, en el área urbana de Ciudad Juárez; así como canales y acequias para el riego en las unidades del distrito de riego.

GEOMORFOLOGÍA

De acuerdo con el comportamiento de las diferentes rocas ante los agentes atmosféricos y a sus formas adoptadas ante los proce-

sos de intemperismo y erosión, se diferenciaron cuatro unidades geomorfológicas: sierras plegadas, lomeríos, planicie ondulada y planicie aluvial.

Sierras plegadas. Se denominó con este nombre al conjunto de sierras constituidas por rocas sedimentarias del Cretácico que presentan formas alargadas, escarpadas, muy esbeltas y de fuertes pendientes, entre las cuales se han desarrollado largos y angostos valles intermontanos siguiendo el patrón estructural marcado por estas y por su fallamiento. Tanto los valles como montañas presentan un alineamiento en sentido NW-SE. Esta unidad tiene elevaciones que alcanzan los 1800 msnm y en la zona está representada por la Sierra de Juárez.

Lomeríos. Esta morfología se asoció a conglomerados, depósitos de pie de monte (abanicos aluviales) y en menor proporción con un área de arenas eólicas que se localizan en la porción central del acuífero. Los lomeríos se ubican principalmente en los flancos orientales de la Sierra de Juárez. Las elevaciones en esta unidad oscilan entre 1120 msnm y 1300 msnm.

Planicie ondulada. Se asignó este nombre al relieve formado por un conjunto de dunas fijas, constituidas por arenas finas, bien clasificadas, producto de la intensa actividad eólica que ha actuado sobre las rocas preexistentes imprimiendo al relieve una forma ondulada.

Planicie aluvial. Como planicie aluvial se definió a la parte topográficamente más baja del valle, de pendiente muy suave, constituida por los depósitos aluviales y fluviales que conforman la planicie o valle del río Bravo, integrada por gravas, arenas, limos y arcillas. Esta geoforma se localiza en una franja angosta en ambos márgenes del río Bravo que varía entre 9 y 11.5 km de ancho, con un promedio de 9.5 km. Con base en las características geomorfológicas presentes como son su alto grado de intemperismo y erosión; su relieve generalmente suave presentando extensas áreas planas o semiplanas con meandros abandonados o paleocanales, excepto en las sierras donde se han excavado profundos cañones; y un patrón de drenaje controlado

principalmente por el fracturamiento, la pendiente, la litología y permeabilidad de los materiales en los que se desarrolla; se le puede ubicar en una etapa de madurez.

GEOLOGÍA

La geología regional abarca unidades litológicas en su mayoría de origen sedimentario y en menor proporción volcánico, cuyo rango estratigráfico abarca del Mesozoico hasta el Cenozoico, comprendidas dentro del terreno tectonoestratigráfico Chihuahua. Las rocas más antiguas son de tipo sedimentario y de origen marino y corresponden a las formaciones Navarrete-Las Vigas, Cuchillo y Grupo Aurora, las cuales fueron depositadas en la Cuenca Chihuahua, durante el Cretácico Inferior y están representadas por lutitas-areniscas, calizas arcillosas y biógenas y calizas, respectivamente. Cubren discordantemente esta secuencia derrames riódacíticos y riolíticos, así como depósitos piroclásticos de composición ácida, asociados al emplazamiento de dos cuerpos intrusivos de composición granítica y granodiorítica, pertenecientes todos al Oligoceno. El Mioceno está representado por derrames basálticos, los cuales sobreyacen discordantemente las secuencias anteriores. Finalmente, la secuencia es cubierta de manera discordante por depósitos semiconsolidados y no consolidados pertenecientes al periodo Neógeno Superior-Cuaternario, constituidos por conglomerados polimícticos, limos y arenas, depósitos lacustres y eólicos.

ESTRATIGRAFÍA

Cretácico Inferior Formación Navarrete-Las Vigas

Se define como una secuencia calcáreo-arcillosa con anhidritas y yesos en su base. Esta unidad se distribuye ampliamente en el área, hacia el este se localiza en las sierras San Ignacio y La Amargosa y en la porción oeste en las sierras Guadalupe, Cerro El Manochico y Sierra Presidio; sus afloramientos corresponden

en gran parte con los ejes de los anticlinales. Otros afloramientos menores se ubican al sur del Rancho El Centro y al sur del Rancho El Recuerdo, ambos localizados en la porción sur del área.

Se presenta como una secuencia de areniscas y lutitas, alternando con horizontes carbonatados y anhidritas en su base. La cima de la unidad está representada por areniscas de cuarzo fino a medio, en estratos de espesor medio, con estratificación cruzada y de coloración rojiza. Presenta intercalaciones de calizas ligeramente arenosas y lutitas con madera fósil. El espesor aproximado para esta unidad es de 600 m y su relación estratigráfica con la Formación Cuchillo es concordante.

FORMACIÓN CUCHILLO

Secuencia de calizas arcillosas con intercalaciones de lutitas, areniscas calcáreas, evaporitas y calizas biógenas, cuyo contenido arenoso se amplía hacia la Sierra San Ignacio, donde se emplea el término Formación Porvenir. Zwanziger (1986) dividió esta Formación en tres unidades formacionales denominadas La Virgen, Cupido y Peña; en este documento se agrupan con el nombre de Formación Cuchillo. Aflora en las porciones oriental y occidental en los flancos de los plegamientos que afectan las sierras San Ignacio, La Amargosa, Guadalupe, Presidio y en los cerros El Manochico y Los Indios.

Hacia el suroeste de la Sierra de Presidio esta unidad aflora como un paquete evaporítico, que corresponde a la unidad formacional La Virgen, constituido por una secuencia evaporítica blanca y amarillenta de aspecto sacaróide, de estructura masiva, con escasas intercalaciones de margas anhidríticas que gradúan a caliza arcillo-arenosa de color crema, con calizas que contienen impresiones fósiles de algas. Esta unidad es cubierta por calcarenitas con fósiles de bivalvos y contenido bioclástico, así como calcarenitas de oolitas con fracturas de anhidrita. Corona esta secuencia una caliza arcillosa color gris oscuro con amonitas, miliólidos y bioclastos, intercaladas con lutitas calcáreas

gris oscuro, de estructura físil y deleznable. Esta misma unidad aflora en el flanco noroeste de la Sierra San Ignacio como una secuencia de calizas arcillosas intercaladas con lutitas calcáreas y estratos arenosos; hacia el sureste de esta sierra existe un afloramiento de yeso de 10 metros de espesor correlacionable con esta unidad. El espesor de la Formación Cuchillo oscila entre los 250 y 800 metros y su relación estratigráfica con el Grupo Aurora es concordante.

GRUPO AURORA

Lo constituyen las formaciones Coyame, Benigno, Walnut y Edwards. Es la unidad de mayor afloramiento en el área. La base de esta secuencia está formada por calizas, en ocasiones arcillosas, de color café con collomiellas; en su parte media se compone de calizas ligeramente arcillosas de orbitolinas, seguidas de una secuencia de calizas arcillosas gris oscuro a negro, con ocasionales horizontes arenosos color gris de grano fino. La cima de este grupo está representada por un potente cuerpo de calizas de estratos gruesos a masivos con caprínidos y toucasias. El máximo espesor que presenta la totalidad de las formaciones que conforman este grupo es de 980 m.

PALEÓGENO-NEÓGENO

RIODACITA, RIOLITA

Rocas volcánicas que presentan texturas variables, desde porfídicas hasta fluidales. Su distribución se restringe a la Sierra Presidio y al oeste del cerro El Venado, en las porciones este y sureste, fuera del área que comprende el acuífero. Litológicamente consiste de una roca color rosa claro con un ligero tono rojizo, con escasos cristales de biotita y feldespato; microscópicamente presenta textura microcristalina constituida por ortoclasa, cuarzo, plagioclasas y piroxenos. Su espesor promedio es de 300 m

Su presencia se asocia a procesos volcánicos derivados del fallamiento ocasionado por el proceso distensivo Basin and Range.

TOBA RIOLÍTICA

Conjunto de tobas de composición predominantemente ácidas, líticas, vítreas y pumicíticas, de color café claro con tonalidades naranja y rosa, en muestra fresca, y rosa claro y amarillo ocre al intemperismo. Se presenta como una unidad masiva, con escaso fracturamiento. Afloran en los flancos de la Sierra Presidio, al sur de la misma y al oeste del Rancho El Cuarenta, fuera de área que comprende el acuífero. El espesor promedio de esta unidad es de 150 metros y sobreyace discordantemente a una unidad de andesitas oligocénicas.

BASALTO

Se refiere a derrames basálticos de color gris claro y oscuro, con textura afanítica o porfídica y estructura vesicular. Microscópicamente se describe como una roca holocristalina, intergranular, con matriz traquítica, compuesta por plagioclasas, olivinos y piroxenos. Aflora al suroeste de la Sierra Presidio, en dirección este del Rancho El Lucero, fuera de área que comprende el acuífero. Subyacen a sedimentos eólicos y aluviales cuaternarios.

CONGLOMERADO

Paquete de conglomerados resultado de la intemperización de rocas ígneas y sedimentarias que afloran en los flancos de casi todas las sierras y está constituido por fragmentos angulosos y subredondeados de caliza, areniscas y lutitas, principalmente hacia la porción noroeste del área, aunque también contiene fragmentos de rocas ígneas como ignimbrita, basaltos e intrusivos hacia la porción oeste de la cuenca del Arroyo Las Bandejas, donde existe una mayor presencia de estas rocas. Los fragmentos

están empacados en una matriz limo-arenosa principalmente, aunque también pueden presentarse con cementante calcáreo.

CUATERNARIO

LACUSTRE

Esta unidad se localiza en la porción sur del área, dentro de las lagunas El Cuarenta y Las Flores en la cuenca del arroyo Bandejas, y El Barreal, ubicada al sur de la zona urbana de Ciudad Juárez. Se describe como un paquete de arenas finas, limos y arcillas, que no presentan compactación ni cementación, con intercalaciones de carbonatos, originados a partir de los depósitos y desecados por evaporación. Su espesor varía desde algunos decímetros hasta 12 m, medidos en parte central de la laguna El Barreal.

EÓLICO

Sus exposiciones se localizan en la parte oeste-noroeste del área, hacia la parte sur del cerro El Manochico y porción norte de la Sierra San Antonio, al sur de la misma, al sur de la Sierra El Presidio. Son sedimentos del tamaño de las arenas finas que forman dunas transportadas por la acción del viento, o bien, fijas alrededor de arbustos, como el mezquite, como las que se presentan en extensas zonas al sur y suroeste de Ciudad Juárez.

ALUVIAL

Su contenido varía entre limos, arenas, arcillas y gravas; hacia el pie de las sierras, donde la velocidad de las corrientes intermitentes es mayor y aumenta el contenido de gravas y boleas, disminuyendo el tamaño de los clastos drásticamente hacia las planicies, donde predominan los materiales finos. Las gravas se componen de calizas, areniscas, tobas riolíticas y basaltos, con diferentes grados de redondez.

CONGLOMERADO

Se localiza en la parte sur de las sierras La Amargosa y al sur de los cerros ubicados al oeste del Rancho El Cuarenta. Se trata de depósitos proluviales y coluviales con predominio en tamaño de gravas y arenas, subangulosos, pobremente cementados y compactados. Los clastos varían su composición de rocas sedimentarias como calizas y lutitas a rocas ígneas como tobas y granodioritas de una sierra a otra. Cubren discordantemente a las secuencias cretácica y terciaria.

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Esta área estuvo sujeta a diferentes movimientos orogénicos, epirogénicos y tafrogénicos. Aparentemente el sistema Ouchita se prolongó en Chihuahua y afectó a las rocas paleozoicas ya formadas, aunque es más fácil pensar que fue en el Sistema Apalachiano en el que se plegaron y se levantaron gran parte de las rocas al final del Pérmico y principios del Triásico, ya que no existen testigos de este sistema ni del Jurásico Inferior y Medio. Aparentemente no hay duda de la formación del Geosinclinal Paleozoico, especialmente en el Pérmico-Carbonífero, que sirvió como roca base al gran Geosinclinal Mexicano que inició su formación en el Jurásico Superior y continuó hasta el Cretácico Superior. En el Paleógeno toda la columna sedimentaria fue plegada y afallada por la Orogenia Laramide, la cual actuó en un sistema de fuerzas unilaterales, uniformes y paralelas con una dirección SW-NE, originando una alternancia de estructuras anticlinales y sinclinales paralelos, intensamente plegados, asimétricos con su plano axial recostado hacia el NE y sus ejes orientados NW-SE. Al finalizar el plegamiento se inició una serie de fallas transcurrentes de escaso desplazamiento horizontal SW-NE. Las principales deformaciones que se presentan en el área son asociadas a fases de compresión y distensión, generando pliegues y fallamientos normales; estas estructuras se aso-

cian a la orogenia Laramide (finales del Cretácico) y al periodo extensional Basin and Range (Mioceno).

Posteriormente a la Orogenia Laramide, en el Neógeno, se desarrolló un sistema de basculamiento en bloques de basamento, que fue acompañado por un levantamiento regional que afectó a toda la columna sedimentaria con un sistema de fallas normales, algunas veces acompañado de actividad ígnea. El basculamiento en bloques o movimiento tafrogénico está representado en la superficie por sierras y cuencas (bolsones).

GEOLOGÍA DEL SUBSUELO

La vasta información de los cortes litológicos de los pozos y de registros eléctricos realizados en la región, permiten definir que el acuífero regional está constituido, en su parte superior, por materiales clásticos conformados por abanicos aluviales, sedimentos eólicos y aluviales depositados en el bolsón. Subyaciendo a esta unidad, se presenta un medio fracturado constituido por rocas sedimentarias kársticas e ígneas extrusivas que en superficie funcionan como rocas transmisoras, permitiendo la infiltración a través de fallas y fracturas hacia las unidades topográficamente más bajas. Ambas unidades están separadas en la llanura aluvial por una capa arcillosa de espesor variable que ocasiona artesianismo. El medio granular gana espesor de manera abrupta debido a la falla normal localizada en el flanco este de la Sierra de Juárez. De acuerdo con un pozo perforado en la porción estadounidense del bolsón, el espesor máximo de estos depósitos es de 2743 m. La mayor parte de los pozos de uso agrícola se emplazan solo en los depósitos del aluvión y raramente rebasan los 100 m de profundidad, mientras que los pozos que abastecen de agua potable a Ciudad Juárez extraen agua principalmente de los depósitos de Bolsón y tienen profundidades promedio de 250 m. El sedimento del aluvión río Grande tiene espesores que varían de 40 a 100 m y se compone de materiales con granulometría que va de gravas a arcillas y arenas; dispuestos en

estratos irregulares de espesores variables, cuya litología cambia gradualmente tanto lateral como verticalmente, existiendo una predominancia de las gravas y arenas. Los depósitos de bolsón, de acuerdo a la información proporcionada por pozos ubicados a lo largo del valle, cambian lateralmente en su granulometría, predominando las arenas, limos y arcillas. Existe una tendencia a aumentar el contenido de arcilla desde el valle agrícola hacia la zona de las sierras de Presidio, Guadalupe y San Ignacio, lo cual se refleja en la disminución de gastos de extracción de los pozos perforados en esas zonas, aunque la calidad del agua, por el contrario, tiende a mejorar sustancialmente.

Regionalmente el acuífero está alojado en los sedimentos que se fueron depositando en la depresión formada por un sistema de fallas normales, donde los bloques caídos propiciaron la conformación de una depresión (graben) y los bloques levantados (horsts) son las actuales sierras que limitan la cuenca del río Bravo. La geometría del acuífero está determinada por el sistema de fallamiento, el espesor de los depósitos es mayor al centro de la depresión y menores hacia las estribaciones de las sierras que la delimitan, teniendo como eje el río Bravo. En la porción estadounidense del Bolsón del Hueco, las perforaciones exploratorias han determinado que el espesor máximo de los sedimentos es del orden de los 2700 m; sin embargo, en la porción mexicana solo se han perforado pozos hasta 500 m de profundidad, sin tocar el basamento rocoso. Las rocas fracturadas de las sierras que bordean al acuífero, son en general transmisoras del agua de recarga que fluye hacia los sedimentos de los depósitos que rellenaron el bolsón.

HIDROGEOLOGÍA

TIPO DE ACUÍFERO

Este acuífero es la única fuente de abastecimiento que tiene actualmente Ciudad Juárez y la 23 comunidad del Valle de Juárez. El

agua del Acuífero Valle de Juárez (Bolsón del Hueco) se utiliza para uso urbano tanto en Ciudad Juárez como en las localidades rurales de los municipios de Guadalupe D. Bravos y Praxedis G. Guerrero, a su vez se extrae para uso agrícola en el Distrito de Riego 009, el acuífero Laguna de Patos (Acuífero Somero) se extrae básicamente para uso agrícola. Es necesario mencionar que el agua que se sustrae para uso urbano también se utiliza como pecuaria para el ganado. Actualmente dentro de la zona de estudio, estos dos acuíferos son los únicos que se tienen en uso (Cocef, 2013).

El acuífero es de tipo libre y está constituido, en su parte superior, por materiales clásticos conformados por abanicos aluviales, sedimentos eólicos y aluviales, depositados tanto en la planicie aluvial del río Bravo como en el bolsón. Subyaciendo a esta unidad, se presenta un medio fracturado constituido por rocas sedimentarias kársticas e ígneas extrusivas que en superficie funcionan como rocas transmisoras, permitiendo la infiltración a través de fallas y fracturas, hacia las unidades topográficamente más bajas. Hacia la porción sur del acuífero, en la tercera unidad del Distrito de Riego, donde el espesor de los depósitos es mayor, ambas unidades están separadas en la llanura aluvial por una capa arcillosa de espesor variable que provoca condiciones locales de confinamiento y la presencia de artesianismo. El medio granular está conformado por los sedimentos aluviales del río Bravo, los depósitos de bolsón que subyacen a los aluviales, así como los conglomerados y sedimentos eólicos. Los depósitos de bolsón, por su posición respecto a las demás unidades hidrostratigráficas, funcionan como unidad receptora y almacenadora de agua, y forma el acuífero más importante de la zona, ya que de él se abastecen los centros urbanos de Ciudad Juárez, Chihuahua y El Paso, Texas. Esta unidad forma al denominado acuífero del Bolsón del Hueco que es compartido entre México y Estados Unidos de América. El medio fracturado está integrado por la secuencia de rocas sedimentarias marinas del Cretácico Inferior, representadas por las formaciones Cuchillo, Benigno y Lágrima, así como las rocas volcánicas de menor importancia

debido a que en superficie sus afloramientos son de escasa magnitud. Sin embargo, se debe considerar su presencia en la conexión entre el Bolsón del Hueco y La Mesilla en el área del puerto Anapra, entre la sierra de Juárez y las montañas Franklin.

En la zona sureste de Ciudad Juárez, por el Distrito de Riego 009, los niveles estáticos de los pozos agrícolas varían de 4 a 9 metros aproximadamente, dependiendo también de la ubicación topográfica de cada pozo. Enseguida se presenta en la tabla 5 esta información, así como la ubicación del acuífero en la zona urbana de Ciudad Juárez y el de la zona sureste.

TABLA 5. Comparación entre acuífero en zona urbana vs zona agrícola.

Acuífero	Prof. de pozos (m)	Caudal (l/s)	Nivel estático (m)	Nivel dinámico (m)	Variación de niveles Ene/2010-Ene/2012 (m)
Zona Urbana	250----	12-60	9-163	Sin datos	0.01 – 3.40
Zona sureste de Ciudad Juárez (Distrito de Riego 09)	80-150	55-120	4	8	Sin datos

FUENTE: Cocef (2013).

