



ANÁLISIS PARA EL REEMPLAZO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA CON ENERGÍAS ALTERNATIVAS EN SISTEMAS DE IRRIGACIÓN EN EL VALLE DE JUÁREZ

Esmeralda Cervantes Rendón
Coordinadora

© El Colegio de Chihuahua

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

Primera edición 2017
ISBN: 978-607-8214-41-9

Coordinación editorial: Elvia Liliana Chaparro Vielma
Corrección: Hugo Espinoza
Diseño editorial y portada: Marla Rascón

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. Abril 2016-marzo 2017.
Coordinadora del proyecto: Dra. Esmeralda Cervantes Rendón.

ÍNDICE

| | |
|--------------------------------------------|----|
| Introducción..... | 5 |
| Análisis histórico-social..... | 9 |
| Análisis económico | 17 |
| Análisis del recurso solar | 33 |
| Análisis de la calidad del agua..... | 45 |
| Análisis del consumo eléctrico..... | 61 |
| Análisis electromecánico de los pozos..... | 85 |

INTRODUCCIÓN

Para el establecimiento de estrategias de acción en el sector agrícola que incluya tecnología con energías alternativas, además de saber el potencial de la energía que se desea evaluar y la caracterización del sistema que se proponga, es necesario primero conocer los diferentes aspectos que afectan una zona de este tipo, como son sus condiciones socioeconómicas, demográficas y calidad del agua del lugar, para después estar en posibilidades de proponer rutas para una comunicación con los usuarios e identificar la viabilidad para el uso de energía renovable, en específico el uso de sistemas fotovoltaicos para el bombeo en sistemas conectados a la red. Es por ello que se propuso desarrollar un diagnóstico del Valle de Juárez con el siguiente objetivo general: Para analizar la viabilidad económica, social y de condiciones mecánicas y de calidad de los pozos, así como la situación ambiental para el reemplazo de sistemas de bombeo conectados a la red eléctrica por sistemas de bombeo con energía fotovoltaica, en el Valle de Juárez, implicó plantear los siguientes objetivos particulares:

- Analizar la situación socioeconómica del Valle de Juárez.
- Identificar las condiciones del medio ambiente en el Valle de Juárez (radiación solar).
- Diagnóstico de tres pozos con distinta condición de eficiencia y operación.
- Recomendaciones de uso energético para los pozos del Valle.

A cada objetivo particular se le asignaron metas específicas (tabla 1).

TABLA 1. OBJETIVOS Y METAS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.

| OBJETIVOS | METAS |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Analizar la situación socioeconómica del Valle de Juárez | 1.1. Diagnóstico histórico sobre la evolución de la agricultura en el Valle de Juárez 1.2. Diagnóstico sobre la población y las condiciones de la agricultura y la energía en el Valle de Juárez |
| 2. Identificar las condiciones de medio ambiente en el Valle de Juárez | 2.1. Diagnóstico de la calidad y disponibilidad de agua 2.2. Determinar la incidencia solar y condiciones climáticas para el uso de energía solar 2.3. Identificar estrategias sustentables para el cultivo en el Valle de Juárez |
| 3. Diagnóstico sobre la condición de tres pozos con distinta condición de eficiencia y operación | 3.1. Georreferenciar los pozos 3.2. Clasificar los pozos de acuerdo a sus condiciones de operación |
| 4. Recomendaciones de uso energético para los pozos del Valle | 4.1. Recomendación al usuario de opciones técnicas y financieras para el reemplazo energético 4.2. Generar opciones de capacitación para los usuarios en el uso de energías alternativas |

FUENTE: Cervantes Rendón, Esmeralda (2016)

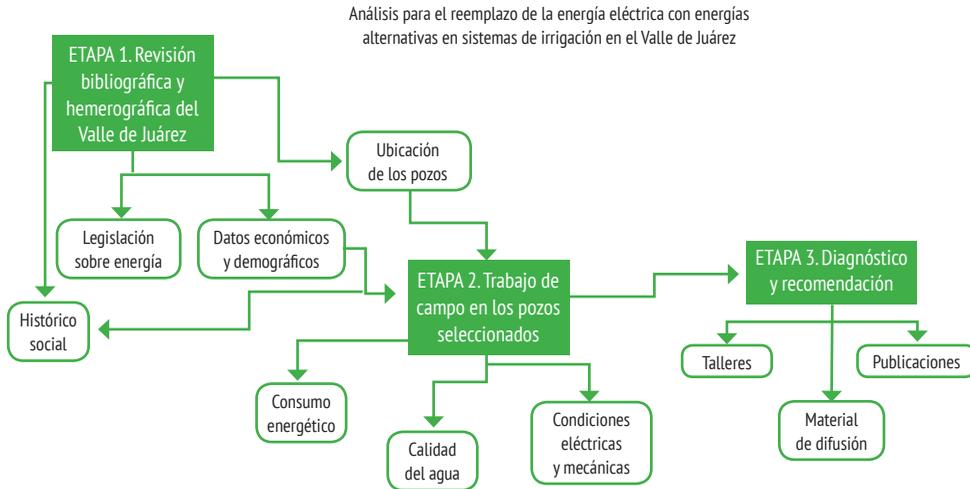
Por lo que los principales temas abordados para poder obtener un diagnóstico de este tipo fueron:

1. Histórico-social
2. Económico y recomendaciones de financiamiento
3. Recurso solar
4. Consumo eléctrico de la región y de los tres pozos de Praxedis G. Guerrero
5. Agua

Para analizar cada uno de estos temas, se realizaron diferentes actividades que se pueden englobar en tres grandes etapas (figura 1):

1. Revisión bibliográfica y hemerográfica
2. Trabajo de campo y reuniones de trabajo
3. Diagnóstico y recomendaciones

FIGURA 1. DIAGRAMA DE LAS 3 ETAPAS DE ACTIVIDADES DEL PROYECTO.



FUENTE: Elaboración propia.

Etapa 1: En los sitios oficiales se identificaron publicaciones académicas y hemerográficas (periódicos locales), las condiciones económicas, las legislaciones aplicables, los estudios previos realizados sobre las diferentes problemáticas relacionadas con el agua, así como los procedimientos y fuentes de financiamiento para la aplicación de energías renovables en el campo. Por otro lado, se ubicaron posibles lugares para la selección de tres pozos para su análisis de agua y electromecánico. Así fue como se seleccionó la localidad de Praxedis G. Guerrero, en donde se encuentra la Asociación de Usuarios del Módulo de Riego Número Tres, A. C y a la cual nos dieron acceso.

Etapa 2: En el trabajo de campo se logró obtener la información acerca del consumo eléctrico, las condiciones electromecánicas de los pozos y la calidad del agua, además de identificar entre los pobladores información de su cultura y desarrollo agrícola. Por otro lado, ayudó a identificar las posibles rutas para poder impartir los talleres y comunicar los avances encontrados en la presente investigación a los usuarios y autoridades locales relacionadas con el desarrollo del campo y la implementación de energías renovables en el mismo.

Etapa 3: Como resultado de las etapas anteriores, se logró el desarrollo de material de divulgación como folletos para los agricultores e interesados en estas temáticas, y se impartieron talleres de tres temáticas:

- Energías renovables: Enfocado para estudiantes, académicos de la institución que participaron en el proyecto, así como estudiantes de otras instituciones interesados en el tema. La sede fue en El Colegio de Chihuahua durante las actividades del 2do Congreso Internacional de Medio Ambiente y Sociedad, llevado a cabo del 19 al 21 de octubre de 2016.
- Muestreo y análisis del agua: para alumnos, académicos de la institución que participaron en el proyecto, así como estudiantes en general interesados en el tema. Se llevó a cabo una parte en las instalaciones de El Colegio de Chihuahua, utilizando el equipo Vernier solicitado, y otra parte en campo en un pozo cercano a la institución.
- Medidas de ahorro de energía y consumo de agua en el campo: Se dirigió a los agricultores y tomadores de decisiones dentro del campo, con el apoyo de la Secretaría de Desarrollo Rural del estado de Chihuahua, en oficinas del gobierno del estado, impartido el 27 de marzo de 2017.

Por otro lado, por cada uno de los temas analizados se elaboró un reporte de investigación en donde se especifica la metodología y los resultados particulares obtenidos.

ANÁLISIS HISTÓRICO-SOCIAL

*Gabriela Montano Armendáriz,
Esmeralda Cervantes Rendón y Miguel Hernández Vázquez*

OBJETIVO: Revisar y ubicar la información relacionada al Valle de Juárez.

META: Obtener un panorama general del Valle de Juárez para detectar los puntos de crisis a lo largo de su historia.

ACTIVIDADES:

Ubicación y revisión de bases de datos con artículos científicos y de divulgación; y, tesis

Revisión hemerográfica desde 1970 hasta el 2016

Visita a la UCLA, 2 al 5 de enero 2017

INTRODUCCIÓN

La problemática que plantea esta parte de la investigación implica localizar y analizar la información existente en las diversas áreas que sean de ayuda en la comprensión del panorama general del Valle de Juárez en la cuestión social. Para conocer lo anterior, es importante revisar todo lo que se ha producido a lo largo de la historia del objeto de estudio, como lo es para el presente reporte de investigación el Valle de Juárez, una región comprendida por 23 localidades, las cuales han sido estudiadas por las diferentes áreas de la ciencia. En este trabajo, los textos localizados se han agrupado en los temas de agricultura, agua, contaminación y medio ambiente, violencia, ejidos y salud, los anteriores se encuentran en artículos académicos, tesis, libros, reportes de instituciones. Aunado a lo anterior, se realizó una búsqueda y análisis hemerográfico de los periódicos del estado de

Chihuahua desde 1970 hasta 2016, con los anteriores, se generó un manual de ubicación para usuarios futuros.

Se realizaron dos entrevistas en calidad de anónimas, de las cuales se pudo obtener información acerca de la historia y cultura del Valle de Juárez.

Del método de la historia oral, en algunas partes han sido retomadas las técnicas del Dr. James Wilkie, quien escribe la historia desde el término del elitelore, es decir, cómo la élite gobernante repercute sobre la población de una localidad.