PARÁMETROS HIDRÁULICOS

En el año 2008 la Comisión Nacional del Agua realizó un estudio para la determinación de la disponibilidad de agua, definiendo los parámetros hidráulicos del acuífero y se recopiló la información de 40 pruebas de bombeo. De forma adicional, como parte del estudio de actualización realizado en el año 2008, se ejecutaron 10 pruebas, cuya duración varió de 17 a 29 horas, interpretadas tanto por métodos convencionales (Theis, Cooper y Jacob) como por el método alternativo (modelo numérico de Rathod and Rushton).

La interpretación de los resultados de los valores obtenidos de las pruebas recopiladas, se establece que los valores de Trans-

misividad (T) varían de 72 a 1448 m²/d. La variación de la Transmisividad sigue un patrón de comportamiento bien definido: los valores más altos se registran en la porción noroeste de la zona, disminuyendo gradualmente hacia el sureste, en cuyo extremo se encuentran los valores más bajos.

En la Conductividad Hidráulica (K) los valores oscilan entre 0.1 y 28.5 m/día. En la zona urbana su valor promedio es de 7.4 m/día; en el resto del valle los valores fluctúan entre 0.12 y 9.64 m/día con un valor promedio de 3.2 m/día. En el valle de Bandejas se presenta un valor medio de 9 m/día.

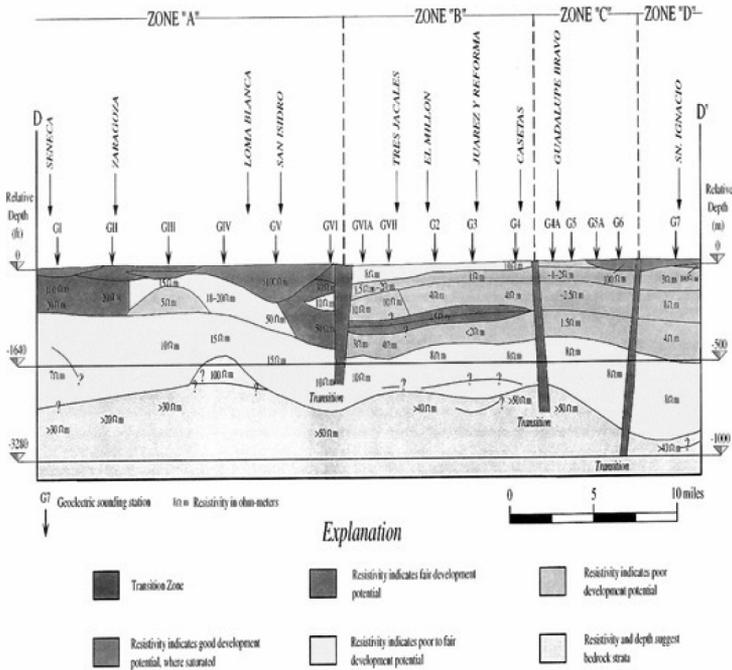
Por lo que respecta al Coeficiente de Almacenamiento (S), para la zona urbana su valor promedio es 0.00044 y para el resto del valle 0.00063. El valor del rendimiento específico varía de 0.12 a 0.26, con promedio de 0.15.

En el sureste del sondeo eléctrico vertical (SEV) con etiqueta GVI, (de punto GVI a punto G6), las resistividades eléctricas están dentro de los 8 ohmios-m a 198 m de espesor, hay una excepción que está entre G5A y D', donde una capa de 48.7 m de espesor de material de alta resistividad (100 ohm-m). Esta delgada capa representa probablemente el bolsón de textura gruesa que puede asociarse con depósitos de arroyos formados a lo largo del arroyo del río Bandejas (Geo Fimex, 1970) (figura 7).

Lo que nos muestra que los pozos perforados en las zonas de los SEV en los puntos GVI a G6 la resistividad indica un potencial de desarrollo deficiente y la delgada capa de apenas 48.7 m que va de G5A a D lo que nos arroja que la resistividad es de buen potencial de desarrollo saturado (Hibbs *et al.*, 1997).

FIGURA 7. Sección geoelectrónica representando las características hidroestratigráficas en el Valle de Juárez.

Goelectric Cross Section D - D' - Juárez Valley, Chihuahua, Mexico



FUENTE: GeoFimex (1970).

a) Recarga

Este aspecto del funcionamiento de un acuífero es de vital importancia ya que permite conocer cuál es el estado de aprovechamiento o condición de su explotación. Para saber esta condición, es necesario contar con información derivada de estudios integrales de evaluación geohidrológicas. La Comisión Nacional del Agua realizó un estudio para la Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero 0833 Valle de Juárez, estado de Chihuahua en el año 2009. La recarga calculada para este acuífero fue de 125.9 Mm³/año (millones de metros cúbicos al año) (CNA, 2015b).

b) Extracción

La extracción total en el área de estudio, en la que se incluyen todos los volúmenes de agua concesionada y comprometida fue calculada en 2012, en 400 Mm³/año, por lo que si se toma en cuenta la recarga que es 125.9 Mm³/año, existe un déficit de agua de -86.5 Mm³/año en el acuífero, es decir, que se está extrayendo agua a costa del almacenamiento no renovable del acuífero, por lo tanto, no existe volumen disponible para nuevas extracciones. Es necesario aclarar que el volumen de bombeo considerado para la evaluación fue 171.8 Mm³/año en función de un censo llevado a cabo en el estudio. En la actualidad el volumen de bombeo es de 144.8 Mm³/año, en virtud de que se cancelaron algunos pozos por el abatimiento de los niveles del agua (Cocef, 2013).

c) Eficiencia

En las 23 localidades que comprendió el estudio del Plan Maestro de Valle de Juárez para la zona rural, se estimó una eficiencia en promedio del 61.8 % para el año de 1999, lo que implica que el agua no contabilizada alcanza el 38.2 % del volumen alumbrado.

d) Zona de riesgo

De acuerdo con datos estadísticos analizados en el estudio del Plan Maestro elaborado por la Cocef en el año 1999-2000, se tiene que la eficiencia en el distrito de riego es del 56.3 %, esto quiere decir que de los 215.95 Mm³/año (que ingresan al Distrito de Riego 009 de las distintas fuentes, solamente se aprovechan 121.58 Mm³/año y el resto 94.36 Mm³/año se desperdician por evaporación, infiltración y técnicas de riego ineficientes. En estudios elaborados por la CNA, se menciona que la eficiencia en los distritos de riego a nivel región en promedio es del 44 %, con este porcentaje el aprovechamiento sería de 95.02 Mm³ en condiciones actuales (Cocef, 2013).

METODOLOGÍA

Para evaluar la situación hidrogeológica en la zona de estudio, se realizó una visita de campo para recabar información referente a las condiciones reales y actuales de tres pozos de la comunidad de Praxedis G. Guerrero. Se utilizó la información geoestadística provista por El Colegio de Chihuahua en referencia a las coordenadas y propiedades de diseño de la infraestructura hidroagrícola del lugar. Para la generación del mapa de isoyetas de igual evolución piezométrica, se utilizó una sonda eléctrica de tipo manual la cual cuenta con un cable eléctrico calibre 12, con un voltímetro y bocina de sonido para registrar el nivel al hacer contacto con el espejo de agua en el pozo. Con este registro, se retira la sonda y se miden con una cinta métrica los metros al espejo del agua para restar este valor al dato de elevación registrado en el equipo de GPS que nos arrojó el dato de metros de elevación por sobre el nivel del mar (msnm) (figura 8).

FIGURA 8. Levantamiento de datos de niveles estáticos para red piezométrica y canales de distribución de agua de riego.



FOTOGRAFÍAS tomadas en el trabajo de campo.

En el procedimiento para la generación de un mapa de isoyetas primero se trazan las líneas equipotenciales, después las líneas de flujo en donde se ejemplifica la dirección del flujo del agua subterránea. Para esto se requieren al menos tres puntos con información referente a las coordenadas geográficas de ubicación y el nivel al espejo del agua medido por la sonda eléctrica empleada para dicho propósito (figura 9). En este procedimiento se genera del nivel estático en un principio localizado en una serie de puntos (al menos tres), para posteriormente trazar las equipotenciales (que aquí se denominan curvas de isoyetas o isopiezométricas). Posteriormente se trazan las líneas de flujo o gradiente hidráulico, las cuales son perpendiculares a las isoyetas de equipotenciales.

Hay mapas de isoyetas sin una sola línea de flujo, aunque lo habitual es representar algunas líneas solamente para proporcionar una indicación visual de las direcciones preferentes del flujo regional. Para la generación de las curvas de equipotenciales, en cada pozo se resta la cota estimada de elevación (a partir de las curvas de nivel o GPS) y posteriormente se resta la profundidad del nivel freático (Sánchez, 2014).

Se realizó una interpolación por medio del método Inverse Distance Weighted (IDW) con ayuda del programa ArcGis 10.2 para desarrollar un ráster de salida, con lo que se generaron las líneas resultantes para obtener los valores de las curvas de nivel estático resultante. Con el valor restante, a partir de los datos de tres pozos en los cuales se representan los niveles estáticos en metros sobre el nivel del mar (msnm) ya corregidos.

RESULTADOS

Los datos geográficos se presentan en la tabla 7 en donde se identifican las ubicaciones reales levantadas en campo con GPS XM, para la generación de curvas isoyetas y la determinación de la línea de flujo en donde se usó la metodología descrita anteriormente. En la tabla 6 se pueden identificar los datos oficiales del Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) dentro de los que sobresalen los volúmenes autorizados de alumbramiento, la identificación oficial del pozo, así como las coordenadas XY de ubicación geográfica de los mismos y datos propios de la identificación oficial de la cuenca.

TABLA 6. Registro Público de Derechos de Agua de Pozos Evaluados (REPDA-CNA).

Pozo	Anexo	Volumen (m3/año)	Uso que ampara el título	Estado	Municipio	Región hidrológica	Cuenca	Acuífero que menciona el título	Acuífero homologado	Latitud	Longitud
CE-6 R	4	532 015.00	AGRÍCOLA	8 - CHIH.	53 - PRAXEDIS G. GUERRERO	24 - BRA-VO-CONCHOS	5	33 - VALLE DE JUÁREZ	0833 - VALLE DE JUÁREZ	31°18'29.00"	-105°57'27.00"
PGI-11	33	532 015.00	AGRÍCOLA	8 - CHIH.	53 - PRAXEDIS G. GUERRERO	24 - BRA-VO-CONCHOS	5	33 - VALLE DE JUÁREZ	0833 - VALLE DE JUÁREZ	31°30'58.00"	-106°15'00.00"
PT-18	20	399 011.00	AGRÍCOLA	8 - CHIH.	53 - PRAXEDIS G. GUERRERO	24 - BRA-VO-CONCHOS	5	33 - VALLE DE JUÁREZ	0833 - VALLE DE JUÁREZ	31°17'35.00"	-105°57'29.00"

FUENTE: CNA, 2017

De igual forma, en la tabla 7 se pueden identificar los resultados de las pruebas realizadas a los pozos evaluados. Dentro de los valores que se destacan se encuentran los niveles estático y dinámico, así como el gasto aproximado obtenido en el pozo con un volumen de bombeo especificado para cada caso. Los espacios de la tabla en donde no se encuentra dato registrado, representan la imposibilidad de obtener dicha información en el momento de la prueba de bombeo.

TABLA 7. Gasto, nivel estático y nivel dinámico en pozos muestreados.

Pozo	Nivel estático (m)	Nivel dinámico (m)	Gasto máximo (lps)	Profundidad (m)	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
PGI-11	3.73	14.27	64.17	50	31.36867300000	-105.98632300000	1063
CE-6 R	1.4				31.36844400000	-105.98163700000	1057
Azul	2.9	5.97	43.52	50	31.36629600000	-105.98118900000	1049
PT-18	24.15	30.43	50	100	31.29227500000	-105.96511100000	1074

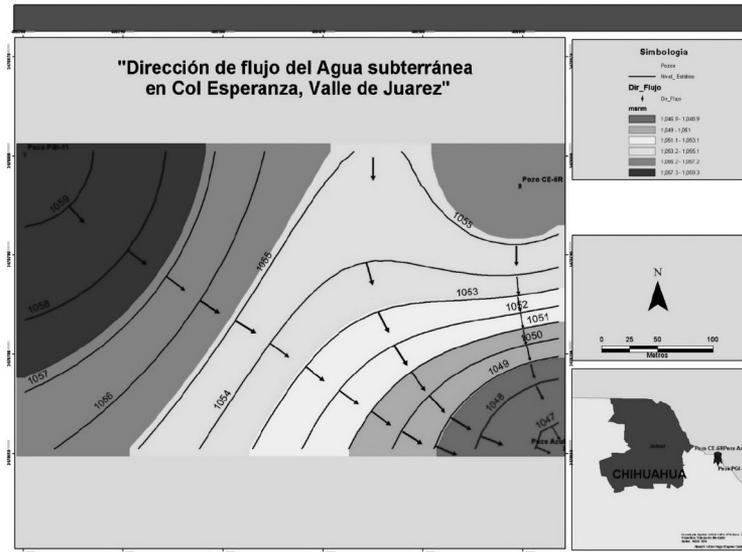
FUENTE: Elaboración propia con datos del trabajo de campo.

Se destaca de los valores de la tabla 7, principalmente el dato de abatimiento por la prueba de bombeo. Los promedios de abatimiento fueron variables, generando conos de abatimiento por efecto del bombeo. Por ejemplo, en el pozo PGI 11 se presentó un nivel estático de 3.73 m y un nivel dinámico de 14.27 m, lo que representa un abatimiento de 10.54 m representando el pozo con mayor abatimiento de los muestreados en el estudio, pero sosteniendo el mayor gasto medido, siendo este de aproximadamente 64 litros por segundo (lps).

Por otro lado las líneas equipotenciales que muestran los niveles estáticos presentan una tendencia de norponiente hacia el suroriente dirigiendo el flujo del nivel estático como es repre-

sentativo de las condiciones hidroestratigráficas publicadas en otros trabajos de investigación documentados previamente. En la figura 9 se puede apreciar la dirección del flujo de agua subterránea en condiciones naturales de niveles estáticos.

FIGURA 9. Dirección del flujo de agua subterránea en la zona de estudio.



FUENTE: Elaboración propia.

La lógica del fundamento del método utilizado para evaluar la dirección del flujo de agua subterránea es interpolar valores entre puntos cercanos y trazar líneas que unan puntos de igual piezometría. En cada línea isoyeta debe figurar su valor de equipotencial del espejo del agua, lo que en este caso representa el nivel estático en el acuífero. El sentido del flujo del agua, por las razones ya comentadas anteriormente, es desde líneas de mayor altura piezométrica hacia líneas de menor altura piezométrica. Esto conduce el agua subterránea en la dirección de la máxima pendiente de forma perpendicularmente a las mismas. De esta manera es posible trazar indicadores que definen el sentido del flujo.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

La problemática que representa en general el acuífero Valle de Juárez es la sobreexplotación. La misma Comisión Nacional del Agua en su estudio “Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el Acuífero Valle de Juárez (0833) Estado de Chihuahua”, indica los volúmenes de agua concesionada y comprometida, la cual fue calculada en 2014 arrojando un volumen aproximado de 212.42 Mm³/año, por lo que si se toma en cuenta la recarga que es estimada en 125.9 Mm³/año, se puede calcular que existe un déficit de agua de aproximadamente -86.52 Mm³/año en el acuífero.

Por otro lado, en la zona sureste del poblado de Praxedis G. Guerrero, los niveles estáticos de los pozos agrícolas varían de 4 a 9 metros aproximadamente, dependiendo también de la ubicación topográfica de cada pozo. Lo que en conjunto con los resultados de la resistividad documentada, la cual es considerada resistividad de (100 ohm-m), lo que es indicativo de una resistividad que manifiesta un buen potencial para que se encuentren materiales de desarrollo saturado, esto es, acuíferos con potencial de buena productividad, pero en una delgada capa de apenas 48.7 m donde se ubica el municipio de Praxedis.

El mapa resultante de curvas de isoyetas indica que el flujo predominante es al suroriente del poblado debido probablemente a los excedentes de riego agrícola y a la nula corriente del río Bravo por lo que, en la segunda y tercera unidad del distrito de riego, los niveles freáticos se han mantenido estables y en algunas áreas han manifestado ligero ascenso; en resumen, los pozos del área tienen buen potencial a pesar del problema del acuífero por sobreexplotación.

3.3 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA LOCALIDAD DE PRAXEDIS

INTRODUCCIÓN

El río Bravo y los acuíferos transfronterizos en la región de Las Cruces, Nuevo México, El Paso, Texas, y Ciudad Juárez, México, constituyen el único recurso hídrico para una población cercana a dos millones de personas y una superficie irrigada de aproximadamente 170 mil acres, es decir, unas 78 mil hectáreas (Hibbs *et al.*, 2002).

El Valle de Juárez pertenece parcialmente al Municipio de Ciudad Juárez en el estado de Chihuahua y está situado sobre la margen derecha del río Bravo, al sur de la línea fronteriza con Estados Unidos de América, el cual se ha extendido en el sureste de Ciudad Juárez sobre terrenos agrícolas (Garza, 2001). Según los datos históricos con los que cuenta la estación climatológica desde 1957, la temperatura media anual de la región es de 18.2°C, con valores extremos de 7.5 y 28.4°C, en los meses de enero y julio, respectivamente (Conagua, 2009).

El acuífero Valle de Juárez es definido con la clave 0833 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la Conagua y geopolíticamente comprende la totalidad del municipio Praxedis G. Guerrero y parcialmente Juárez y Guadalupe (Conagua, 2009). Longitudinalmente, el Valle de Juárez ocupa 135 km con un ancho aproximado de 3 km, donde se encuentran varios municipios como Guadalupe (Cortazar *et al.*, 2011). Perteneciendo también el municipio de Praxedis Guerrero con una extensión de 809 km², localizado al sureste de Ciudad Juárez con las coordenadas 31°12'N y 106°01' O, sobre la carretera principal de Juárez-Porvenir con una elevación de 1092 msnm (Cocef, 2015).

En esta región la principal actividad económica es agropecuaria, donde se produce algodón, alfalfa, trigo, cebada, sorgo y avena. Preexistiendo a través de los años en esta línea fronteriza la agricultura, la que ha sido el mayor usuario del agua a lo

largo de las cuencas transfronterizas en el río Bravo (Bustillos, 2004). Por otro lado, es conocido que la necesidad y demanda por el recurso hídrico es un tema obligado, ya que la precipitación anual es escasa y no es suficiente para que puedan desarrollarse los cultivos. Palacios (1975) estima que en el 63 % del territorio mexicano el riego es indispensable.

En lo que se refiere a estudios sobre la calidad del agua en el acuífero del Valle de Juárez, investigaciones relacionadas al área de interés muestran altos contenidos de salinidad a lo largo de la línea fronteriza, dejando en claro los impactos por el deterioro de la calidad química del agua, principalmente en sales disueltas que produce la contaminación y salinización de suelos presente, en donde las aguas subterráneas son muy someras, encontrándose en un promedio de profundidad del nivel freático en 1.5 m, lo que provoca flujos de aguas salobres hacia las partes superiores del suelo por efecto de la evaporación. De acuerdo con Cortazar *et al.* (2011), se han ubicado concentraciones de salinidad en el acuífero profundo de 1000mg/L y en acuífero somero de hasta 1129 mg/L, siendo notable el alto grado de salinidad en las presentes aguas.

En este segmento del estudio, se centró la investigación en el análisis de la calidad química del agua subterránea muestreada en pozos de bombeo profundo para uso agrícola, en donde se determinaron las concentraciones de sales y conductividad eléctrica de los mismos.

MATERIALES

En el municipio de Praxedis Guerrero se realizó el muestreo puntual de tres tomas directamente de pozos de agua potable, siendo seleccionados para el estudio los siguientes puntos. Las muestras de agua fueron recolectadas y analizadas de manera parcial por el equipo de Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (figura 10). El resto de los parámetros se corrieron en el laboratorio bajo condiciones para el control de calidad en el análisis.