METODOLOGÍA

Se inició obteniendo la información de la Biblioteca Virtual Ambiental del Estado de Chihuahua (BVA), en la cual se encuentran publicaciones de acceso abierto clasificadas por temas ambientales de trabajos realizados sobre el estado de Chihuahua, después se realizaron búsquedas en las bases de datos disponibles como las que facilita el Consorcio Nacional de Recursos de Información Científica y Tecnológica (Conricyt), el cual engloba la información de más de nueve universidades; también se revisó Scielo, Redalyc y Open Access, con el fin de complementar la información presente en la BVA y de publicaciones sobre el Valle de Juárez que no necesariamente fueran de temas ambientales. Como resultado de las búsquedas, se localizaron 21 artículos de investigación de los cuales el 70 % fueron relacionados a problemas de agua, el 17 % a salud ambiental ligada a problemas por el uso del agua gris y 13 % se enfocaron a la participación social en el uso de agua (tabla 2).

**TABLA 2. ARTÍCULOS PUBLICADOS SOBRE EL VALLE DE JUÁREZ
EN DISTINTOS REPOSITARIOS Y BASES DE DATOS.**

| | REDALYC | CONRICYT | SCIELO | OPEN ACCESS | BVA | JSTOR |
|---|---------|----------|--------|-------------|-----|-------|
| 1 | * | * | | * | | |
| 2 | * | * | * | | | |
| 3 | | * | | | | |
| 4 | * | | | | | * |
| 5 | | | | | | * |
| 6 | * | | * | * | | |
| 7 | * | | | | * | |
| 8 | | | | | * | |
| 9 | | | | | * | |

Continúa...

| | REDALYC | CONRICYT | SCIELO | OPEN ACCESS | BVA | JSTOR |
|----|---------|----------|--------|-------------|-----|-------|
| 10 | | | | | * | |
| 11 | | | | | * | |
| 12 | | | | | * | |
| 13 | | | | | * | |
| 14 | | | | | * | |
| 15 | | | | | * | |
| 16 | | | | | * | |
| 17 | | | | | * | |
| 18 | | | | | * | |
| 19 | | | | | * | |
| 20 | | | | | * | |
| 21 | | | | | * | |

FUENTE: Elaboración propio.

Las tesis fueron ubicadas en los catálogos de universidades como la UACH, la UACJ, El Colegio de la Frontera, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y en donde se localizó solo una tesis fue en la Universidad Autónoma de Chapingo (tabla 3). En la UACH se ubicaron algunas tesis de la Escuela Superior de Agricultura Hermanos Escobar, institución clausurada en 1996, de las cuales su gran mayoría abordan el campo del Valle de Juárez.

TABLA 3. CANTIDAD DE TESIS POR INSTITUCIÓN SOBRE EL VALLE DE JUÁREZ.

| Institución | No. |
|-------------|-----|
| UACH | 5 |
| UACJ | 35 |
| El Colef | 1 |
| UAAAN | 1 |
| CIESAS | 1 |
| UANL | 1 |
| | 44 |

FUENTE: Elaboración propia.

Se localizaron 12 reportes, los cuales se enfocaron al análisis final de proyectos de instituciones como Cocef, Conagua y Semarnat, en ellos se especifican las

condiciones geográficas de su primer acercamiento a la zona de trabajo, el dinero utilizado y lo que se logró modificar (tabla 4).

TABLA 4. REPORTES DE PROYECTOS
SOBRE EL VALLE DE JUÁREZ POR INSTITUCIÓN QUE LOS GENERÓ.

| Institución | No. |
|-------------|-----|
| Cocef | 9 |
| Conagua | 1 |
| Semarnat | 2 |
| | 12 |

FUENTE: Elaboración propia.

La revisión hemerográfica fue realizada a través de la base de datos INPRO, con la palabra clave “El Valle de Juárez”, localizando más de 2500 notas de los años 1976 a 2016, en las que podemos identificar los puntos de crisis a lo largo de la historia de El Valle de Juárez y mostrar que resaltan problemas del agua a causa del Tratado de 1906.

RESULTADOS Y/O PRODUCTOS

El producto de esta sección es un catálogo de publicaciones sobre el Valle de Juárez, en donde se indica el título, nombre del autor e institución en la cual se encuentra el libro o la tesis. Para la sección del análisis hemerográfico se elaboraron gráficas y tablas con el fin de estudiar el comportamiento de los temas abordados durante el periodo estudiado (1970-2016). Todo lo anterior en conjunto nos permite elaborar un panorama general de lo sucedido en el Valle de Juárez, mismo que se presenta como capítulo del libro “Desarrollo histórico del Valle de Juárez”, que se desarrolló en el mismo proyecto, incluido en el libro: *El Valle de Juárez: su historia, economía y ambiente para el uso de energía fotovoltaica*.

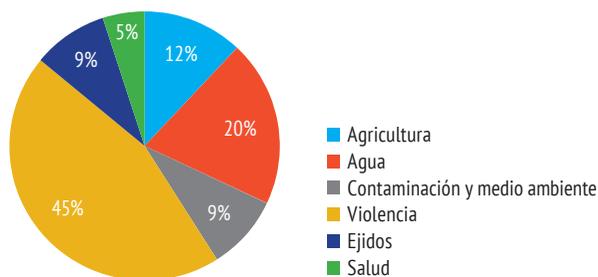
ANÁLISIS DE RESULTADOS

El resultado de haber identificado las publicaciones que se realizaron a lo largo de los últimos 50 años ha permitido conocer cuáles fueron las necesidades de la población. Dividida por décadas, la literatura académica muestra que un 70 % de los documentos tratan sobre agua, el 17 % refieren temas vinculados a la salud y un 13 % abordan la participación social relacionada con el agua. Lo anterior nos indica que el análisis social de la región del Valle de Juárez ha sido poco trabajado. Para antes de 1993, la Escuela Superior de Agricultura Hermanos Escobar (ESAHE) era la institución que más interés mostraba en dicha área, ya que siempre se caracterizaba por tener un acercamiento con los agricultores y capacitarlos en nuevas técnicas o comunicarles los cambios en las leyes del campo mexicano para que ellos supieran aprovechar de mejor manera los beneficios. Al cierre de la ESAHE, la región se quedó sin aquellos estudiantes y docentes para quienes el Valle de Juárez representaba su campo de estudio.

De los años 1990 a 2016 se puede mencionar que gran parte de las publicaciones tuvieron un especial interés por el medio ambiente, ya que con el *boom* de la maquiladora en 1986 la sociedad sufrió las repercusiones de la contaminación causada en gran parte por la presencia de dichos grupos industriales que con algunos de los productos y procesos que utilizan para la producción son generadores de contaminación.

Cabe señalar que a grandes rasgos lo localizado permite triangular la información con la revisión hemerográfica y poder llenar esos huecos de conocimiento para poder formar el panorama social del Valle de Juárez.

FIGURA 2. PORCENTAJE DE LOS TEMAS ABORDADOS EN LAS NOTAS PERIÓDICAS LOCALES SOBRE EL VALLE DE JUÁREZ.



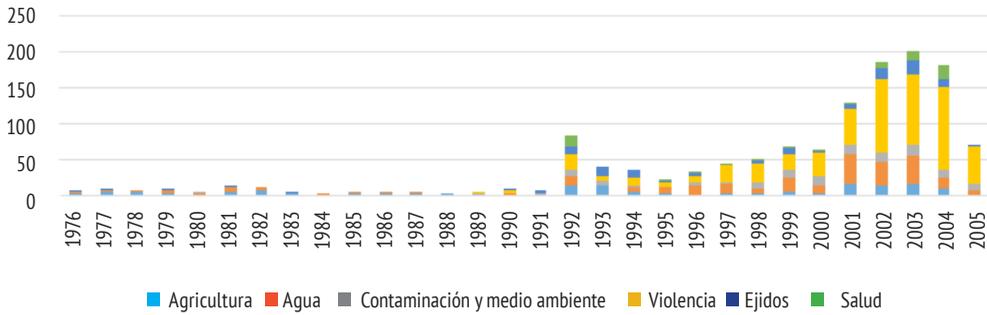
FUENTE: Elaboración propia.

Durante la revisión historiográfica de los periódicos del estado de Chihuahua del periodo 1970-2016, se localizaron más de 2500 notas relacionadas a la región del Valle de Juárez (figura 2); se identificó que el tema de violencia ocupa el 40 % y la gran mayoría se publicaron de 2000 a 2016, el cual fue el periodo de mayor violencia e inseguridad en México. Es importante señalar que el agua concentra el 20 %, las notas son relacionadas principalmente a la mala calidad del agua utilizada en los campos de riego, ya que tiene un alto contenido de sales y repercute en la producción. Mientras que la agricultura es el tercer tema con un 12 %, aunque también se encuentra mencionada en otros temas, como en los de agua. Al identificar las notas que son exclusivamente sobre la agricultura, se logra visualizar la postura del país hacia el campo (en específico sobre esta zona que es el Valle de Juárez). Por las notas periodísticas se conoce que desde 1980 disminuyeron los apoyos al campo y a su población, dejándolos olvidados de los servicios más básicos; los programas como Banrural dejaron de mostrarles oportunidades porque la región era poco solvente debido a los climas extremos.

Por otro lado, hablando de contaminación y medio ambiente, se tuvo un 9 % de las notas; se detectó que existe una unión y preocupación de la población por un bien común cuando se trata de temas para evitar la contaminación del lugar, como fue el influir en la cancelación de la construcción del tiradero tóxico de Sierra Blanca.

Al observar el desarrollo de los temas de las notas a través de los años, se registra que el de violencia ha estado presente principalmente desde los años noventa, sin embargo toma más fuerza a partir del año 2002, mientras que se observa que de 2001 a 2004 la cuestión del agua cobró un mayor interés que en años anteriores.

FIGURA 3. DESARROLLO DE LAS TEMÁTICAS DE LAS NOTAS DE PERIÓDICOS OFICIALES POR AÑO (1976-2005).



FUENTE: Elaboración propia.

ANÁLISIS ECONÓMICO

Cely Celene Ronquillo Chávez, Thania Castañeda Picasso y Gerardo Padilla

OBJETIVO: Obtener información que permita generar un análisis diagnóstico de la situación económica del Valle de Juárez.