FIGURA 10. Análisis químico de muestras de agua subterránea en el Valle de Juárez.



FOTOGRAFÍA tomada en campo.

Se tomaron tres muestras representativas puntuales de los pozos de agua a las cuales se les realizaron mediciones de parámetros físico-químicos in situ con equipo portátil de medición en el momento en que las muestras fueron tomadas. Tales parámetros son pH, temperatura de la muestra y temperatura ambiente, conductividad eléctrica en el caso de los análisis de color, dureza total, sólidos disueltos totales, turbidez, fenoles, SAAM, cianuros, cloro, cloruros, fluoruros, nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos, ph, sulfatos, coliformes totales, coliformes fecales, aluminio, arsénico, bario, cadmio, cobre, cromo total, fierro, manganeso, mercurio, plomo, sodio y zinc. Estos análisis fueron realizados según las normas oficiales correspondientes a cada parámetro en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la UACJ, que está acreditado por la EMA. Para graficar las muestras conforme a los resultados obtenidos, se utilizó el *software* HatariChem en línea, con el que se realización los diagramas Piper y Stiff.

Los trabajos de campo corrieron bajo la responsabilidad de un equipo interdisciplinario representativo de la comunidad de productores agrícolas de la región, de personal especializado en agua

subterránea del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la UACJ, por especialistas en el área social y ambiental de El Colegio de Chihuahua, y por técnicos de la Junta Rural de Agua de la comunidad (figura 11).

FIGURA 11. Equipo de trabajo multidisciplinario e interinstitucional.

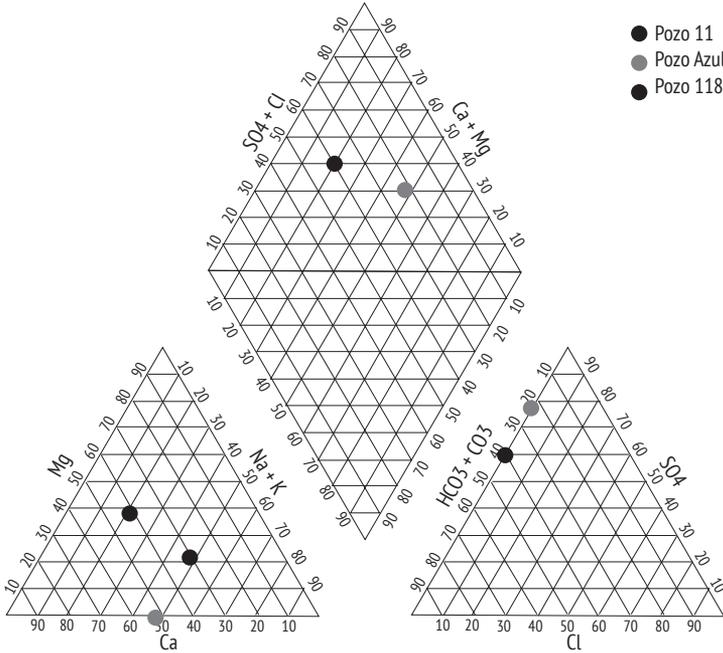


FOTOGRAFÍA tomada en campo.

RESULTADOS

El diagrama Piper que se muestra a continuación, se utilizó para determinar las diferentes familias de aguas, existentes en la región de estudio (figura 12).

FIGURA 12. Diagrama Piper representativo de las familias de agua en pozos analizados en el estudio.



FUENTE: Elaboración propia.

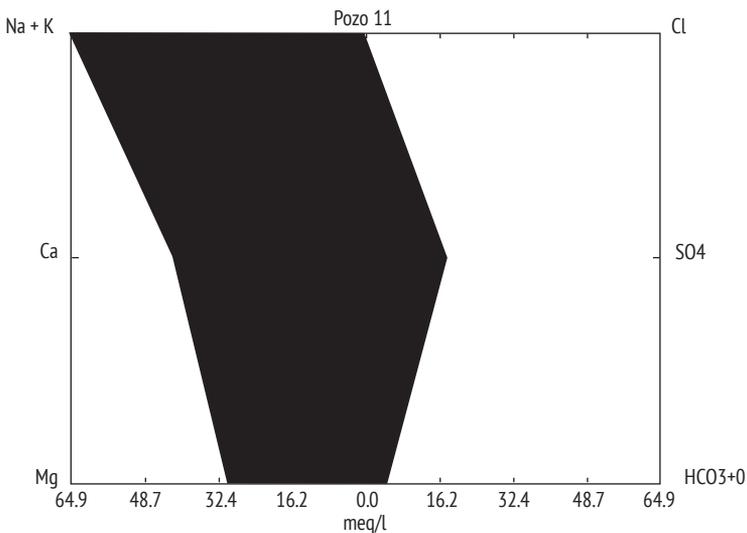
En este diagrama se pueden observar dos diferentes tipos de familias de agua. La familia Sulfatado-Sódico-Cálcico está conformada por las muestras del “pozo 11” y el “pozo azul”, las cuales presentan una composición muy similar en la concentración de sus especies iónicas (cationes y aniones). Si observamos su ubicación geoespacial, pertenecen al mismo acuífero (figura 6). Por el contrario, tenemos el “pozo 118” el cual representa otro tipo de familia, la Sulfatada-Magnésica-Cálcica y cuya localización geográfica se ubica en otra región diferente a la planicie de inundación del acuífero. Donde las líneas de tendencia entre las

especies iónicas son similares y presentan un patrón muy característico de la zona.

Se realizaron diagramas Stiff para cada una de las muestras expresando las concentraciones de los aniones y cationes, principales en miliequivalentes, donde se obtuvieron los siguientes resultados:

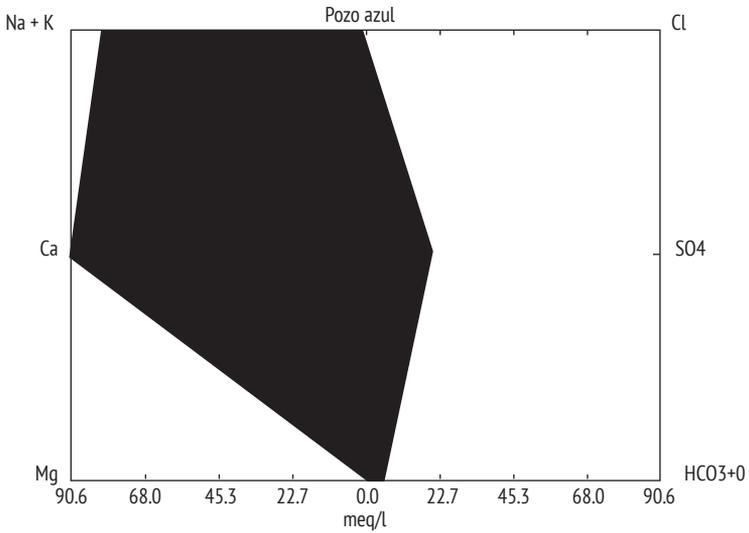
El “pozo 11” tiene una alta concentración del sodio, se presenta agua con un alto grado de dureza total teniendo calcio y magnesio, pero aun así, sigue siendo predominante el sodio, arrojando un resultado ya esperado el cual indica que el agua es muy salada. Asimismo, el “pozo azul” cuenta con una presencia alta de sodio y calcio, siguiendo una línea de tendencia muy similar al “pozo 11” (figuras 13 y 14).

FIGURA 13. Diagrama de Stiff resultado del análisis químico del agua en el pozo 11.



FUENTE: Elaboración propia.

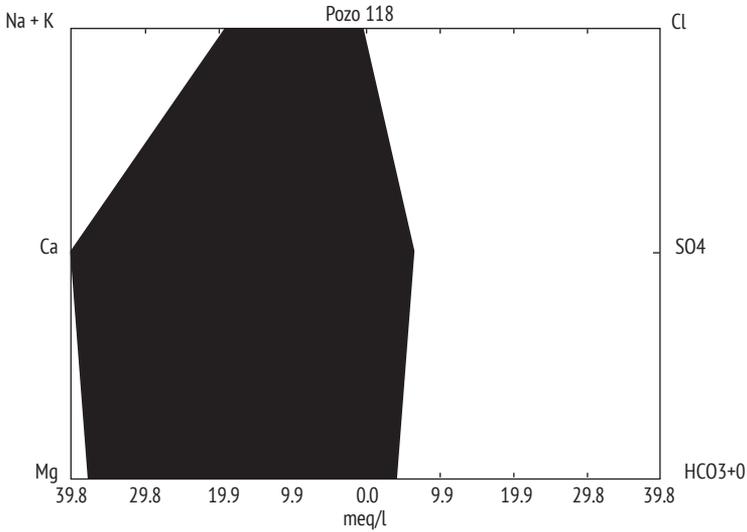
FIGURA 14. Diagrama de Stiff resultado del análisis químico del agua en el pozo azul.



FUENTE: Elaboración propia.

En el caso del “pozo 118” sí existe una concentración alta de calcio, sin embargo, el magnesio predomina más que el sodio. El agua es salada, o dicho de otro modo, tiene un alto grado de dureza (figura 15).

FIGURA 15. Diagrama de Stiff resultado del análisis químico del agua en el pozo 118.

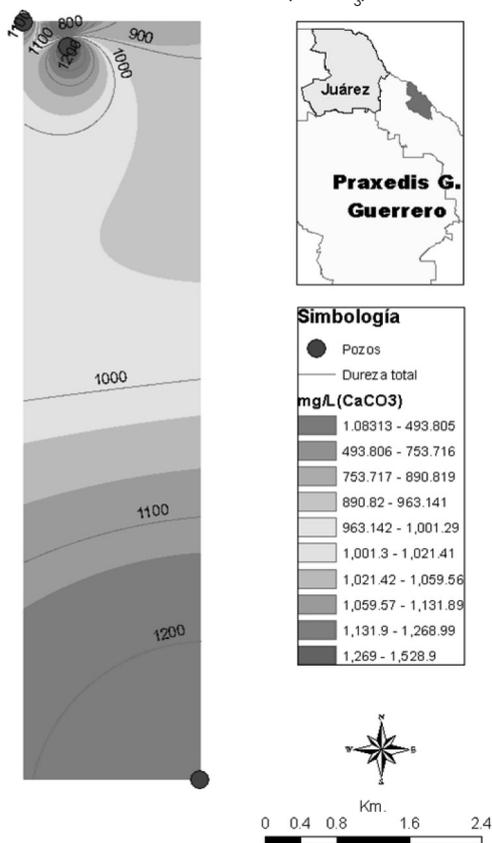


FUENTE: Elaboración propia.

En estas aguas la presencia de especies iónicas indica que el agua tiene una alta movilidad química por medio del intercambio iónico que se da entre los aniones y cationes.

La dureza total es la suma de las especies catiónicas del Ca⁺ y el Mg⁺, en este estudio se obtuvieron altas concentraciones de dureza, por lo tanto existe la presencia de sales de calcio y magnesio. Por las cantidades obtenidas, estas muestras se clasifican como agua “muy dura” (figura 16). La OMS no recomienda la presencia de dureza en cantidades mayores a 170 mg de CaCO₃ debido a que se pueden presentar problemas cardiovasculares.

FIGURA 16. Líneas de equipotenciales de calidad del agua en referencia a la dureza (CaCO_3).



FUENTE: Elaboración propia.

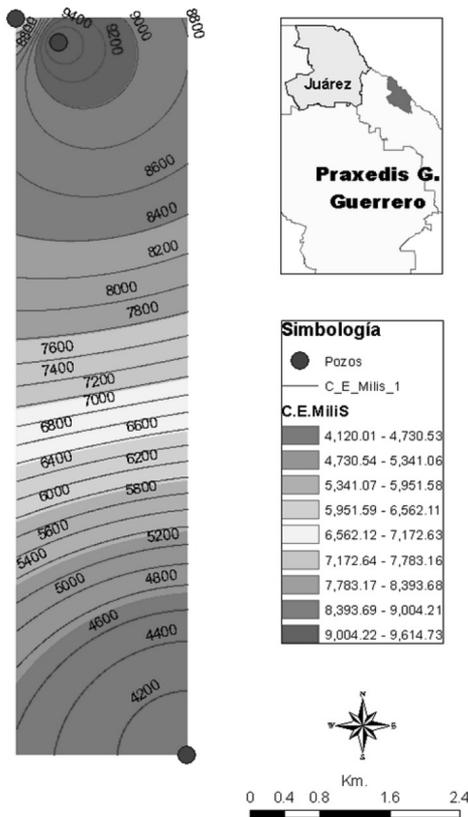
Los resultados obtenidos en las muestras fueron:

Pozo 11	1210 (mg/L CaCO_3)
Pozo azul	1530 (mg/L CaCO_3)
Pozo 118	1240 (mg/L CaCO_3)

Todas ellas rebasan el límite máximo permisible que es de 500 (mg/L CaCO_3) según la NOM-127-SSA1-1994 de salud ambiental.

La conductividad eléctrica (CE) va sumamente relacionada con la cantidad de sólidos totales disueltos en el agua y al tener una alta conductividad eléctrica, nos señala que el agua contiene altas cantidades de sólidos disueltos en ella, por lo tanto tendrá muchas sales disueltas (figura 17).

FIGURA 17. Líneas de equipotenciales de calidad del agua en referencia a la Conductividad Eléctrica (CE).



FUENTE: Elaboración propia.

CONCLUSIÓN

El efecto de la calidad del agua se afecta en esta zona principalmente por el problema de la salinidad, otros parámetros como sulfatos tienen más del doble de la concentración permitida, los cloruros presentan concentraciones 11 veces mayores de la ingesta diaria, para el caso de los Sólidos Disueltos Totales su concentración rebasa por seis veces el límite máximo permisible, de igual forma el sodio está por arriba de lo establecido siete veces. En lo que respecta a la concentración de metales, el aluminio, cadmio, fierro, manganeso, plomo y sodio contienen concentraciones mayores a las permitidas por la NOM-127-SSA1-1994.

Por la suma de los diferentes parámetros, los resultados de las muestras de esta agua indican de manera muy clara que existe una concentración de salinidad en donde prevalece un escenario en el cual el deterioro del acuífero somero es muy considerable. Al comparar resultados de hace cinco décadas con los actuales, es notable que el deterioro de la calidad química del agua en esta zona está en continuo aumento. El tipo de agua presente es alta en salinidad, por lo tanto no es apta para el consumo humano y en el sector agrícola es poco favorable y perjudicial para las buenas prácticas agrícolas.

REFERENCIAS

- Bustillos Durán, Sandra (2004). *El agua en la frontera México-Estados Unidos*, México, UACJ.
- CNA (2009). "Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero 0833 Valle de Juárez, estado de Chihuahua", Comisión Nacional del Agua [Recuperado el 4 de febrero de 2017]
- CNA (2015a). Estadísticas del agua en México 2015. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2015.pdf>

- CNA (2015b). Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero 0833 Valle de Juárez, estado de Chihuahua. Elaborado por la Comisión Nacional del Agua, 2015. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103594/DR_0833.pdf
- Cocef (2005). “Estudio de factibilidad para el manejo integral del agua en la zona del Valle de Juárez y en la zona urbana de Ciudad Juárez”, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.
- Cocef (2013). Actualización de Plan Maestro para el Mejoramiento de los Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Juárez, Chihuahua.
- Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza-Border Environment Cooperation Commission (agosto 2015). “Evaluación del Impacto de la Infraestructura de Saneamiento Básico en Comunidades del Valle de Juárez, Chih. 2013-2014”.
- Comisión Nacional del Agua, Subdirección General Técnica (octubre 2009); “Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero 0833 Valle de Juárez”, Chihuahua, México.
- Cortazar Martínez Alfonso, Carrera Chávez Benjamín. “Memoria del Foro Bienal Iberoamericano de Estudios del Desarrollo”, 2011. Sede: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México, del 11 al 13 de abril de 2011; Contradicciones en la información sobre el desarrollo económico y social del Valle de Juárez, México.
- Garza Almanza, Victoriano (junio 2001). *Sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales en América latina: realidad y potencial; estudio general del caso Valle de Juárez*, México, Ciudad Juárez, Chihuahua.
- Geo Fimex, S. A. (1970). “Valle de Juárez, Chihuahua, Estudio Geofísico”, Sociedad de Reconocimientos Geotécnicos del Grupo S. R. G., Coyoacán, México, 16 pp.
- González, A. M. (2011). La conmemoración del bicentenario de la Independencia y del centenario de la Revolución Mexicana desde la Universidad Nacional Autónoma de México. *Iberoamericana* (2001-), 11(42), 209-214.

- Hibbs B., C. Eastoe, F. Philips y J. Hogan (2002), "Groundwater and surface Water salinization in the El Paso/Juarez Region. Thrust Area 2 Overview. SAHARA. Disponible en línea: http://www.sahra.arizona.edu/research/TA2/2_9.html.
- Hibbs, B. J., Boghici, R. N., Hayes, M. E., Ashworth, J. B., Hanson, A. T., Samani, Z. A. & Creel, B. J. (1997). *Transboundary Aquifers of the El Paso/Ciudad Juarez/Las Cruces Region*. Contract Report, Texas Water Development Board.
- Manzano-Solís, L. R. (2007). Diseño de base de geodatos censales demográficos e implementación geomática de indicadores hídricos. Tesis de Maestría en Ciencias del Agua, Centro Interamericano de Recursos del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México, 201 pp.
- Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización".
- Plan de Desarrollo Municipal (2013). Presidencia Municipal de Praxedis G. Guerrero.
- Programa Hidráulico de Gran Visión 2001-2025 Región VI, Río Bravo, CNA 2001.
- Palacios V., E. (1975). *Productividad, ingresos y eficiencia en el uso del agua en los Distritos de Riego*, Colegio de Posgraduados, Chapingo, estado de México.
- Sánchez, J. (2014). Conceptos fundamentales de hidrogeología. Recuperado de http://hidrologia.usal.es/temas/Conceptos_Hidrogeol.pdf.
- Zwanziger, J. A. (1986). *Nuevos conceptos de la estratigrafía mesozoica de Chihuahua*. Petróleos Mexicanos, Reynosa Tamaulipas.

EVALUACIÓN DEL RECURSO SOLAR DEL VALLE DE JUÁREZ

*Adrián Botello Mares, Luis E. Cervera Gómez
y Rodolfo A. Tejeda Guevara*

INTRODUCCIÓN

El sol es la fuente de energía que mantiene vivo al planeta tierra. Emite continuamente una potencia de 62 mil 600 kilowatts (o kilovatios) por cada metro cuadrado de su superficie. Esto ha venido ocurriendo a lo largo de 4 mil 500 millones de años, y se estima que continuará así por otros 5 mil millones de años, lo cual, en términos de la existencia que ha tenido la humanidad, es prácticamente ilimitado. De hecho, en un periodo de tan solo dos días, el planeta recibe una cantidad de energía equivalente a todas las reservas probadas que existen de petróleo, gas y carbón. Esto equivale a cerca de 60 veces el consumo anual de la sociedad humana, lo cual nos da una idea del potencial impresionante que tiene la energía del sol para satisfacer las demandas energéticas del mundo (Bulnes, Best, & Lejos, 2010).

PRINCIPIOS DE LA RADIACIÓN SOLAR

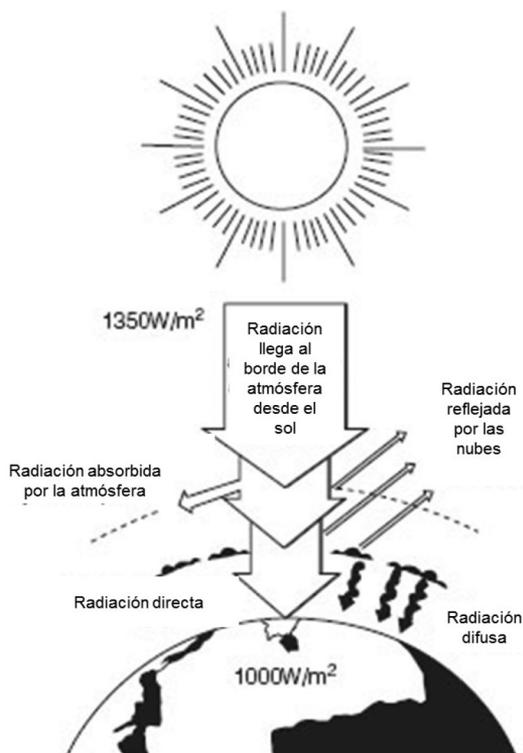
La luz del sol llega a la tierra como un tipo de energía llamada radiación que está compuesta por millones de partículas de alta energía llamadas fotones. Cada unidad de radiación solar, o fotón, lleva una cantidad fija de energía. Dependiendo de la cantidad de energía que lleva, la radiación solar cae en diferentes categorías incluyendo infrarrojos (es decir, calor), visible (radiación que podemos ver) y ultravioleta (radiación de muy alta energía). El espectro solar describe todos estos grupos de energía de radiación que llegan constantemente del sol y los clasifica según su longitud de onda (Hankins, 2010).

Las cantidades de radiación son expresadas generalmente en términos de exposición radiante o irradiancia, siendo esta última una medida del flujo de energía recibida por unidad de área en forma instantánea como energía/área-tiempo y cuya unidad es el watt por metro cuadrado (W/m^2), un watt es igual a un joule por segundo.

La exposición radiante es la medida de la radiación solar, en la cual la radiación es integrada en el tiempo como energía/área y cuya unidad es el kWh/m^2 por día (si es integrada en el día) o MJ/m^2 por día (Valero, 2010).

La energía solar llega al borde de la atmósfera de la tierra a una potencia constante de unos 1350 watts por metro cuadrado (W/m^2): esto se llama la “constante solar”. Sin embargo, no toda esta energía llega a la superficie de la tierra. La atmósfera absorbe y refleja gran parte de ella, y en el momento en que alcanza la superficie de la tierra, se reduce a un máximo de aproximadamente $1000 W/m^2$ (figuras 18 y 19).

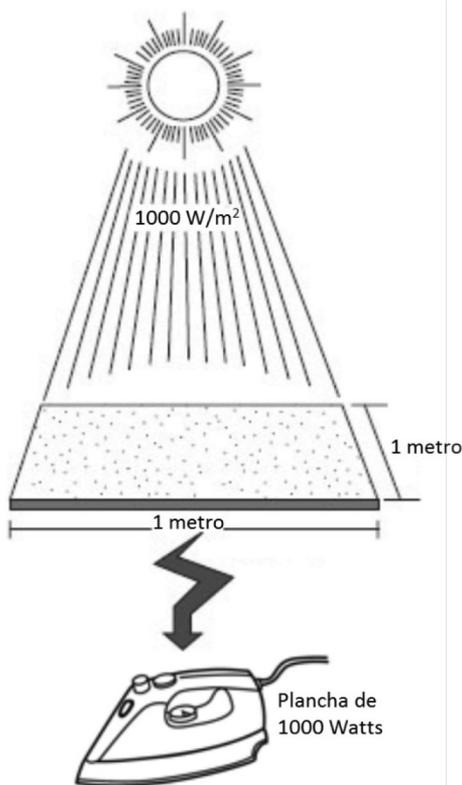
FIGURA 18. Absorción y reflexión de la radiación solar en la atmósfera.



FUENTE: Hankins (2010).

Esto significa que cuando el sol está directamente sobre la cabeza en un día soleado, la radiación solar está llegando a la tasa de alrededor de 1000 W/m^2 . Los países del norte tienen niveles de radiación solar anual más bajos que los países más cercanos al ecuador, principalmente porque tienen días más cortos en invierno.

FIGURA 19. Esquematación de la potencia de 1000 Watts/m²



FUENTE: Imagen adaptada de Hankins (2010).

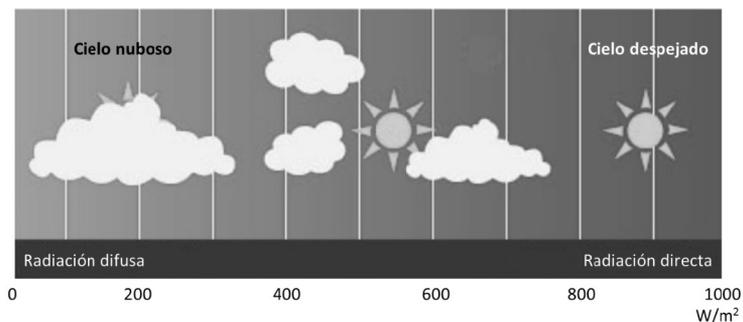
La radiación solar se puede dividir en dos tipos: directa y difusa. La radiación directa viene en una línea recta y se puede enfocar con una lente o un espejo. La radiación difusa es la radiación reflejada por la atmósfera o la radiación dispersa y reflejada por las nubes, el smog o el polvo (figura 20). Las nubes y el polvo absorben y dispersan la radiación, reduciendo la cantidad que llega al suelo.

En un día soleado, la mayoría de la radiación que llega al suelo es directa, pero en un día nublado hasta el 100 por ciento de la ra-

diación es difusa. Juntas, la radiación directa y la radiación difusa se conocen como radiación global.

La radiación en una superficie en tiempo nublado puede ser tan poca como una décima parte de la recibida en pleno sol. Por lo tanto, los sistemas solares deben ser diseñados para garantizar suficiente energía en periodos de niebla y meses con menores niveles de radiación solar. Al mismo tiempo, los usuarios del sistema deben ahorrar energía cuando están nublados. La radiación solar anual e incluso mensual es predecible. Los factores que afectan la cantidad de radiación solar que recibe un área incluyen la latitud del área, los periodos de nubosidad, la humedad y la claridad atmosférica. En las regiones solares de alta intensidad cerca del ecuador, la radiación solar es especialmente afectada por periodos de nubosidad. Los largos periodos de niebla reducen significativamente la cantidad de energía solar disponible. La alta humedad absorbe y por lo tanto reduce la radiación. La claridad atmosférica, reducida por el humo, el esmog y el polvo, también afecta la radiación solar entrante. La cantidad total de energía solar que un lugar recibe puede variar de una temporada a otra, pero es bastante constante de año en año.

FIGURA 20. Radiación directa y difusa.



FUENTE: Hankins (2010).

IRRADIANCIA SOLAR

La irradiancia solar se refiere a la radiación solar que incide realmente una superficie, o la energía recibida por unidad de área del sol. Esto se mide en watts por metro cuadrado (W/m^2) o kilowatts por metro cuadrado (kW/m^2). Si un módulo solar está frente al sol directamente, es decir, durante un día claro. En la mañana y la tarde se recibe menos energía porque la superficie plana no está en un ángulo óptimo al sol y por lo que la superficie recibirá una menor cantidad de energía; al mediodía, la cantidad de energía recibida es más alta y la cantidad real de energía recibida en un momento determinado varía con las nubes que pasan y la cantidad de polvo en la atmósfera.

INSOLACIÓN

La insolación (una forma breve de decir radiación solar incidente) es una medida de la energía solar. Un sitio que recibe seis horas pico de sol al día recoge la misma cantidad de energía que si el sol hubiera brillado durante seis horas a $1000 W/m^2$. En realidad, la irradiación cambia a lo largo del día. En un sitio de buena energía solar, la irradiancia está por encima de $1000 W/m^2$ durante aproximadamente tres horas, entre 800 y $1000 W/m^2$ dos horas, de 600 a $800 W/m^2$ en dos horas y $400-600 W/m^2$ durante dos horas y entre 200 y $400 W/m^2$ otras dos horas. Sin embargo, la energía es equivalente a seis horas de irradiancia a $1000 W/m^2$ (figura 19). Por ejemplo, durante abril se espera que en Ciudad Juárez reciba $6.9 kWh/m^2 / día$ y 6.3 horas pico de sol por día.

Las horas pico de sol son útiles porque simplifican los cálculos. Se usan comúnmente cuando se planifican sistemas y se emplean a lo largo de este libro como la medida estándar de planificación del sistema solar fotovoltaico. Tenga en cuenta que la cantidad total de energía disponible por día cambia considerablemente de mes a mes, incluso en los países ecuatoriales. En un día soleado, Ciudad Juárez, recibe más de seis horas de sol pico de insolación.

CAUSAS DE VARIACIÓN DE IRRADIACIÓN SOLAR EN LA TIERRA

La tierra en su desplazamiento por la órbita solar realiza dos movimientos principales: el de rotación sobre su propio eje y el de traslación alrededor del sol, que determinan la cantidad de luz y calor que llega a cada lugar de la superficie terrestre a lo largo del día y del año.

DISTANCIA TIERRA-SOL

La tierra gira alrededor del sol en una órbita elíptica, con el sol ubicado en uno de sus focos, la cantidad de radiación solar que llega a la tierra es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia al sol. Por lo cual un valor preciso de la distancia tierra-sol se denomina “Unidad astronómica”.

1 Unidad Astronómica (UA) = 1.496×10^8 km

Distancia mínima tierra-sol = 0.983 UA

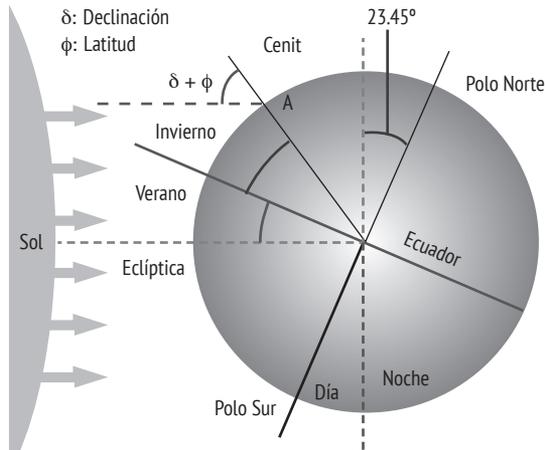
Distancia máxima tierra-sol = 1.017 UA

DECLINACIÓN SOLAR

El plano en el cual la tierra gira en torno al sol se denomina plano eclíptico. La tierra gira sobre sí misma alrededor de un eje denominado eje polar, el cual se encuentra inclinado aproximadamente 23.5° de la normal del plano denominado “plano eclíptico”. La rotación de la tierra alrededor de este eje ocasiona los cambios diurnos en la radiación solar que incide en el planeta tierra y la posición de este eje relativo al sol causa los cambios estacionales en la radiación solar. El ángulo entre el eje polar y la normal al plano elíptico permanece sin cambios. Aunque el ángulo que forma el plano ecuatorial y la línea que une los centros del sol y la tierra cambia cada día, de hecho, cambia en cada instante. La declinación es cero en los equinoccios de primavera y de otoño

(las noches y los días duran lo mismo). En el solsticio de verano tiene un ángulo de aproximadamente $+23.5^\circ$ y en el solsticio de invierno un ángulo de -23.5° (figura 21).

FIGURA 21. Declinación solar.

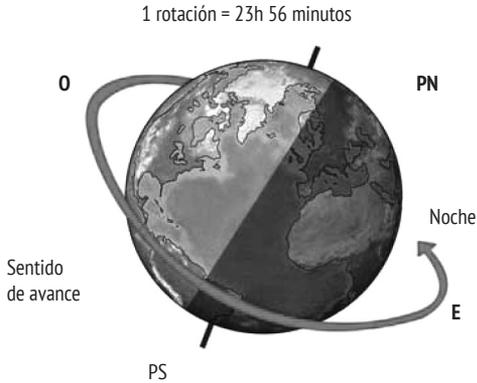


FUENTE: <https://goo.gl/images/XDLkKF>

MOVIMIENTO DE ROTACIÓN

Cada 24 horas la tierra da una vuelta completa alrededor de un eje imaginario que pasa por los polos. Gira en dirección oeste-este, en sentido contrario al de las agujas del reloj. A este movimiento le llamamos movimiento de rotación y es causante de la sucesión de días y noches, La mitad del globo terrestre quedará iluminado, en dicha mitad es de día, mientras que en el lado oscuro es de noche. En su movimiento de rotación, los distintos continentes pasan del día a la noche y de la noche al día.

FIGURA 22. Movimiento de rotación.

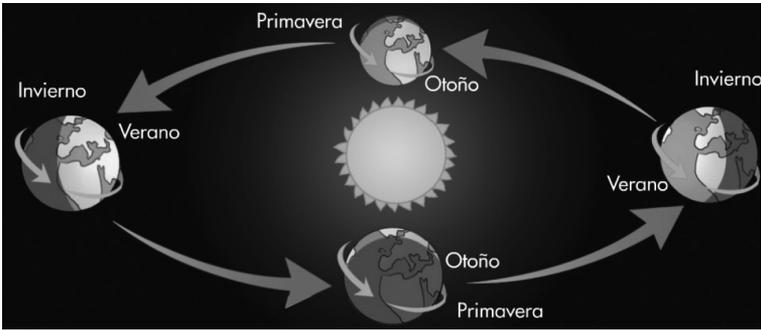


FUENTE: <https://goo.gl/images/U5aj0h>

MOVIMIENTO DE TRASLACIÓN

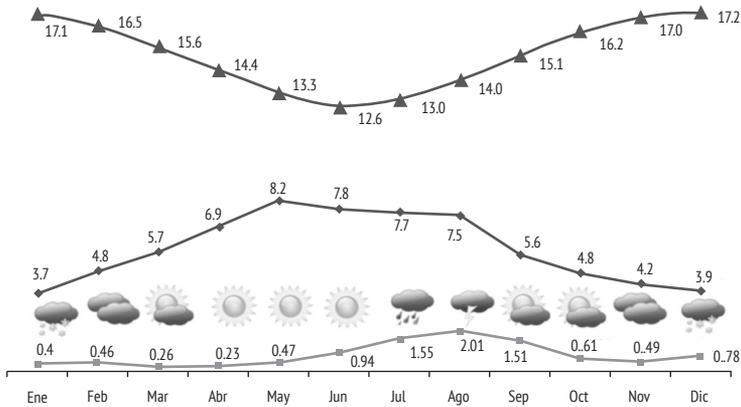
La traslación de la tierra es el movimiento de este planeta alrededor del sol. La tierra en su viaje alrededor del sol tarda en dar una vuelta completa 365 días y 6 horas, aproximadamente. Este denominado movimiento de traslación corresponde con el año solar. El hecho de que la órbita terrestre sea elíptica hace variar la distancia entre la tierra y el sol en el transcurso de un año. A primeros de enero la tierra alcanza su máxima proximidad al sol y se dice que pasa por el perihelio. A principios de julio llega a su máxima lejanía y está en afelio. La distancia tierra-sol en el perihelio es de 142 700 000 kilómetros y la distancia tierra-sol en el afelio es de 151 800 000 kilómetros.

FIGURA 23. Movimiento de traslación.



FUENTE: <https://goo.gl/images/faf4eK>

FIGURA 24. Irradiación global horizontal, precipitación y ángulo solar en Ciudad Juárez.



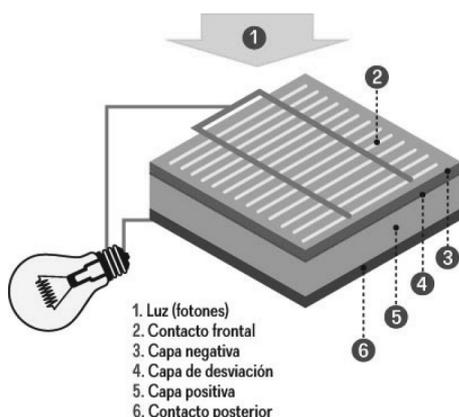
FUENTE: Elaboración propia.

La línea gris indica la precipitación mensual acumulada en pulgadas, la línea negra con rombos indica la irradiación global horizontal en kWh/m², la línea punteada muestra el ángulo solar, se presentan ideogramas de las condiciones meteorológicas durante el año.

ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

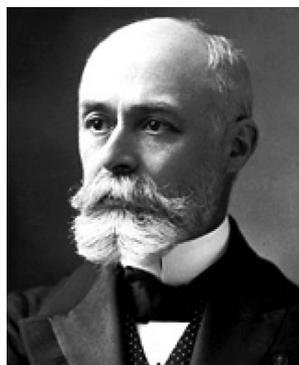
El efecto fotovoltaico consiste en que la luz puede generar una corriente eléctrica al iluminar ciertos materiales. Fue descubierto en 1839 por el físico francés Alexandre-Edmond Becquerel. A pesar de este temprano descubrimiento, fue hasta la década de los años cincuenta del siglo xx que se encontró un material que presentaba el efecto fotovoltaico de manera eficiente: el silicio.

FIGURA 25. Efecto fotovoltaico.



FUENTE: <https://goo.gl/images/txuGh8>

FIGURA 26. Fotografía de Alexandre-Edmond Becquerel.



FUENTE: <https://goo.gl/images/FSLecZ>

Al principio, las celdas solares de silicio eran muy caras como para usarlas de manera comercial. Sin embargo, se les encontró una aplicación ideal en la que su precio no era un obstáculo: suministrar energía a los satélites. De esta manera, la carrera espacial entre Estados Unidos y la Unión Soviética en los años sesenta, dio un importante impulso al mejoramiento de las celdas solares, cuyas eficiencias llegaron más allá del 15 % en aquella época; a la fecha han alcanzado hasta el 39 %. Esto ha venido acompañado de importantes reducciones en sus costos.

El efecto fotovoltaico se basa en el uso de materiales semiconductores. Estos se caracterizan porque conducen la electricidad

dad mejor que un aislante y menos efectivamente que un metal, pero sobre todo porque mejoran su capacidad para conducir la electricidad al ser iluminados. Cuando incide luz sobre un semiconductor, la energía suministrada ayuda a darle mayor movilidad a algunos de los electrones presentes en el material, por lo que su capacidad para conducir la electricidad aumenta.

FIGURA 27. Panel fotovoltaico de silicio policristalino.



FUENTE: <https://goo.gl/images/MVXwxL>

Acercamiento frontal de un panel fotovoltaico de silicio policristalino. Se pueden observar las diferentes celdas del panel (veteadas en tonos de azul) y los contactos eléctricos frontales (líneas plateadas).

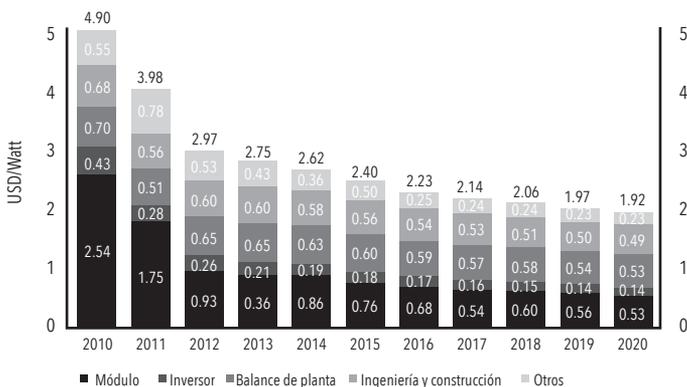
Sin embargo, para producir el efecto fotovoltaico no basta con liberar electrones. Es necesario que aparezca un voltaje que mueva a estos electrones en una dirección preferencial, generando una corriente eléctrica. La forma más común de lograr esto es unir dos materiales semiconductores de características electrónicas diferentes: uno de ellos debe ser capaz de ceder parte de sus electrones con facilidad (se le llama material tipo N), mientras que el otro debe aceptar fácilmente electrones adicionales (mate-

rial tipo P). El efecto fotovoltaico se produce precisamente al iluminar la superficie de unión entre los dos diferentes materiales.

Dado que la potencia que genera una celda solar es pequeña, lo que se hace es conectar varias entre sí para aumentar el voltaje o la corriente. Generalmente se fabrican para producir voltajes de 12 o 24 volts de corriente directa. A un conjunto de varias celdas conectadas entre sí se le llama panel o módulo fotovoltaico.