META: Compilar una serie de indicadores para analizar la situación económica actual del Valle de Juárez con el objetivo de proponer la adopción de energías limpias en el sector agrícola de esta zona.

PRODUCTOS:

- Reporte técnico con datos económicos
- Folletos con las opciones de financiamiento
- Capítulo de libro

INTRODUCCIÓN

El presente reporte de investigación tiene como objetivo presentar una síntesis de la investigación correspondiente al 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 de la que destaca la producción de algodón, alfalfa, trigo, avena, cebada y sorgo. Dicha

actividad históricamente se ha abastecido con los escurrimientos del río Bravo.¹ El Valle de Juárez ha sido en las últimas décadas una región agrícola importante, sin embargo, hoy en día ha tenido una marcada disminución en su densidad poblacional y, por ende, en su economía.

El documento se estructura de la siguiente manera: una breve introducción, una descripción de la metodología, resultados y análisis.

METODOLOGÍA

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

Para iniciar, se realizó una revisión de los pocos trabajos académicos publicados sobre la zona. Luego, para la elaboración de las gráficas y las tablas, se consultaron bases de datos proporcionadas por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) y por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi).

Para encontrar los programas de impulso a las tecnologías renovables se buscó información en la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa), en el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO), en Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA), en el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE) y en la Secretaría de Energía (Sener). También resultó preciso hacer consultas en la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (Cocef), y en la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).

1 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

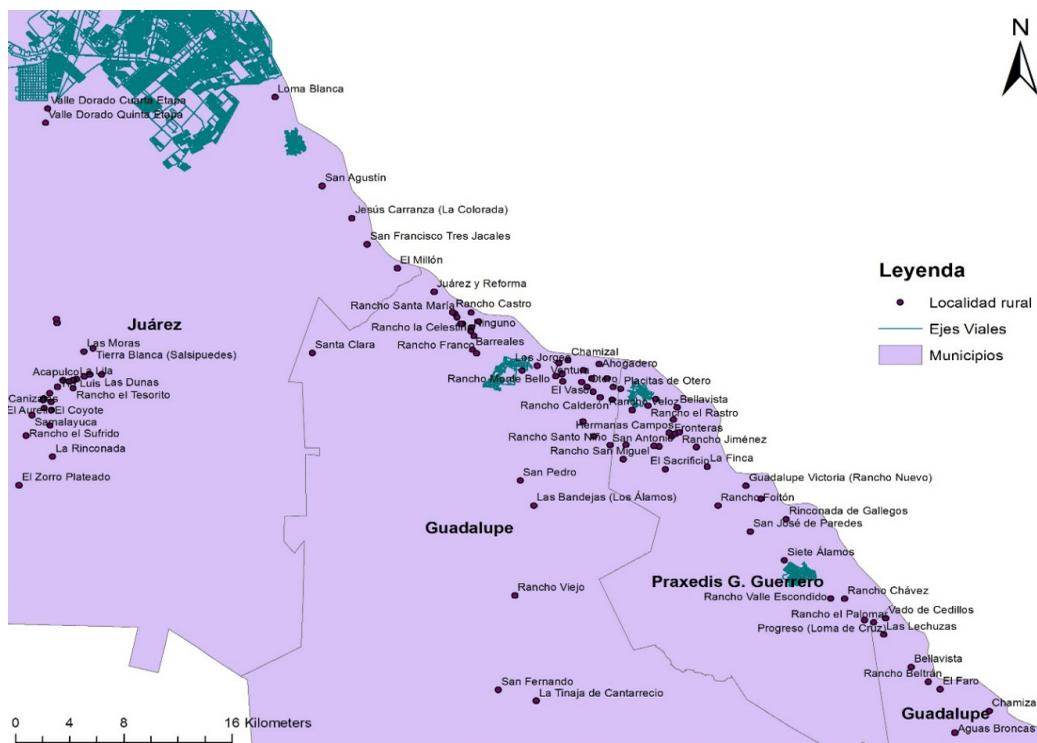
En la generación de los mapas se recurrió a la información presentada por el Inegi, dentro de su sistema para la consulta de información censal (SCINCE Versión 05/2012), ya que ofrece una serie de indicadores sociodemográficos tanto en valores absolutos como relativos, por entidad federativa, municipio, localidad, áreas geo-estadísticas básicas (AGEB), manzanas urbanas y zonas metropolitanas. De tal modo, es posible crear mapas mediante la selección de las variables dentro del programa ArcGis 10.1, donde la información fue seleccionada para observar solo el área de interés que fue el Valle de Juárez. También, se agregó la ubicación de los pozos registrados por la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Además, se consultó la hemeroteca digital de inforural.com.mx y, para obtener el panorama social de la zona, se revisaron notas periodísticas de diferentes medios tanto locales como estatales.

RESULTADOS Y/O PRODUCTOS

En cuanto al análisis de localización, en la figura 4 se identifican los municipios que componen el Valle de Juárez, así como las localidades rurales y los principales ejes viales.

FIGURA 4. MAPA DE LOCALIDADES Y EJES VIALES DEL VALLE DE JUÁREZ, CHIHUAHUA.



FUENTE: Elaboración propia con datos del Sistema para la Consulta de Información Censal (SCINCE)-Inegi.