Usando módulos solares respaldados con baterías es posible dar energía a una gran variedad de aplicaciones aisladas, como telefonía rural, antenas de telecomunicaciones, boyas marítimas, televisión educativa rural, estaciones meteorológicas remotas, bombeo de agua rural, señalizaciones en carreteras y otras. En los primeros años de la tecnología fotovoltaica estas aplicaciones fueron las que más crecieron. Sin embargo, hoy las aplicaciones que más están creciendo son las de suministro de electricidad a casas o edificios de oficinas ubicados en ciudades. De hecho, la industria fotovoltaica es una de las de más rápida expansión alrededor del mundo, con tasas de crecimiento entre el 40 y 50 % anual en la última década; es decir, que su producción se está duplicando cada dos años.

FIGURA 28. Tendencia de costos de la tecnología fotovoltaica.



FUENTE: <https://hub.globalccsinstitute.com/sites/default/files/publications/books/181563/images/fig18.jpg>

La investigación en celdas fotovoltaicas es un área muy activa de la ciencia de materiales. Se investigan varios materiales distintos al silicio, y se busca reducir el costo de las celdas y mejorar su eficiencia.

MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR POR MEDIO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

En orden de localizar y dimensionar el potencial de las diversas fuentes de energías renovables, se requiere analizar su distribución en espacio y en tiempo y en escalas globales, regionales y locales. En este estudio nos enfocaremos solo a la energía solar, analizada en una escala regional y local para la localización de aquellos con mayor potencial para la instalación de energía fotovoltaica.

Las herramientas que proporcionan los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son útiles en prácticamente todas las áreas del conocimiento, en la ciencia aplicada y en cualquier proyecto de investigación, por lo que resulta cada vez más imprescindible su uso, tomando en cuenta las fuentes y manejo adecuado de la información para la diversidad temática.

Los SIG son un instrumento que básicamente apoya a la definición de una realidad espacial que, por sí misma, requiere datos científicos de toda precisión, tanto empíricos como técnicos. En este trabajo, la aplicación se sugiere para la medición de la radiación solar.

Las funciones de análisis espacial en un SIG, para la medición de la radiación solar, dan un aporte a la obtención de resultados certeros para un espacio particular, sin embargo, no es determinante, ya que la precisión se limita a los datos de un modelo de elevación y, por lo tanto, resalta la necesidad de complementar estos análisis con otras herramientas que aporten otros datos y precisión en el tema, como la utilización de herramientas de percepción remota y *software* especializados de datos en el tema.

La radiación solar entrante, o insolación, es la principal fuente de energía del planeta, sostiene y da vida a la tierra, además

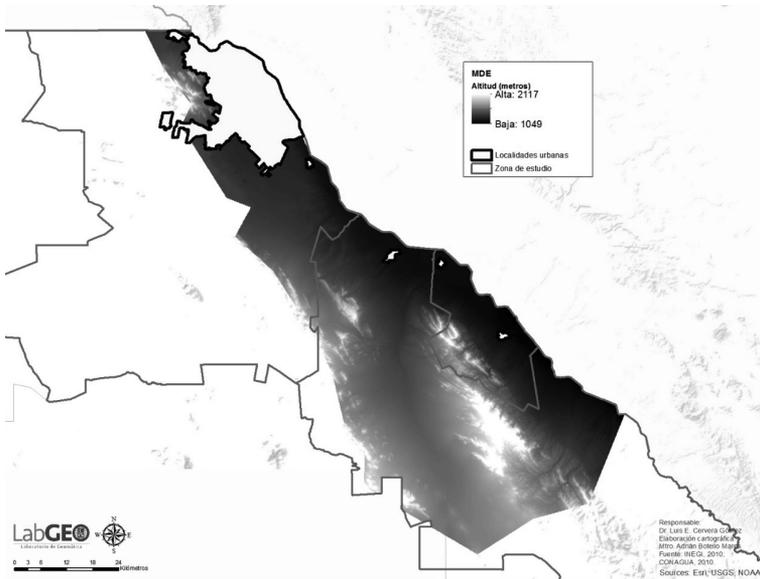
de alimentar de manera inagotable e ininterrumpida la operación atmosférica, es de alguna forma el motor del clima (Gómez-Azpeitia y Tejeda, 2015). Esta radiación puede ser aprovechada por diversas tecnologías que transforman la energía solar en energía eléctrica o térmica, por lo que una medición de la radiación solar por medio de los análisis en los SIG nos permitirá localizar con cierta precisión los lugares más aptos según sus niveles de insolación.

La radiación se modifica tanto por la atmósfera como por las entidades de superficie y topografía. La variación en la altura, pendiente, orientación y las sombras producidas por entidades topográficas influyen en la cantidad de insolación que se recibe en diferentes ubicaciones. Esta variabilidad también cambia según la hora del día y la época del año (Esri, 2016a).

Los rasgos de la topografía pueden ser estimados por operaciones sistematizadas en los SIG, por medio de los datos aportados en un Modelo Digital de Elevación (MDE). Los datos de altitud (z), es la variación de la altura, donde a partir de ella se definen las demás, tales como: el cálculo de la pendiente en la cadena de valores de los píxeles por inclinación; la orientación, al determinar la dirección cardinal de la pendiente descendente en un valor desde cada celda hacia sus vecinas; y, las sombras producidas, mediante un sombreado digital de acuerdo a la posición del sol y las elevaciones en ese momento solar.

El MDE trabajado en esta ponencia, es una extracción del Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM 3.0) del Inegi (2013) para el área de estudio, en formato ráster de banda entrelazada por línea (BIL), con los datos de altitud en metros en una resolución de 15 metros (15 m x 15 m por píxel). A partir de ella se habrán de generar los cálculos para la radiación.

FIGURA 29. Modelo Digital de Elevación para el Valle de Juárez.



FUENTE: Elaboración propia con información del Inegi (2010).

Es importante anticipar que los cálculos topográficos excluyen a las áreas urbanas debido a las variaciones que presenta en torno a las construcciones, en el sentido del impacto tanto en la altitud como en la orientación y en las sombras de estos objetos.

Todas las operaciones topográficas pueden quedar resueltas de forma automatizada en un SIG, más propiamente con el objetivo de la medición de la radiación solar. Para ello, es necesario conocer los componentes de medición de la radiación solar entrante, la cual resulta de la suma de la Radiación Directa (RD), Difusa (RDf) y Reflejada (RR), denominada como Radiación Solar Total o Global (RST):

$$RST=RD+RDf+RR$$

En ese sentido, la radiación directa se intercepta sin dificultades en una línea directa desde el sol. La radiación difusa se dispersa por componentes atmosféricos, como nubes y polvo. La radiación reflejada se refleja desde entidades de superficie (Esri, 2016b).

En general, la radiación directa es el componente más importante de la radiación total, y la radiación difusa es el segundo. La radiación reflejada constituye solo una pequeña proporción de la radiación total, excepto para las ubicaciones rodeadas por superficies altamente reflexivas como la cobertura de nieve (Esri, 2016b).

Para este trabajo, se han utilizado las herramientas de un SIG específico para el análisis de radiación solar, ArcGis, esto mediante la extensión de análisis espacial del sistema, la cual permite analizar y localizar los efectos del sol sobre un área geográfica para periodos de tiempo específicos. El análisis explica los efectos atmosféricos, aunados a los topográficos antes mencionados, así como los cambios diarios y estacionales del ángulo solar.

Las herramientas de radiación solar de ArcGis no incluyen la radiación reflejada en el cálculo de la radiación total, por lo que la radiación total se calcula como la suma de la radiación directa y difusa.

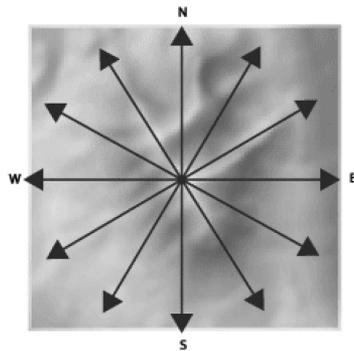
Para nuestro objetivo, se ha definido el cálculo para un área geográfica completa, el Valle de Juárez, y no información puntual interpolada. Esto implica tres pasos, de acuerdo a información del portal de Esri (2016b):

1. El cálculo de una cuenca visual hemisférica que mira hacia arriba basada en la topografía

Para calcular una cuenca visual se realiza una búsqueda en un número específico de direcciones alrededor de una ubicación de interés y se determina el ángulo máximo de obstrucción en el cielo o el ángulo del horizonte. Para todas las otras direcciones sin búsqueda, se interpolan los ángulos del horizonte.

La siguiente figura muestra el cálculo de la cuenca visual para una celda de un MDE. Los ángulos del horizonte se calculan a lo largo de un número específico de direcciones y se utilizan para crear una representación hemisférica del cielo.

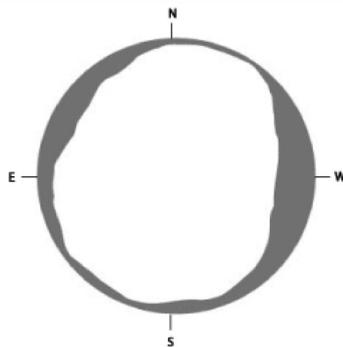
FIGURA 30. Cálculo de la cuenca visual para una celda de un MDE.



FUENTE: ESRI, 2016b..

La cuenca visual resultante caracteriza si las direcciones del cielo están visibles (aparecen en color blanco) u obstruidas (aparecen en color gris).

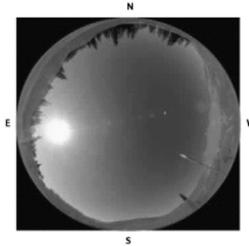
FIGURA 31. Cuenca visual.



FUENTE: ESRI, 2016b..

La cuenca visual aparece superpuesta en una fotografía hemisférica para demostrar la teoría.

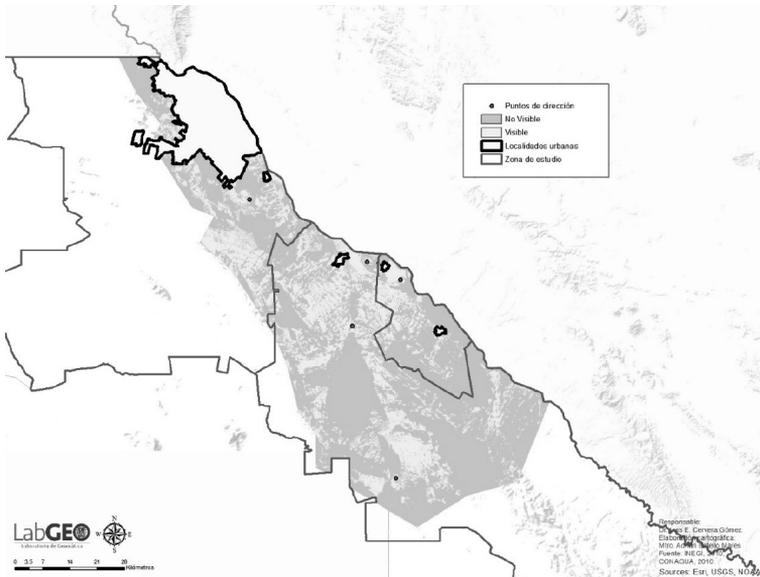
FIGURA 32. Cuenca visual superpuesta en una fotografía hemisférica.



FUENTE: ESRI, 2016b..

El resultado de la cuenca visual en el Valle de Juárez, de acuerdo a las direcciones alrededor de 5 puntos del área geográfica, es el siguiente:

FIGURA 33. Cuenca visual para el Valle de Juárez.



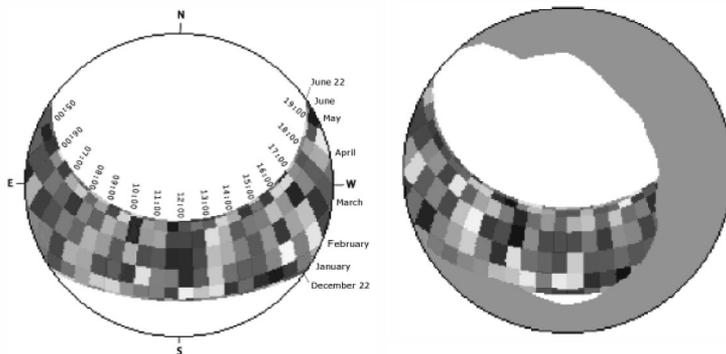
FUENTE: Elaboración propia con información del Inegi (2010) y Conagua (2010).

2. La superposición de la cuenca visual en un mapa solar directo para calcular la radiación directa

La radiación solar directa que se origina desde cada dirección del cielo se calcula utilizando un mapa solar en la misma proyección hemisférica que la cuenca visual. El mapa solar comprende sectores discretos que se definen según la posición del sol en intervalos determinados durante el día (horas) y el periodo del año (días o meses). El recorrido del sol se calcula según la latitud del área de estudio y la configuración del tiempo definida mediante los sectores del mapa solar. La radiación solar que se origina desde cada sector se calcula de forma separada, y la cuenca visual se superpone en el mapa solar para el cálculo de la radiación directa.

En las siguientes imágenes se aprecia el mapa solar y el mapa solar superpuesto con la cuenca visual:

FIGURA 34. Mapa solar y mapa solar superpuesto con la cuenca visual.



FUENTE: ESRI, 2016b..

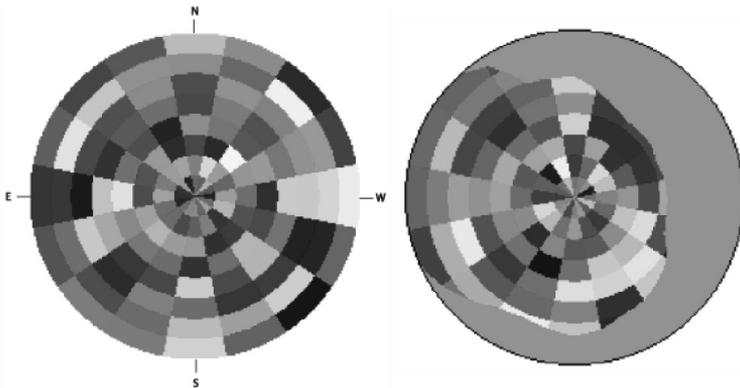
3. La superposición de la cuenca visual en un mapa celeste difuso para calcular la radiación difusa

Para calcular la radiación difusa de una ubicación en particular, se crea un mapa celeste para representar una vista hemisférica de todo el cielo dividida entre una serie de sectores del cielo

que se define mediante los ángulos de cénit y acimutales. A cada sector se le asigna un único valor de identificación, junto con ángulos de cénit centroide y acimutales. La radiación difusa se calcula para cada sector del cielo con base en la dirección.

En las siguientes figuras se aprecia, en primer lugar un mapa celeste, en el cual cada color representa un único sector del cielo, o porción del cielo, desde donde se origina la radiación difusa; y en segundo lugar, la sobreposición del mapa celeste con la cuenca visual:

FIGURA 35. Mapa celeste y sobreposición del mapa celeste con la cuenca visual.



FUENTE: ESRI, 2016b..

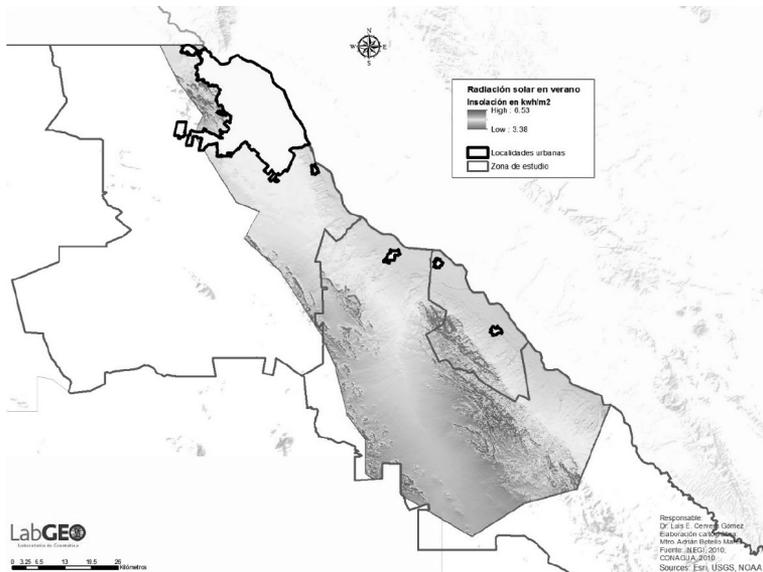
Los parámetros utilizados para la medición de radiación solar para un área geográfica, en esta aplicación para el Valle de Juárez, fueron los siguientes:

- Los valores del MDE relativo al área del acuífero, para los cálculos topográficos
- Para el cálculo de declinación y posición solar de la zona se ha asignado una latitud media en los 31 grados norte, para el periodo de los días de verano

- Se ha definido un modelo de difusión uniforme, en la cual la radiación difusa entrante es la misma desde todas las direcciones del cielo
- La proporción de flujo de radiación difusa se ha establecido por días con condiciones de cielo generalmente claras (30 % de días nublados)

Estos parámetros aplicados por la herramienta del sistema, dan como resultado el siguiente mapa de insolación global (en KWh/m²) para la región del Valle de Juárez:

FIGURA 36. Mapa de insolación global (KWh/m²) para el Valle de Juárez.



FUENTE: Elaboración propia con información del Inegi (2010) y Conagua (2010).

Las mayores cantidades de radiación durante los días de verano, en color rojo y amarillo fuerte (insolación alta), se interpretan como áreas de alto potencial de aprovechamiento para la recepción de energía solar por medio de las tecnologías de transformación. Estas áreas se localizan espacialmente en planicies al

sur y suroriente del área urbana de Ciudad Juárez, en el sur del municipio de Praxedis G. Guerrero en los linderos con el municipio de Guadalupe, así como en las inmediaciones a las sierras El Presidio, La Amargosa y Guadalupe, principalmente en las planicies que se encuentran rodeadas por ellas en el oeste y sur del municipio de Guadalupe.

La mayor parte del territorio medido se cubre por una insolación media, en color cian y amarillo claro, muy visible en prácticamente toda la zona agrícola contigua al río Bravo, con mayor notoriedad en el área circundante a las cabeceras municipales de Guadalupe y Praxedis G. Guerrero. Estas zonas pueden ser factibles para transformación de la energía solar a eléctrica o térmica, realizando análisis de mayor precisión, como antes se menciona.

Finalmente, la insolación baja, en color azul, son las áreas donde no se tiene la aptitud deseada para la captación de energía solar. Aunque la medición puede ser relativa, al tratarse de un área predominantemente apta, los niveles exactos calculados no alcanzan esas proporciones de aptitud. Estas áreas se encuentran primordialmente al este de las principales elevaciones de la región, es decir, donde las sombras del atardecer caen hacia ese lado y no se permite una radiación directa tan duradera.

CONCLUSIONES

La energía solar que incide en superficie tiene una distribución espacial en función de las características del terreno, tales como elevación, relieve, pendientes, sombras y el aspecto, como se ha visto. Sin embargo, se acostumbra utilizar solo datos puntuales obtenidos de redes solarimétricas con pobre cobertura, mediante interpolación de datos, y normalmente a escala nacional. Lo valioso de este estudio es la incorporación de dicha variabilidad espacial en un área completa de estudio, así como temporal de la radiación, mediante la inclusión de variables de cálculo rápido y eficiente.

Se destaca la utilidad y robustez de los resultados obtenidos con la implementación de las metodologías provistas en el Sistema de Información Geográfica, en cálculo de radiación solar. Dado que los resultados obtenidos para la región de estudio son espacialmente congruentes y afines a las mediciones realizadas en campo, sobresaliendo con promedios de alta y media aptitud en todo el Valle. Como queda de evidencia, los métodos en SIG se convierten en una herramienta poderosa para realizar estimaciones de radiación para la geolocalización de los mejores sitios para generar energía fotovoltaica.

Cabe aclarar que esta evaluación define un rasgo de la aptitud específica, la física-natural, sin embargo, es importante mencionar a esta como una incidencia primordial, mas no absoluta, debido a la necesidad de contemplar otros factores para determinar una aptitud deseable en su totalidad, como las condiciones sociales, económicas, jurídicas o políticas para su definición. Por lo tanto, este esquema de evaluación sienta un aporte para esta amplia definición, efectivamente, primordial.

En resumen, una evaluación de esta magnitud proporciona elementos fundamentales para tomas de decisiones futuras, sabiendo la relevancia de ellas y reconociendo su interacción con otros elementos, que en conjunto definen las mejores opciones para una inversión en energías fotovoltaicas en la zona.

BIBLIOGRAFÍA

- Alemany, Laura y Castell, Edurne (2013). "SIG y Visor Web de energía solar y eólica. Aplicación práctica en el País Vasco". Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Bulnes, C. A., Best, R., & Lejos, B. (2010). Energía del sol. *Revista Ciencia*, 61(abril-junio), 10-17. Recuperado de: http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61_2/PDF/EnergiaSol.pdf
- Conagua. (2010). "Actualización Geohidrológica del Acuífero Valle de Juárez, Chihuahua", México.

- Ecotecnia. (2016). "Radiación solar". Página electrónica: <http://econotecnia.com/radiacion-solar.html>. Consultada en octubre de 2016.
- Esri. (2016a). "Comprender el análisis de radiación solar". Página electrónica: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/understanding-solar-radiation-analysis.htm>. Consultada en octubre de 2016.
- Esri. (2016b). "Modelar la radiación solar". Página electrónica: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/modeling-solar-radiation.htm>. Consultada en octubre de 2016.
- Gómez-Azpeitia, Gabriel y Adalberto Tejeda. (2015). *Prontuario Solar de México*, Universidad de Colima-Universidad Veracruzana, México.
- Hammera A. *et al.* (2003). "Solar energy assessment using remote sensing technologies". *Remote Sensing of Environment* 86 : 423-432.
- Hankins, M. (2010). *Stand-alone Solar Electric Systems, The Earthscan Expert Handbook for Planning, Design and Installation.* (F. Jackson, Ed.) (1st ed.). New York. Recuperado de: <https://play.google.com/books/reader?printsec=frontcover&output=reader&id=YO8GIazAVhIC&pg=GBS.PR2.w.0.0.0.1>
- HelioGis. (2016). "Radiación solar y SIG". Página electrónica: <http://www.heliogis.com/cms/teoria/radiacion-solar-y-sig>. Consultada en octubre de 2016.
- INEGI. (2010). "Marco Geostadístico Nacional". Datos vectoriales. Aguascalientes, 2010.
- INEGI. (2013). "Continuo de Elevaciones Mexicanas 3.0". Imágenes ráster. Aguascalientes.
- Posso, Fausto *et al.* (2013). "Estimación del potencial de energía solar en Venezuela utilizando sistemas de información geográfica". Venezuela.

- Ramachandra T. V. (2007) "Solar energy potential assessment using GIS". *Energy Education Science and Technology* 18(2): 101-114.
- Súri M., y J. Hofierka (2004). "A New GIS-based Solar Radiation Model and Its Application to Photovoltaic Assessments". *Transactions in GIS* 8(2): 175-190.
- Valero Muñoz, A. (2010). *Principios de color y holopintura*. (E. C. Universitario, Ed.) (1st ed.). Alicante. Retrieved from <https://books.google.com.mx/books?id=CXqrBAAA-QBAJ&pg=PA62&dq=Las+cantidades+de+radiación+son+expresadas+generalmente+en+términos+de+exposición+radiante+o+irradiancia&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwix06eCjLfsAhWo3YMKHZXiBM4Q6AEIGzAA#v=onepage&q=Las%252>
- Wang, S. y Koch (2010). "Determining profits for solar energy with remote sensing data". *Energy* 35:2934-2938.

FINANCIAMIENTO AL CAMPO PARA PROYECTOS DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

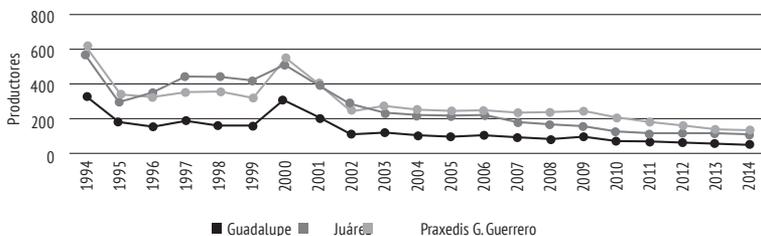
*Cely Celene Ronquillo Chávez, Thania Castañeda Picasso
y Gerardo Padilla*

PROCAMPO

Existen diferentes programas de apoyos financieros al campo mexicano, siendo el principal el Programa de Apoyos Directos al Campo (Procampo). Dicho programa inició en 1993 y tiene por objetivo complementar el ingreso económico de los productores del campo mexicano, incentivando la producción de cultivos lícitos, mediante el otorgamiento de apoyos monetarios por superficie inscrita al programa.

En la gráfica se puede observar que, al inicio del programa, los beneficiados eran un número considerable, sin embargo, al año siguiente se da una caída de la mitad aproximadamente. En el 2000 repunta, no obstante, hacia el último dato disponible se aprecia que son muy pocos los beneficiados en el Valle de Juárez, lo cual podría estar indicando que el programa no resultó ser lo más adecuado para los productores de la región.

FIGURA 37. Productores beneficiados por el Procampo en el periodo 1994-2014.



FUENTE: Elaboración propia con datos del Sistema Estatal y Municipal de Bases de Datos (SIMBAD)-Inegi.

Hasta el año 2015, mediante su programa a la agricultura, la Sagarpa daba un 50 % para la adquisición de sistemas fotovoltaicos, además Sagarpa y FIRCO ofrecían apoyo a productores agrícolas para la adquisición de distintos aparatos de energía renovable; durante el periodo de 2008 a 2014 financiaron 121 proyectos en el estado de Chihuahua con un monto total de inversión de 108 millones de pesos. Actualmente, la Sagarpa brinda mediante su programa de fomento a la agricultura 2017 un apoyo de hasta el 50 % para la adquisición de sistemas fotovoltaicos, sin rebasar los \$800 000 pesos para personas físicas o \$1 200 000 pesos para personas morales. Además, el estado de Chihuahua se encuentra en la lista de los estados con prioridad para recibir este tipo de apoyo.²⁰

ENERGÍAS RENOVABLES

Una estrategia de crecimiento, es buscar el aumento del empleo en el corto y mediano plazo a través de inversiones específicas, persiguiendo cambios sistemáticos para poder crecer en el largo plazo, a través de la promoción de la innovación ecológica, donde

²⁰ <http://www.gob.mx/sagarpa/acciones-y-programas/componente-de-energias-renovables-2017>

las energías renovables pueden reducir las emisiones y mantener el empleo —eficiencia energética—.

Los beneficios del empleo de la eficiencia energética a nivel local son en gran parte el resultado de un efecto multiplicador, ya que se puede reorientar el gasto de un sector intensivo en capital (energía) para los sectores con más trabajo intensivo (por ejemplo, servicios locales).²¹

SISTEMAS DE FINANCIAMIENTO PARA AGRICULTORES QUE IMPULSAN PROYECTOS DE ENERGÍAS RENOVABLES

De acuerdo con la Secretaría de Energía (2012), el sector energético se ha convertido en una condición para el crecimiento económico de los países, debido a la estrecha relación que existe entre el crecimiento del producto interno bruto y la demanda de energía de cada país. El incremento en el nivel de vida de la población genera un aumento persistente de la demanda energética. La naturaleza finita de los recursos obliga a buscar una mayor eficiencia en la producción y el uso de la energía, así como desarrollar el potencial del uso de fuentes de energía no fósiles. Bajo este contexto, el uso de las energías renovables aparece como un elemento que contribuye a aumentar la seguridad energética del país, al diversificar su matriz energética ante la expectativa del encarecimiento y la volatilidad de las fuentes convencionales de energía (p. 25).

Es por eso que en los últimos años se crearon distintos programas como el Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables, el cual promueve la participación social, establece metas de participación de las energías renovables en la generación de electricidad, define objetivos y metas específi-

21 19 OECD. (2010). Contribution of Cities to a Green Growth Model. En *Cities and Climate Change* (págs. 145-168). Paris: OECD Publishing. Obtenido de: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264091375-en>

cas para el aprovechamiento de energías renovables y detalla las estrategias y acciones para alcanzarlas.²² Además, se han proporcionado apoyos económicos para tratar de impulsar la adquisición de tecnologías verdes, con la intención de promover y aumentar la participación de estas en México y de esta forma ayudar a minimizar el impacto ambiental de las actuales fuentes de energía no renovables.

Analizando los apoyos otorgados por medio de la Sagarpa para los proyectos de energías renovables orientados hacia el campo, se observa que en el 2015 a través del programa de fomento a la agricultura en el componente de bioenergía y sustentabilidad,²³ en el cual se ofrecía el 50 % para la adquisición de sistemas de energía renovable, se autorizaron un total de 174 proyectos en todo el país, de ellos tan solo ocho son del estado de Chihuahua.

Otro programa de financiamiento es el Proyecto de energía renovable y eficiencia energética a cargo de la Sagarpa y FIRCO, que el periodo de 2008-2014 apoyó a un total de 2359 proyectos de energía renovable para el campo en todo el país; se invirtió la cantidad de \$2158 millones de pesos, de los cuales la Sagarpa-FIRCO aportaron el 43.5 %, alrededor de \$940.63 millones de pesos, mientras que los beneficiarios fueron el 56.5 % restante. Para el estado de Chihuahua se destaca que durante este mismo periodo se apoyaron 121 proyectos con un monto de inversión total de \$108.21 millones de pesos.

Por su parte, la Asociación de Normalización y Certificación A.C. (ANCE), fue fundada en 1992 con la intención de brindar apoyo en materia de certificación de producto para el sector eléctrico

22 Secretaría de Energía. (2014). "Programa Especial para el Aprovechamiento de las Energías Renovables 2014-2018". Disponible en: <http://www.gob.mx/sener/acciones-y-programas/programa-especial-para-el-aprovechamiento-de-las-energias-renovables-2014-2018-10375> (Enero 10, 2017)

23 SAGARPA. (2015). "Programa de fomento a la agricultura: Bioenergía y sustentabilidad". Disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/ProgramasSAGARPA/2015/fomento_agricultura/Bioenergia_sustentabilidad/Paginas/Descripci%C3%B3n.aspx (Enero 10, 2017)

(actualmente atiende más sectores), a través del desarrollo de estándares y regulaciones, así como actividades de normalización y evaluación de la conformidad. Actualmente se localizan en Distrito Federal, Monterrey y Guadalajara. La institución, sin fines de lucro, cuenta con reconocimiento nacional e internacional.

La ANCE ofrece el servicio de certificación de proveedor verificado, el cual evalúa el grado de cumplimiento de las especificaciones técnicas del FIRCO sobre proyectos de energía renovable para sistemas fotovoltaicos de bombeo de agua e interconectados a la red, calentadores de agua solares y biodegradables. Dicha certificación sirve para demostrar la competencia técnica, infraestructura y el cumplimiento de las especificaciones técnicas de FIRCO, siendo parte de un padrón de proveedores verificados para la instalación de proyectos incorporados en agronegocios.

CONCLUSIONES

México requiere una reforma agrícola, resulta necesario tecnificar el campo para hacerlo más productivo y menos costoso para los agricultores. Es imprescindible proveer más recursos al campo, particularmente en el tema de modernización que permita que la producción se eleve y esto se traduzca en mejores beneficios económicos para quienes se dedican a esta actividad. La región que nos ocupa, es una zona lastimada por múltiples factores: clima, desgaste del suelo, escasez de agua, situación de violencia, entre otros, donde es urgente proponer alternativas que propicien el interés de la población en seguir conservando este campo agrícola de la región norte del país.

La situación del campo tiene un panorama cada vez más complicado para muchos de los productores, ya que están optando por vender sus tierras al no contar con el recurso necesario para continuar con su mantenimiento y poder pagar deudas generadas por las pérdidas de las cosechas debido a los desastres naturales. Cabe señalar que la pérdida de las cosechas fue principalmente de algodón, alfalfa y trigo. La problemática de sequía,

agrava la situación, por lo que se ha realizado este diagnóstico económico para que brinde información de las condiciones actuales y se puedan generar investigaciones para buscar opciones de financiamiento que permitan aprovechar energías alternativas para el riego en esta zona y a su vez, buscar disminuir el costo ecológico en la región. Los cultivos más prometedores de la región son el algodón y la nuez, los cuales tienen un gran comercio a nivel internacional, por eso es importante apoyar en la producción a los agricultores para apuntalar el desarrollo de esta zona y aumentar su competitividad.

REFERENCIAS

- Chávez, O. (23 de abril de 2012). Reclama gobernador a Estados Unidos agua para el Valle. El Diario de Juárez. Recuperado en <http://www.inforural.com.mx/reclama-gobernador-a-estados-unidos-agua-para-el-valle/>
- Chávez, F. (24 de abril de 2014). Atados agricultores por escasez de agua. El Diario de Juárez. Recuperado en <http://www.inforural.com.mx/atados-agricultores-por-escasez-de-agua/>
- Chávez, F. (5 de mayo de 2014). Forzados a vender sus tierras los agricultores del Valle. El Diario. Recuperado en <http://www.inforural.com.mx/forzados-a-vender-sus-tierras-los-agricultores-del-valle/>
- Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza. (2015). Evaluación del Impacto de la Infraestructura de Saneamiento Básico en Comunidades del Valle de Juárez, Chih. 2013-2014. Ciudad Juárez, Chih.: Banco de Desarrollo de América del Norte. Obtenido de http://www.cocef.org/uploads/files/evaluacion_impacto_valle_de_juarez_-_final_-_junio_16_2015_esp.pdf
- Coronado, M. (5 de octubre de 2011). Se perdieron por sequía 600 hectáreas de sembradío en el Valle. El Diario de Chihuahua. Recuperado en <http://www.inforural.com.mx/>

se-perdieron-por-sequia-600-hectareas-de-sembradio-en-el-valle/

- Coronado, M. (9 de junio de 2015). Volatilidad de los precios de cosechas le pegan al Valle. El Diario. Recuperado en <http://www.inforural.com.mx/volatilidad-de-precios-de-cosechas-le-pegan-al-valle/>
- Coronado, M. (5 de octubre de 2014). Tendrá el Valle cosecha récord de algodón. El Diario de Chihuahua. Recuperado en <http://www.inforural.com.mx/tendra-el-valle-cosecha-record-de-algodon/>
- Corral, B. (2 de marzo de 2012). Piden agricultores del Valle rehabilitación de 42 pozos. NORTE DIGITAL. Recuperado en <http://www.inforural.com.mx/piden-agricultores-del-valle-rehabilitacion-de-42-pozos/>
- Cortazar, A., y Carrera, B. (2011). Contradicciones en la información sobre el desarrollo económico y social del Valle de Juárez, México. Foro Biental Iberoamericano de Estudios del Desarrollo (pág. 23). Juárez, Chih.: Red Iberoamericana de Estudios del Desarrollo. Obtenido de <http://www.riedesarrollo.org/memorias/2011/pdf/M5-4.pdf>
- García, J. A. (9 de septiembre de 2010). Algodoneros dejan en abandono el Valle. El Diario. Recuperado en <http://www.inforural.com.mx/algodoneros-dejan-en-abandono-el-valle/>
- Hernández, C. (8 de octubre de 2011). Reclaman productores a Duarte abandono del Valle de Juárez. El Pueblo de Chihuahua. Recuperado en <http://www.inforural.com.mx/reclaman-productores-a-duarte-abandono-del-valle-de-juarez/>
- OECD. (2010). Contribution of Cities to a Green Growth Model. En *Cities and Climate Change* (págs. 145-168). Paris: OECD Publishing. Obtenido de: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264091375-en>
- Secretaría de Energía. (2014). "Programa Especial para el Aprovechamiento de las Energías Renovables 2014-

2018". Disponible en: <http://www.gob.mx/sener/acciones-y-programas/programa-especial-para-el-aprovechamiento-de-las-energias-renovables-2014-2018-10375> (enero 10, 2017)

Sagarpa. (2015). "Programa de fomento a la agricultura: Bioenergía y sustentabilidad". Disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/ProgramasSAGARPA/2015/fomento_agricultura/Bioenergia_sustentabilidad/Paginas/Descripci%C3%B3n.aspx (enero 10, 2017)

Torres, L. (8 de mayo de 2014). En el Valle visita Sagarpa a agricultores afectados por granizo. El Diario. Recuperado en <http://www.inforural.com.mx/en-el-valle-visita-sagarpa-a-agricultores-afectados-por-granizo/>

CASO DE ESTUDIO: SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL RIEGO EN LA LOCALIDAD DE PRAXEDIS

*Rodolfo A. Tejeda Guevara, Esmeralda Cervantes Rendón
y Ranulfo Lemus Sánchez*

INTRODUCCIÓN

En cuestión de energía, los esfuerzos realizados han sido orientados básicamente en dos caminos: el primero consiste en el ahorro energético por medio de sistemas y equipos eficientes; y, el segundo se enfoca en la implementación de energías renovables (Piñeiro y Romero, 2001). También se pueden conjuntar las dos rutas para primero lograr la eficiencia energética y después considerar el uso de energías renovables.

El uso de energía renovable en la agricultura se puede dividir en dos grupos: aquellos que se encuentran en zonas alejadas a la red y que por lo tanto no tienen acceso a la energía eléctrica y los que cuentan con acceso a la red eléctrica y que la zona rural se ubica cercana a zonas desarrolladas.

- Zonas agrícolas alejadas de la red eléctrica: En este caso, se consideran sistemas que utilicen energía alternativa

para desarrollar las diferentes funciones y actividades del campo, como son el bombeo de agua, la refrigeración de material, el calentamiento del agua, generación de biodiésel, uso de la biomasa, etcétera. Estos sistemas son aislados, por lo que en el caso de la energía solar fotovoltaica requieren de un sistema de almacenamiento como son las baterías.

- Zonas agrícolas con acceso a la red eléctrica: En estas zonas se busca un desarrollo sustentable de la agricultura, con sistemas eficientes de energía y tecnología que se pueda aplicar para disminuir el consumo de los diferentes recursos, así como el uso óptimo tanto de los recursos como de los desperdicios generados. En este caso, los sistemas implementados pueden ser interconectados a la red y una de las razones principales para su uso es la disminución de la generación de gases de efecto invernadero y otros contaminantes.

En México se ha promovido e implementado el uso de energías renovables tanto para sistemas aislados como interconectados a la red. En el sector agropecuario desde los años noventa se ha impulsado su implementación por medio de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa), el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) y fondos del Laboratorio Nacional de Sandía de Estados Unidos, en donde a partir de 1994 se han visto beneficiados varios usuarios de algunos estados de la república mexicana como Baja California Sur, Chihuahua, Sonora y Quintana Roo (Lemus y Acosta, 2013).

Con estos proyectos realizados en los estados arriba mencionados se logró beneficiar a población rural que no contaba con acceso a energía eléctrica, y con ello se logró extraer agua con pequeños pozos, así como el uso de refrigeradores solares. De estos sistemas se realizó una investigación para identificar el funcionamiento de estos en el 2004, en donde se encontró que la 4/5 de la población analizada expresaba una satisfacción en la confiabi-

lidad y funcionamiento de sus sistemas de bombeo fotovoltaicos (Foster y Cota, 2005). Lo que indica que estos sistemas son factibles para comunidades sin conexión a la red eléctrica para cumplir con actividades que requieran un bajo consumo de energía.