Datos demográficos del Valle de Juárez

En la tabla 5 se muestran algunos 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 habitantes en los municipios de Guadalupe y Praxedis G. Guerrero en el periodo de 2005 a 2015. Además, según las cifras disponibles de los años 2010-2015, 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 5. DATOS DE LA POBLACIÓN DE LOS MUNICIPIOS QUE FORMAN PARTE DEL VALLE DE JUÁREZ.

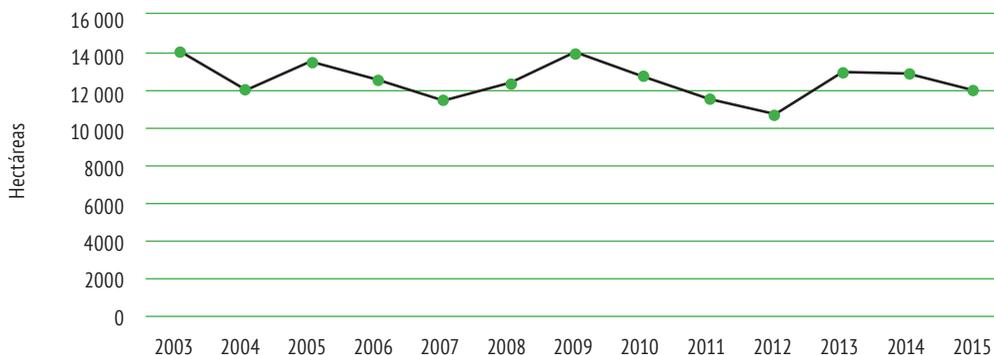
| Municipio | Ciudad Juárez | | | Guadalupe | | | Praxedis G. Guerrero | | | |
|------------------------------------------------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|------|-------|----------------------|------|-------|-------|
| | Año | 2005 | 2010 | 2015 | 2005 | 2010 | 2015 | 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.

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 por la falta de apoyos para este sector. En la figura 5 se muestra la evolución de la superficie cultivada en esta región durante el periodo 2003-2015, observándose una tendencia negativa.

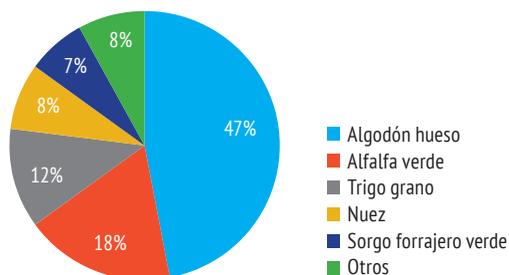
FIGURA 5. COMPORTAMIENTO DE LA SUPERFICIE COSECHADA EN EL VALLE DE JUÁREZ DEL 2003 AL 2015.



FUENTE: Elaboración propia con datos del SIAP (2016)

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 6).

FIGURA 6. DIVERSIDAD DE CULTIVOS DE LA SUPERFICIE COSECHADA EN 2015 EN EL VALLE DE JUÁREZ.



FUENTE: Elaboración propia con datos del SIAP (2016)

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, los cuales tienen un gran comercio a nivel internacional, por lo cual es im-

portante apoyar en estos rubros a los agricultores para apuntalar el desarrollo de esta zona y aumentar su competitividad.

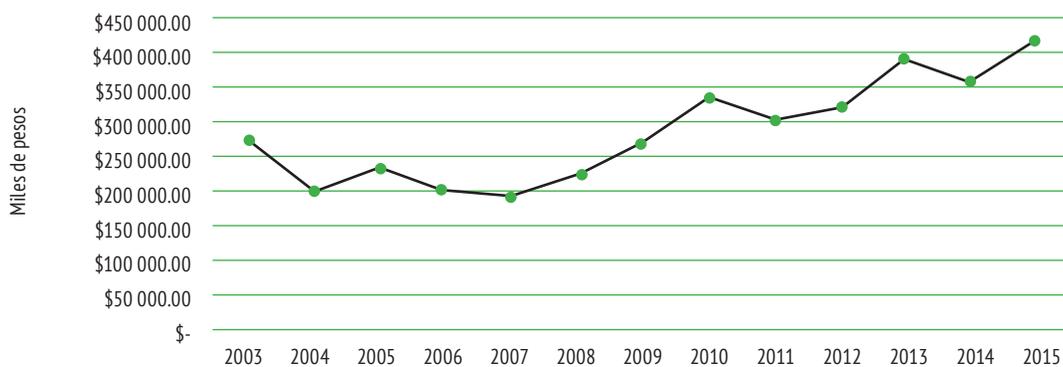
TABLA 6. VALOR DE LA PRODUCCIÓN DEL 2015 EN EL VALLE DE JUÁREZ.

| 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.

El valor de la producción expresado en términos reales durante el periodo 2003-2015 muestra una tendencia al alza, presentando una tasa media de crecimiento anual del 3.58 % (figura 7).

FIGURA 7. VALOR DE LA PRODUCCIÓN EN TÉRMINOS REALES EN EL VALLE DE JUÁREZ (2003-2015).