Por su parte, FIRCO logró beneficiar 52 proyectos en 2013, cuyos objetivos fueron para la implementación de un sistema con energías renovables o la adquisición de equipo más eficiente y con ello lograr un ahorro energético. De los proyectos invertidos en ese año, la mayor inversión fue para los de sistemas fotovoltaicos autónomos de bombeo del agua con un 14.04 % (Sagarpa, 2013a) (tabla 8).

TABLA 8. Proyectos de energías renovables y eficiencia energética, beneficiados con fondos de Sagarpa para el estado de Chihuahua en 2013.

Proyecto	Cantidad	%	Tipo de aplicación
Sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica	14	7.28	Energía renovable
Construcción de un biodigestor	3	1.56	Energía renovable
Sistema de bombeo de alta eficiencia	6	3.12	Eficiencia energética
Sistema fotovoltaico autónomo para bombeo de agua	27	14.04	Energía renovable
Adquisición de un motogenerador	2	1.04	Energía renovable
TOTAL	52		

FUENTE: Elaboración propia con datos de Sagarpa (<http://www.proyectodeenergíarenovable.com/>)

Por otro lado, es importante destacar la percepción del agricultor de gran escala que tiene acceso a la red eléctrica, ante este tipo de inversiones y de cambio de formas de realizar su cultivo, ya que un estudio realizado en una comunidad de agricultores de León, Guanajuato, arroja que dentro de los factores de producción y otros, los agricultores comentan que el factor tecnológico enfocado a las energías renovables es el que ellos consideran en último lugar, teniendo en el primero a la capacitación relaciona-

da a cuestiones directamente de la agricultura y no en cuestiones de administración o de desarrollo tecnológico (Infante, 2016).

Por lo que resalta la importancia de examinar los factores económicos y sociales, entre otros, cuando se desea aplicar las energías renovables en la agricultura y no solamente el conocimiento técnico y de diseño. Es por ello que se presenta una descripción general de la localidad de Praxedis G. Guerrero, que forma parte del Valle de Juárez, una zona agrícola de la zona norte del estado de Chihuahua que colinda con Estados Unidos.

El objetivo del presente capítulo es identificar las características eléctricas, mecánicas y de comportamiento en el consumo de agua de un pozo de riego agrícola en la localidad de Praxedis G. Guerrero, para diseñar un sistema fotovoltaico interconectado a la red para su bombeo.

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CASO DE ESTUDIO

De las comunidades del Valle de Juárez, se seleccionó Praxedis G. Guerrero que se encuentra en el municipio con este mismo nombre, porque ahí mismo se localizan las oficinas de la Asociación de Usuarios del Módulo Tres y por la cercanía con esta asociación y la disponibilidad que se les dio al equipo de colaboradores para poder realizar el trabajo de campo correspondiente en tres pozos.

Una característica importante de resaltar es que de los tres municipios (enfocándose a la población de las localidades que conforman el Valle de Juárez), es el que ha tenido un pequeño incremento en la cantidad de su población, después del año 2010, de acuerdo a la información presentada en el capítulo 2 de este libro (tabla 3). Ya que a pesar de tener una población de 8548 en el 2005 y disminuir su población a casi la mitad con 4799 en el 2010, ha tenido un incremento en el 2015 a 5486 habitantes, lo que denota una mejora en las condiciones sociales y económicas de la región, lo cual fue considerado como una de

las razones por las se logró un mejor acceso a las personas y los pozos para su estudio.

Por otro lado, de acuerdo al censo de población y vivienda del Inegi, en el año 2010 la población de Praxedis G. Guerrero contó con un 98 % de cobertura de acceso a la electricidad, ya que de las 2712 viviendas particulares habitadas, 2672 tuvieron luz eléctrica.

TABLA 9. Usuarios del servicio eléctrico por municipio, según tipo de servicio al 31 de diciembre de 2005.

Total	Industrial	Residencial	Comercial	Bombeo agrícola	Alumbrado público	Bombeo de aguas negras
2190	10	1938	166	70	2	4

FUENTE: Elaboración propia con información del Inegi.

Los datos del Inegi, en su anuario estadístico de 2006 indican una proporción de aproximadamente el 3.5 % de los usuarios del tipo agrícola (tabla 8) para el municipio de Praxedis G. Guerrero.

TABLA 10. Volumen de ventas de energía eléctrica en MWh, según el tipo de servicio al 31 de diciembre de 2005.

Total	Industrial	Residencial	Comercial	Bombeo agrícola	Alumbrado público	Bombeo de aguas negras
10 084	3867	3394	618	1603	430	172

FUENTE: Elaboración propia con datos del Inegi.

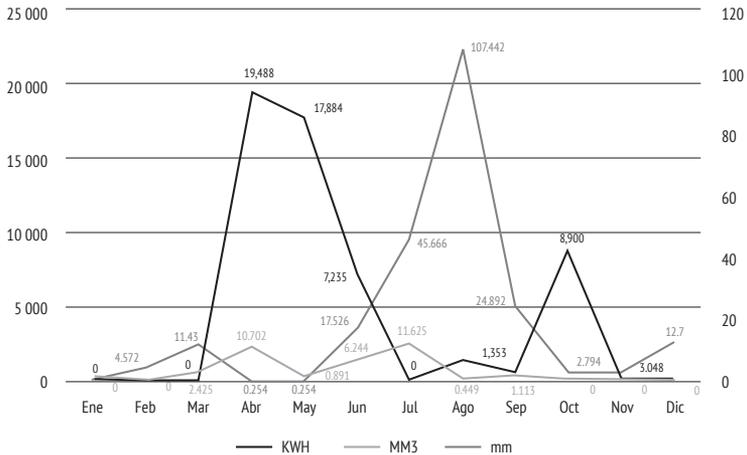
Sin embargo, al identificar el volumen de venta para el año 2005, se observa que aun y cuando el porcentaje de servicios de bombeo para riego agrícola que es solo del 3.5 % (tabla 9), al obte-

ner el volumen de venta, cubre el 16 % del consumo de energía para el municipio de Praxedis, con 1603 MWh (tabla 10).

Es importante señalar que el consumo de energía eléctrica para bombeo agrícola se encuentra subsidiado por el gobierno federal, por lo que el pago por este servicio es menor al consumo generado. Además el comportamiento de consumo varía durante el año debido al tipo de cultivo y por el acceso a otras fuentes de agua que tiene la región, como son la concesión otorgada por el Tratado de 1906 y el agua residual de Ciudad Juárez.

La figura 38 representa el consumo de energía eléctrica de la región de estudio del poblado de Praxedis G. Guerrero en el año 2006 de acuerdo a datos proporcionados por la CFE, el consumo en MWh (Megawatt-horas) identificado con línea de color naranja, en relación con la dotación de agua a través de la Acequia Madre de Ciudad Juárez de acuerdo al Tratado de 1906 expresada en Mm^3 (millones de metros cúbicos) con la línea azul, permite observar que el mismo periodo en el que se da un aumento en el consumo de energía a partir del mes de marzo, se presenta la dotación de agua a través de canales. Por otro lado, se tiene como referencia la precipitación mensual acumulada en milímetros, representada con una línea gris, la cual muestra que durante los meses de lluvia disminuye considerablemente el consumo energético y una vez que descienden las lluvias, vuelve a incrementar el consumo energético, esta observación nos indica la dependencia de la electricidad de esta zona para las actividades agrícolas.

FIGURA 38. Relación de consumo de energía (KWh), disponibilidad de agua por tratado de 1906 (Mm³) y precipitación (mm), para el municipio de Praxedis G. Guerrero en el año 2006.



FUENTE: Elaboración propia con datos de la CFE y Conagua.

Debido a las características de esta región agrícola en donde se tiene acceso a la red eléctrica y el bombeo de agua subterránea es por temporada, presentando meses con alto consumo como son abril, mayo, junio y octubre (figura 38). Se identifica que en cuestión de un sistema de bombeo fotovoltaico, lo más recomendable es un sistema interconectado a la red, con el fin de que en los meses que no utilice la energía eléctrica para el bombeo, esta pueda ser mantenida como crédito y así balancear los costos con el consumo.

La ventaja de este sistema es que se podrá aprovechar la energía generada durante los meses fuera de periodo de riego para entregarla a la red eléctrica, de acuerdo a lo establecido en el “Modelo de contrato de interconexión para fuente de energía renovable o sistema de cogeneración en pequeña escala”, de la Comisión Federal de Electricidad que establece en su cláusula novena:

NOVENA. Facturación y pagos. Para fines de facturación, el consumo de kWh del Generador, se determinará como la diferencia entre la energía eléctrica entregada por el Suministrador y la entregada por el Generador al Suministrador. Cuando la diferencia sea negativa, se considerará como un crédito a favor del Generador que podrá ser compensado dentro del periodo de 12 meses siguientes. De no efectuarse la compensación en ese periodo, el crédito será cancelado y el Generador renuncia a cualquier pago por este concepto. Mientras que cuando la diferencia sea positiva, se considerará como un crédito a favor del Suministrador y se facturará en la tarifa aplicable según el contrato mencionado en la cláusula octava.

Los requisitos para realizar un contrato de interconexión en pequeña escala con CFE, es que se cuente con un contrato de suministro normal en baja tensión, que las instalaciones cumplan con las Normas Oficiales Mexicanas y con las especificaciones de CFE, y que la potencia de la fuente no sea mayor de 10 kW si es domiciliario ó de 30 kW si la está instalada en un negocio. Mientras que para un contrato de interconexión en mediana escala, los requisitos son tener un contrato de suministro normal en media tensión, que las instalaciones cumplan con las Normas Oficiales Mexicanas y con las especificaciones de CFE, y que la potencia de la fuente no sea mayor de 500 kW.

RECURSO SOLAR PARA EL MUNICIPIO DE PRAXEDIS G. GUERRERO

Como se observa en el capítulo 4 de este libro, la zona presenta varias regiones con un alto potencial para la instalación de sistemas solares. Dentro de estas zonas, se identifica la localidad de Praxedis G. Guerrero, por lo que ahí se realizó un análisis de la irradiancia solar para el mes de abril, utilizando datos de las estaciones de monitoreo de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, en donde se reconoce que la irradiancia global acumulada para el mes de abril es de 6.93 kWh/m² (tabla 11).

TABLA 11. Irradiancia acumulada diaria y total para el mes de abril de Praxedis G. Guerrero.

Mes	Día	UACJ	Mes	Día	UACJ
Abril 2016	1	225.0		16	249.6
	2	225.3		17	252.7
	3	201.9		18	255.3
	4	213.9		19	244.1
	5	172.4		20	249.0
	6	165.1		21	253.1
	7	193.3		22	243.6
	8	139.5		23	233.4
	9	221.0		24	255.2
	10	238.5		25	260.4
	11	236.4		26	260.0
	12	232.0		27	264.6
	13	247.6		28	233.6
	14	243.8		29	240.3
	15	249.9		30	227.4
			Total	6.93	

Continúa...

NOTA: Los datos de presentan en unidades de Wh/m², los totales se presentan en kWh/m².

FUENTE: Elaboración propias con datos de la UACJ.

Por otro lado, para poder realizar un cálculo aproximado de la radiación recibida por mes en esta zona, se utilizó la herramienta de NREL (National Renewable Laboratories) PVWATTS, que cuenta con una interfaz para determinar las estaciones meteorológicas disponibles de acuerdo a la región de estudio. La aplicación determina que la estación meteorológica de referencia será (TMY2) EL PASO, TX, en donde se identifica un promedio anual de radiación solar de 6.53 kWh/m² (tabla 12).

TABLA 12. Irradiación mensual KWh/mes.

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Radiación solar (kWh/m²)	5.32	6.08	6.95	7.37	7.29	7.35	6.9	6.69	6.82	6.68	5.60	5.35

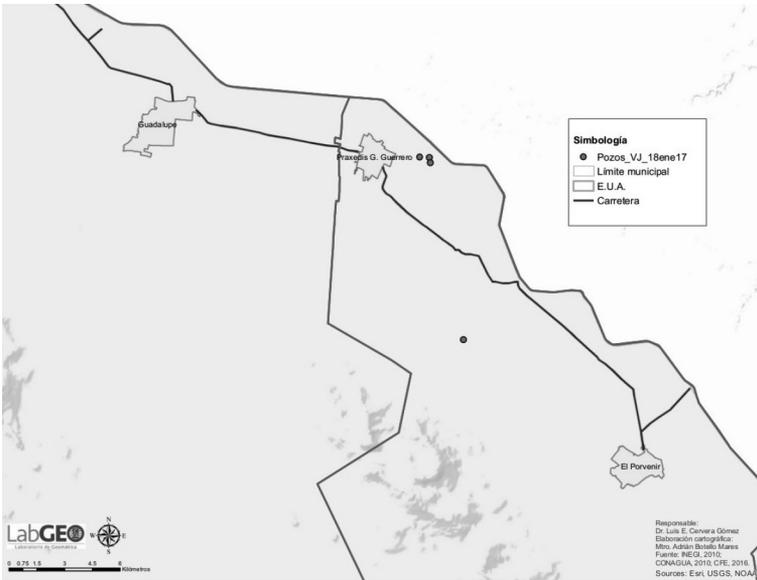
FUENTE: Datos obtenidos de la herramienta de NREL (National Renewable Laboratories) PVWATTS (www.pvwatts.nrel.gov) que cuenta con una interfaz para determinar las estaciones meteorológicas disponibles de acuerdo a la región de estudio. La aplicación determina que la estación meteorológica de referencia será (TMY2) EL PASO, TX.

Lo que representa una zona con un alto potencial para el uso de sistemas fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL POZO DE PRAXEDIS G. GUERRERO

Dentro de este municipio se trabajó con cuatro pozos, con el fin de identificar condiciones de calidad del agua, hidrológicas y de funcionamiento eléctrico y mecánico y a manera de ejemplo, de los cuatro pozos se tomará el caso de uno para identificar las condiciones mecánicas, eléctricas y de calidad del agua, así como los pasos que se debieran de seguir para implementar un sistema fotovoltaico para el bombeo.

FIGURA 39. Mapa de localización de los pozos que fueron analizados en el municipio de Praxedis G. Guerrero.



FUENTE: Elaboración propia con datos de campo.

El pozo seleccionado es el denominado PG-11 (figura 39), con coordenadas de ubicación en campo de 31°22'7.28"N, 105°59'10.75"O. De acuerdo a su registro en la Conagua, es un pozo para uso agrícola con un volumen de extracción al año de 532 015.00 m³/año (tabla 13).

TABLA 13. Datos registrados ante la Conagua.

Pozo	Anexo	Volumen (m³/año)	Uso que ampara el título	Estado Chihuahua	Municipio	Región hidrológica	Cuenca	Acuífero que menciona el título	Acuífero homologado	Latitud	Longitud
PGI-11	33	532 015.00	AGRÍCOLA	8 - CHIH.	53 - PRAXEDIS G. GUERRERO	24 - BRAVO-CONCHOS	5	33 - VALLE DE JUÁREZ	0833 - VALLE DE JUÁREZ	31°30'58.00"	-106°15'00.00"

FUENTE: Comisión Nacional del Agua.

FIGURA 40. Fotografía del pozo PG-11 ubicado en Praxedis G. Guerrero.



FUENTE: fotografía tomada en campo.

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS Y ELÉCTRICAS DEL SISTEMA DE RIEGO SELECCIONADO

Antes de diseñar un sistema que utilice energías alternativas es importante identificar las características mecánicas y eléctricas de la bomba y el pozo, con el fin de obtener su eficiencia y la dimensión de los equipos, ya que es fundamental, antes de realizar una inversión en un sistema de energía renovable, primero lograr la máxima eficiencia del sistema, con el máximo ahorro energético y desgaste del equipo sobre el que se realizará la inversión. Es por ello que los datos del equipo, no solamente se utilizaron para realizar un diseño de un sistema fotovoltaico, sino que también para identificar su eficiencia y dimensionamiento de acuerdo a las características del caudal y profundidad del pozo.

Según los datos de la placa del equipo, obtenidos en campo, la bomba es de turbina vertical de 75 HP, con una profundidad de 50 m (tabla 14).

TABLA 14. Características de la bomba utilizada en el pozo PG-11.

ID	Pozo PG-11
Instalación	
Municipio	Praxedis G. Guerrero
Estado	Chihuahua
Coordenadas	31°22'7.28"N, 105°59'10.75"O
Tipo de pozo	Bomba de turbina vertical de 75 C.P., 230-460 V
Subestación	Subestación tipo poste con cortacircuitos tipo fusible de 7 Amperes, apartarrayo autovalvular de 12 KV. Transformador de 75 KVA, 13,200/440-220V.
Arrancador	Arrancador automático a tensión reducida K 981 tipo autotransformador utilizado para el arranque de motor con rotor de jaula de ardilla, para potencia de 75 C.P. a 440 V, 60 Hz.
Motor	Motor para bomba centrífuga tipo vertical, marca US MOTORS, de 75 C.P., multi-voltaje 440-230 V, de 4 polos, corriente de plena carga a 460 V (76 Amperes).
Bomba	Bomba vertical tipo turbina, marca ITSA (Industrial Torreón S. A. de C. V.), modelo 302-A2M-3. Con impulsores tipo semiabierto y tazones porcelanizados con una profundidad 50 metros.

FUENTE: Elaboración propia con datos de placa de equipo.

Mientras que de acuerdo con los datos obtenidos en la CFE, el comportamiento de consumo eléctrico de este pozo es a partir del mes de abril, presentando algunos meses un consumo de 0 kWh. Además se puede identificar la aplicación de la tarifa subsidiada a partir del año 2015 (tabla 15).

TABLA 15. Consumo mensual de energía en el periodo 2014-2016 del pozo PG-11.

ID Instalación	Pozo PG-11			
	2014	2015	2016	
Consumo energético	Abril (kWh)	19 488	13 017	0
	Mayo (kWh)	17 884	4101	0
	Junio (kWh)	7235	0	3860
	Julio (kWh)	0	200	4404
	Agosto (kWh)	1353	0	0
	Septiembre (kWh)	521	0	0
	Octubre (kWh)	8900	0	0
	Total (kWh)	57 395	19 333	10 280
	Total (\$) M.N.	\$250 351	\$ 7994	\$ 4011

FUENTE: Elaboración propia con datos proporcionados por la CFE.

Por otro lado, en campo se identificó un gasto de 64.17 lts/seg, con una profundidad informada de 50 m, un nivel estático de 3.73 m y un nivel dinámico de 14.27 m (tabla 16). Estos datos fueron recuperados en el mes de enero, cuando no se tenían en funcionamiento, debido a que no era época de riego, por el tipo de cultivo que manejan, que básicamente es alfalfa, trigo y sorgo.

TABLA 16. Datos del pozo, obtenidos en campo.

Pozo	Nivel estático (m)	Nivel dinámico (m)	Gasto máximo (lps)	Profundidad (m)	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
PGI-11	3.73	14.27	64.17	50	31°27'07.00"	-105°59'10.00"	1063

Mientras que los parámetros obtenidos de consumo eléctrico en campo nos indican una potencia activa de 27.79 KW, con un 77 % de Factor de Potencia (tabla 17).

TABLA 17. Parámetros de consumo de energía eléctrica de pozo PG-11.

	Corriente	Voltaje	Potencia activa (KW)	Potencia reactiva (KVAR)	Potencia aparente (KVA)	Factor de potencia (%)
Fase A	48.9	AB-454.6				
Fase B	45.2	BC-453.1	27.79	23.01	36.08	77
Fase C	43.8	CA-455.3				

FUENTE: Datos generados por equipo Amprobe, Mod. DM-III.

Con la información de campo y los datos proporcionados por la Conagua en la memoria técnica registrada del pozo, es posible calcular su potencia hidráulica y su eficiencia global, al aplicar la ecuación de su potencia hidráulica según la “Guía para Evaluación de la Eficiencia en Equipos Electromecánicos en Operación para Pozo Profundo, Conagua de agosto, 1993 se tiene que:

$$HP: \frac{Q * CDT}{76}$$

Claves:

HP= Caballos de fuerza

Q = Gasto lps

ND = Nivel dinámico

CDT = Carga dinámica total = ND + Hm + Hf

Aplicación:

$$\text{HP: } \frac{64.17 * 16.22}{76} * \frac{1040.83}{76} = 13.69 \text{ HP}$$

Por lo que se obtiene que el consumo debería de un sistema de 13.69 HP y no uno de 74 HP, que es con el que cuenta actualmente, lo que indica que bajo las condiciones actuales es un sistema sobredimensionado.

DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA ELÉCTRICA

Mientras que para determinar la potencia eléctrica se tomaron medidas con el equipo de bombeo en operación, en donde se obtuvieron los datos de las tensiones con un voltímetro, y las corrientes con un amperímetro o con un kilowattmetro que nos indicaron la lectura del factor de potencia. A partir de estas cifras se calculó la potencia eléctrica por medio de la siguiente fórmula:

$$Pe = 1.732xVxIx \cos\theta \%EFF / 746$$

$$Pe = \frac{E * I * \%EFF * PF * 1.732}{746}$$

Claves:

Pe = Potencia eléctrica suministrada al motor, en HP

HP = Caballos de fuerza

Factor para sistema trifásico = 1.732

E = Tensión entre fases, en volts

I = Corriente de fases en amperes

Cos θ = Factor de potencia

% EFF = Eficiencia del motor

Watts/HP = 746

Al aplicar los datos obtenidos en campo (tabla 17) en la fórmula anterior, se obtienen los siguientes resultados:

$$HP = \frac{454.33 \cdot 45.96 \cdot 0.95 \cdot 0.77 \cdot 1.73}{746} = \frac{26,424.80}{746} = 35.42 \text{ HP}$$

Este resultado representa el consumo actual del sistema: 35.42 HP

Conociendo los HP y aplicando la fórmula de la potencia hidráulica determinamos la EFICIENCIA GLOBAL

Nt = Eficiencia global

$$HP = \frac{Q \cdot CDT}{76 \cdot Nt} \quad Nt = \frac{Q \cdot CDT}{HP \cdot 76} = \frac{64.17 \cdot 16.22}{35.42 \cdot 76} = .0.3862$$

$$Nt = 38.62 \%$$

Para obtener la eficiencia de la bomba, utilizamos la siguiente expresión:

$$\eta_t = \eta_b - \eta$$

$$\text{Dónde: } \eta_b = \frac{nt}{\eta_m}$$

Sustituyendo los valores

$$Nt = 38.62 / 95 = 40.7 \%$$

Lo que indica que el equipo actual está operando con una eficiencia del 40.7 % y con un consumo mayor de energía del que requiere el sistema de bombeo.

Por otro lado, basado en el consumo de energía, es posible obtener el tiempo en horas de operación del pozo PG-11, calculando el producto de la energía en kWh de la tabla 15 por la potencia de consumo del pozo en kW obtenido de la tabla 17, por ejemplo, para el mes de abril el cálculo es el siguiente:

$$\text{Horas de operación}_{PG-11} = \frac{19488 \text{ kWh}}{27.79 \text{ kW}} = 701.25 \text{ h}$$

El mes de abril cuenta con 30 días por lo que el número de horas del mes será de 720 horas. De lo anterior se puede deducir

que el pozo PG-11 se mantuvo en operación durante el 97.39 % del mes, es decir 701.25 horas de las 720 horas disponibles del mes.

El cálculo anterior también nos servirá para obtener el volumen de agua extraída durante el mes (tabla 18).

TABLA 18. Consumo mensual de energía en el periodo 2014-2016 del pozo PG-11 y gasto de agua equivalente.

ID	Pozo PG-11						
	(kWh)	2014	m ³	2015	m ³	2016	m ³
Consumo energético	Abril	19 488	161 999.34	13 017	108 207.4	0	
	Mayo	17 884	148 665.65	4 101	34 090.69	0	
	Junio	7 235	60 142.92	0	0	3 860	32 087.30
	Julio	0	0	200	1 662.555	4 404	36 609.45
	Agosto	1 353	11 247.18	0	0	0	0
	Septiembre	521	4 330.95	0	0	0	0
	Octubre	8 900	73 983.69	0	0	0	0
	Total (kwh)	57 395	460,369.75	19 333	143 960.6	10 280	68 696.76
	Total (\$) Pesos	\$250 351		\$7994		\$ 4011	

FUENTE: Elaboración propia con datos de CFE

Siendo Q (Gasto en lps) = 64.17 litros/segundo y conociendo el número de horas del mes.

Primero convertimos a unidades de litros por segundo a metros cúbicos por hora.

Entonces: 64.17 litros/segundo = **231.012 m³/hora**

El gasto mensual de abril 2014 será $Q_{mes} = (231.012 \text{m}^3/\text{hora}) (701.25 \text{ hora}) = 166 328.64 \text{ m}^3$

El consumo anual del 2014 fue de **460 369.75 m³/año**, por operación del pozo PG-11, que se encuentra dentro de la concesión establecida para este pozo por la Conagua (tabla 13). Con este dato se puede deducir una relación de gasto para el año 2014 de **14.59 lt/seg**

Por todos los datos antes presentados, en este caso es altamente recomendable realizar primero una inversión para tener un sistema con una eficiencia mayor y de acuerdo a las dimensiones necesarias de consumo, ya que si se cambia el sistema de bombeo, por uno que alcance los 13.69 HP, se obtendrá un ahorro considerable en el consumo de energía, el cual se puede calcular con base en el comportamiento registrado, tomando como ejemplo el consumo de 2014, que fue el más alto, en donde se puede calcular el consumo para 13.69 HP, con lo cual se obtiene la potencia eléctrica en kW con la siguiente fórmula:

$$\frac{HP \times 0.746}{\text{Eficiencia del motor}} = \frac{13.69 \times 0.746}{0.95} = 10.75 \text{ KW}$$

La tabla 15 presenta los datos de energía por mes y se observa que el periodo de consumo de energía de acuerdo al ciclo de riego es de abril-agosto y se muestran los datos de consumo mensual en kWh, el producto de la energía mensual por la potencia del pozo permite despejar la variable de potencia (Kw) para obtener las horas de operación por mes.

Una vez calculadas las horas de operación por mes, al multiplicar las horas de operación por la nueva potencia calculada (10.75 kW) se obtiene el valor de energía consumida en el caso de que se utilizara un motor de 10.75 kW, que arroja un consumo propuesto para el año 2014, en donde se refleja una reducción del 62.67 % del consumo anual, pasando de 57 395.0 kWh a 21 423.02 kWh (tabla 19).

TABLA 19. Comparación de la energía consumida en el año 2014, con la energía calculada a partir de una potencia de 10.74 kW.

2014	kWh (actual)	kW (actual)	Horas	kW (propuesto)	(kWh) propuesto
Abril	19 488	27.79	701.26	10.75	7538.54
Mayo	17 884	27.79	643.54	10.75	6918.06
Junio	7235	27.79	260.35	10.75	2798.71
Julio	0	27.79	0.00	10.75	0.00
Agosto	1353	27.79	48.69	10.75	523.38
Septiembre	521	27.79	18.75	10.75	201.54
Octubre	8900	27.79	320.26	10.75	3442.79
Total (kwh)	57 395				21 423.02

Con base en este consumo se puede realizar el diseño de un sistema fotovoltaico que trabaje con una bomba eficiente y con el potencial requerido para el tipo de pozo y necesidades de extracción de agua.

PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL BOMBEO

En instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red, el objetivo es generar la máxima cantidad de energía posible a lo largo de un año, para este caso el valor de energía buscado será de 21 423 kWh que corresponde a la energía consumida durante un año con el motor de la capacidad propuesta (10.75 kW).

En este caso se ha determinado una capacidad de 12 KW de corriente directa, es factible cambiar este valor en función de la energía esperada en el cálculo final. El tipo de módulo definido como estándar corresponde a un módulo policristalino con una eficiencia promedio del 15 % de acuerdo a lo más común en el mercado, el tipo de arreglo definido es fijo y con pérdidas en el sistema de un 14 %, en las que se incluyen pérdidas de energía en el cablea-

do y proceso de conversión de la energía, el ángulo de inclinación del sistema fijo es de 30 grados de acuerdo a recomendaciones de NREL para la región, esto definido de acuerdo a la latitud de la ubicación del sistema y el azimuth de 180 grados indica la referencia del sur (tabla 20).

TABLA 20. Características del sistema fotovoltaico para PVWATTS.

Capacidad del sistema en KW (dc)	12 KW		
Tipo de módulo	Estándar	Premium	Thin film
Tipo de arreglo	Fijo	Montado en techo	Con seguidor
Pérdidas del sistema	14 %		
Ángulo de inclinación	30		
Azimuth	180		

FUENTE: Elaboración propia con herramienta www.pvwatts.nrel.gov

RESULTADOS DE PVWATTS

Al incorporar los datos de consumo con los datos de radiación en el *software* PVWATTS se identifica que es posible generar durante un año la cantidad de energía suficiente para reemplazar la energía convencional que se consume actualmente, aunque los montos de generación y consumo no son simultáneos mes con mes (tabla 19), es aquí donde se aplica lo establecido en el “Modelo de contrato de interconexión para fuente de energía renovable o sistema de cogeneración en pequeña escala” de la Comisión Federal de Electricidad, antes mencionado. Ya que al hacer la sumatoria de la energía generada con la energía consumida, la diferencia es casi cero y esto es factible únicamente para sistemas interconectados a la red, en donde los meses que no se encuentre en operación el sistema de bombeo, el sistema fotovoltaico sigue generando energía que es enviada directamente a la red eléctrica y con ello lograr realizar este tipo de balances y aunque se tengan meses en los que no se genera la energía suficiente, esta se suple por medio de la red eléctrica (tabla 21).

TABLA 21. Resultados de la simulación de un sistema fotovoltaico de 12 kW.

Mes	Radiación	Energía	Energía
		generada	consumida
Enero	5.32	1602	0
Febrero	6.08	1602	0
Marzo	6.95	2025	0
Abril	7.37	2001	7538.54
Mayo	7.29	1991	6918.06
Junio	7.35	1892	2798.71
Julio	6.9	1836	0.00
Agosto	6.69	1802	523.38
Septiembre	6.82	1790	201.54
Octubre	6.68	1875	3442.79
Noviembre	5.6	1584	0
Diciembre	5.35	1622	0
		21 622	21 423.02

FUENTE: Elaboración propia con herramienta www.pvwatts.nrel.gov

Al calcular la potencia generada con la aplicación PVWATTS, se define el tamaño del sistema fotovoltaico y para obtener la energía deseada es necesario calcular el sistema, este se realiza en el *software* SAM (Sistem Advisory Model).

Con base en los cálculos realizados, se propone realizar 5 cadenas en serie con 8 paneles de 310 watts y cada cadena conectada a un inversor de 2.5 KW, con lo anterior se considera un uso total de 40 paneles solares y 5 inversores.

Por otro lado, si se toma en cuenta el aviso sobre el factor de emisión eléctrico publicado el 23 de junio de 2016 por la Semarnat que indica que el factor de emisión para el cálculo de emisiones indirectas por consumo de electricidad para el periodo 2015, cuando el proveedor sea la Comisión Federal de Electricidad, será de 0.458 toneladas de CO₂/MWh, el cual deberá multiplicarse por el consumo eléctrico (en unidades de Mega Watts hora)

para obtener la emisión indirecta por consumo de electricidad del establecimiento sujeto a reporte, y se considera el consumo obtenido con los cambios del sistema de bombeo, se tiene que son 21.423 MWh de consumo anual del pozo seleccionado.

$$\text{Emisiones de CO}_2 = Fe \times MWh$$

$$\text{Emisiones de CO}_2 = \left(0,458 \text{ Ton} \frac{\text{CO}_2}{\text{MWh}}\right) (21,423 \text{ MWh}) = 9,81 \text{ Ton CO}_2$$

Por lo que si se instala un sistema fotovoltaico en el pozo PG-11 de Praxedis G. Guerrero se evitará la emisión de 9.81 toneladas anuales de emisiones de CO₂, con lo que se contribuiría a la disminución de gases de efecto invernadero.

En cuanto a costos, se considera un aproximado de \$500 000.00, basados en sistemas similares que han sido aprobados por FIRCO en el 2013 (Sagarpa, 2013b).

CONCLUSIONES

En primer lugar se logra identificar que es importante conocer los factores sociales y económicos, al igual que los factores mecánicos y eléctricos de un sistema, además de las propiedades físicas y ambientales del lugar, en el caso de la irradiación solar y la calidad del agua, como la caracterización del acuífero, ya que todos estos factores además de influir para la decisión de implementar un sistema de energía renovable, también interactúan entre ellos.

Por ejemplo, el comportamiento de la sociedad de esta localidad es afectado directamente por sus costumbres, situaciones externas como la violencia, tratados internacionales y los flujos de mercado, así como las situaciones ambientales ajenas a ellos que han provocado grandes pérdidas en sus cultivos, como se puede identificar en el capítulo 1 de este libro.

Esto a su vez, ha ocasionado que se organicen para evitar impactos en sus cosechas, o para recibir apoyo, como han sido los

subsidios a la energía eléctrica, por mencionar un ejemplo. Sin embargo, se observa, como se mencionó en un inicio de este capítulo que la población, especialmente en el municipio de Praxedis G. Guerrero ha tenido un pequeño incremento después de los periodos altos de violencia, lo que demuestra una mejora en el desarrollo de esta localidad, sin embargo, no se puede dejar de mencionar que esos indicadores siguen siendo elevados.

También se identifica un incremento en la economía de la región, como se presenta en el Capítulo 2 de este libro, sin embargo, no se ven tan fuertes los apoyos para la tecnificación y el ahorro de energía, así como les sigue afectando la dependencia del agua que recibirán cada año proveniente del Tratado de 1906, además se identifica que el agua subterránea cuenta con altos niveles de sales y el deterioro del acuífero somero es muy considerable, por lo que el uso de este tipo de agua en la agricultura afecta el producto y el suelo (Capítulo 3).

Por otro lado, en cuestión del recurso solar, se identifica que es una región con alto potencial para la aplicación de sistemas fotovoltaicos, pero se observó la gran importancia de antes de diseñar un sistema para bombeo, primero conocer sus condiciones eléctricas y mecánicas, ya que en el caso estudiado, se encontró que cuenta con sistema sobredimensionado y con una baja eficiencia, por lo que se recomienda que se invierta primero en cambiar el sistema de bombeo.

Es importante destacar que la baja eficiencia del sistema identificado puede deberse al diseño y construcción del pozo, así como al inadecuado equipamiento, y a su desgaste de la bomba por el tiempo que tienen operando, entre otras cosas, por lo que se recomienda que además de los estudios incluidos en este proyecto, también se realice una inspección física de mayor detalle sobre el estado de la construcción del pozo, para con los resultados obtenidos se defina también si es necesaria la rehabilitación del pozo o es mejor la construcción de un nuevo pozo, equipándolo nuevamente o dándole mantenimiento y ajustes mecánicos a la columna, en caso de utilizarse la misma, con el fin de que los

pozos prolonguen su tiempo de operación, y que los sistemas de bombeo sufran el menor desgaste posible.

Esto quiere decir que antes de invertir en un sistema fotovoltaico, es prioridad contar con un pozo en óptimas condiciones, ya que si el pozo genera arena en el momento de extracción, esto ocasiona que se desgaste la bomba y que su tiempo de vida disminuya drásticamente, así como un mayor consumo de energía. Lo que puede ocasionar que se dañe primero la bomba y que deje de funcionar el pozo, antes de recuperar la inversión del sistema fotovoltaico.

En este caso particular, si se realiza la inversión en el sistema de bombeo para cambiarlo por las condiciones aquí planteadas, se logra una disminución en el consumo de energía del 62.67 %, lo que también se ve reflejado directamente en la inversión de un sistema fotovoltaico, tanto en dinero como en espacio. Si no se realiza esta mejora del sistema de bombeo, el sistema fotovoltaico requeriría de un área para la instalación de paneles solares de 298.49 m², en donde se considera la instalación de 108 paneles distribuidos en 4 estructuras, cada estructura contará con 3 arreglos de 9 paneles en serie, quedando cada estructura con 27 paneles, para un sistema de 32 KW, comparado con el sistema de 12 KW, en donde sería de 5 cadenas en serie con 8 paneles de 310 watts y cada cadena conectada a un inversor de 2.5 KW, con lo anterior se considera un uso total de 40 paneles solares y 5 inversores.

Por lo que la recomendación sería primero invertir en tecnología para lograr una mayor eficiencia y un menor desgaste de los sistemas, así como pensar en la aplicación de estrategias sustentables para esta zona agrícola, como son el cambio de cultivos que sean resistentes a las condiciones climáticas y las condiciones de salinidad del suelo, así como mejorar los sistemas de riego con el propósito de que se tenga el menor desperdicio de agua en la técnica de riego, como otras técnicas sustentables que se pueden implementar.

Además de considerar los factores económicos y sociales que pudieran afectar al agricultor para implementar este tipo de innovaciones en su forma de cultivo, es importante, primero dar a conocer las opciones que se tienen y lo que representan económica y ambientalmente para la mejora de su región.

Por otro lado, es necesario mencionar la repercusión que tiene describir y brindar un panorama del campo mexicano, como es el Valle de Juárez, en donde se conjuntan tanto factores sociales, económicos, como ambientales con el fin de conocer la situación en que se encuentra en este periodo de tiempo y el camino que debe de continuar desarrollándose, así como el apoyo y reconocimiento que requiere este sector de la población.

REFERENCIAS

- Conagua. (2007). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Guía para la evaluación de la eficiencia en equipos electromecánicos en operación para pozo profundo. Recuperado en: <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/Libros/26GuiaParaLaEvaluacionDeLaEficienciaEnEquiposElectromecanicosEnOperacion.pdf>
- Foster, R. y Cota A. D. (2005). "Two decades of PV lessons learned in Latin America" Solar World Congress, International Solar Energy Society, Orlando, Florida, 11 de agosto del 2005.
- Infante, F. y Fernando, S. (2016). La importancia de los factores productivos y su impacto en las organizaciones agrícolas en León Guanajuato México. *El Agora USB*, 16 (2), pp. 393-406. URN: <http://nbnresolving.de/urn:nbn:de:0168-ssoar-48526-7>
- Lemus, M.A., y Acosta, E. (2013). Relatoría: las energías renovables en el sector agropecuario. *AGROProductividad*, 6 (4), pp. 31-39. Recuperado en: go.galegroup.com/ps/i.do?p=IFME&sw=w&u=pu&v=2.1&id=GALE%7CA382318745&it=r&asid=1798c77e24f495972e362efd94da5537 (accedido el 7 marzo de 2017).

- Piñeiro, J. y Romero, N. (2001). El desarrollo sostenible en el sector energético: las energías renovables en Galicia y sus aportaciones al grupo Unión Fenosa. *Revista Galega de Economía*, 10 (2), pp. 1-23. Recuperado en: http://www.usc.es/econo/RGE/Vol%2010_2/Castelan/El%20Desarrollo%20Sostenible%20en%20el%20Sector%20Energ%20E9tico....pdf
- Sagarpa. (2013a). Proyectos de energías renovables y eficiencia energética. Consultado para el estado de Chihuahua desde: <http://www.proyectodeenergiarenovable.com/Republica/> (accedido el 3 de marzo de 2017).
- Sagarpa. (2013b). Sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica. Proyecto: BIECO-CHIH-10-001658. Recuperado en: <http://www.proyectodeenergiarenovable.com/Republica/pdfmapa/BIECO-CHIH-10-001658.pdf> (accedido el 3 de marzo de 2017).

El Valle de Juárez: su historia,
economía y ambiente para el uso
de energía fotovoltaica en versión
digital, terminó de editarse en mayo
de 2017.