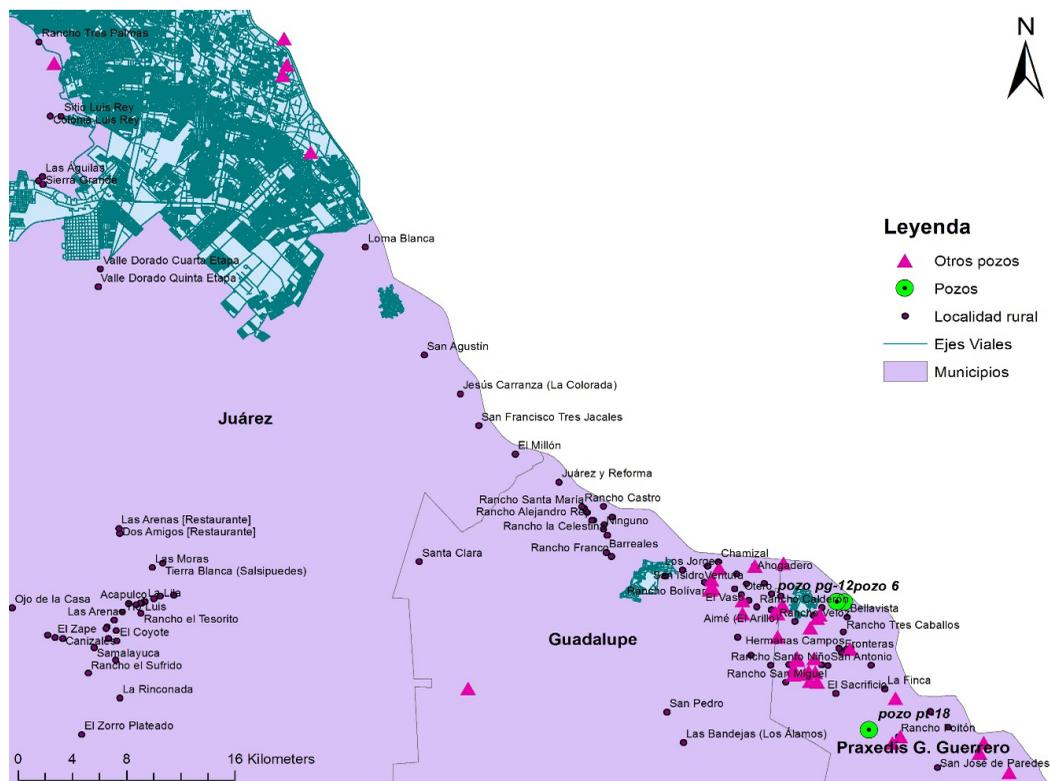


FUENTE: Elaboración propia con datos del SIAP (2016).

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

FIGURA 8. MAPA DEL VALLE DE JUÁREZ, EN DONDE SE IDENTIFICAN LOS POZOS REGISTRADOS ANTE LA CFE Y LOS POZOS QUE FUERON OBJETO DE ESTUDIO.



FUENTE: Elaboración propia con datos del Sistema para la Consulta de Información Censal (SCINCE)-Inegi y la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

América procedentes del río Bravo; las aguas residuales de Ciudad Juárez; y, las aguas de pozos profundos, los cuales han sido abandonados de manera paulatina debido a que la rehabilitación ha resultado costosa, aunado a la elevada concentración de sales.

Según la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (Cocef), 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. Por ello se hace necesario fomentar una mejor cultura del uso del agua, además de dar el mantenimiento adecuado a las acequias.

Por otro lado, se identificaron un total de 57 pozos registrados ante la Comisión Federal de Electricidad (CFE), que interesan al estudio, ya que son los que consumen energía eléctrica, sin embargo, de estos pozos se seleccionaron tres, con el fin de identificar diferentes características de consumo eléctrico, electromecánicas y de calidad del agua (figura 8).

Causas del abandono del Valle de Juárez

El Valle de Juárez es un territorio que por las temperaturas extremas que registra ha necesitado de una amplia inversión en infraestructura para poder convertir una zona con clima desértico en un vergel agrícola.² 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 permita 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.

Debido a lo expuesto, 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. Resulta oportuno mencionar que la presa del Elefante proporciona el vital elemento para agricultores de El Paso y del Valle de Juárez, está a 17 % de su capacidad, lo cual no es suficiente para los sembradíos del lado mexicano, que son de algodón y alfalfa.³ Sin embargo, 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).⁴

2 9 septiembre, 2010 José A. García H. El Diario <http://www.inforural.com.mx/algodneros-dejan-en-abandono-el-valle/>

3 8 octubre, 2011 Carlos Hernández Martínez. El Pueblo de Chihuahua <http://www.inforural.com.mx/reclaman-productores-a-duarte-abandono-del-valle-de-juarez/>

4 23 abril, 2012 Orlando Chávez. El Diario de Juárez <http://www.inforural.com.mx/reclama-gobernador-a-estados-unidos-agua-para-el-valle/>

Pese a que la Conagua entregó concesiones de aguas nacionales,⁵ este beneficio no aplica en Ciudad Juárez, ya que 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 de agua, señaló Miguel Núñez Nava, jefe del Distrito de Riego 009. La Conagua tiene un registro aproximado de dos mil agricultores que trabajan alrededor de 71 mil hectáreas de riego en el Valle de Juárez que debido a la restricción del agua ven reducida su capacidad de producción hasta en un 50 %.⁶

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.⁷

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, menos llega 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 existían 40 usuarios de agua para el riego de 400 que existían en tiempos de bonanza, hace más de 10 años.⁸

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

6 24 abril, 2014 Francisco Chávez. El Diario de Juárez <http://www.inforural.com.mx/atados-agricultores-por-escasez-de-agua/>

7 5 octubre, 2011 El Diario de Chihuahua <http://www.inforural.com.mx/se-perdieron-por-sequia-600-hectareas-de-sembradio-en-el-valle/>

8 2 marzo, 2012 Beatriz Corral. NORTE DIGITAL <http://www.inforural.com.mx/piden-agricultores-del-valle-rehabilitacion-de-42-pozos/>

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.

Campeños juarenses dieron a conocer que en cada temporada registran pérdidas en su cosecha debido a que la sequía impacta en los procesos de cultivo, lo que a su vez se refleja en la caída 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.⁹ Lo que también los imposibilita a comprar el seguro de los cultivos en caso de desastres naturales, que con anterioridad contaban con subsidio del 40 %, pero desapareció por el recorte presupuestal de la Secretaría de Hacienda.¹⁰ Además, es importante destacar que la falta de proyectos gubernamentales de apoyo al campo mantiene a los agricultores limitados para aumentar sus cosechas mediante la tecnificación de la agricultura.

El panorama es muy cambiante para los productores del Valle de Juárez, ya que han indicado que debido a 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 pérdidas en los últimos años por la volatilidad del mercado, por ello hay que estar experimentando con nuevos cultivos que probablemente mantendrán su precio.¹¹

Es necesario tecnificar el campo para hacerlo más productivo y menos costoso para los agricultores; que se le inyecten más recursos, particularmente en el tema de modernización que permita que la producción se eleve y se traduzca en mejores beneficios económicos para quienes se dedican a esta actividad.

9 5 mayo, 2014 Francisco Chávez. El Diario <http://www.inforural.com.mx/forzados-a-vender-sus-tierras-los-agricultores-del-valle/>

10 8 mayo, 2014 Luis Torres. El Diario <http://www.inforural.com.mx/en-el-valle-visita-sagarpa-a-agricultores-afectados-por-granizo/>

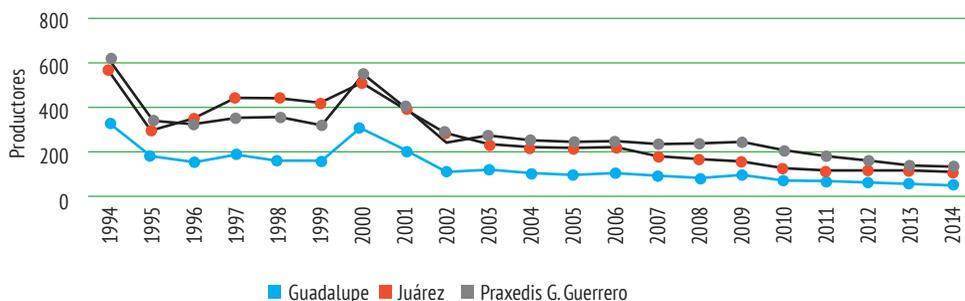
11 9 junio, 2015 Martín Coronado. El Diario <http://www.inforural.com.mx/volatilidad-de-precios-de-cosechas-le-pegan-al-valle/>

Financiamiento al campo

a) Procampo

Existen distintos 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 figura 9 se puede observar que al inicio del programa los beneficiados eran un número considerable, sin embargo, al año siguiente se ve 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 indicar que el programa no resultó ser lo más adecuado para los productores de la región.

FIGURA 9. 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 de apoyo a la agricultura la Sagarpa ofrecía un 50 % para la adquisición de sistemas fotovoltaicos, además Sagarpa y FIRCO daban un monto a productores agrícolas para la adquisición de distintos aparatos de energía renovable en el cual, durante el periodo de 2008 a 2014 se ayudó a 121 proyectos en el estado de Chihuahua con un monto total de inversión de 108 millones de pesos, desafortunadamente este programa ya no se encuentra activo.

b) 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 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).¹²

c) 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 ha generado un aumento persistente de la demanda energética. La naturaleza finita de los recursos ha obligado a buscar una mayor eficiencia en la producción y el uso de la energía, así como a 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 han creado 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 específicas para el aprovechamiento de energías renovables y detalla las estrategias y acciones para alcanzarlas.¹³ Además, se han proporcionado apoyos económicos para

12 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>

13 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)

tratar de impulsar la adquisición de tecnologías verdes con la intención de promover y aumentar la participación de estas en México y así 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 2015 a través del programa de fomento a la agricultura en el componente de bioenergía y sustentabilidad,¹⁴ en el cual 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 durante el periodo de 2008-2014 apoyó un total de 2359 proyectos de energía renovable para el campo en todo el país, en donde 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, 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 (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 el 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.

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

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 Juarez, Chih.: Banco de Desarrollo de América del Norte. Recuperado en 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/>
- 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. Recuperado en <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. Recuperado en <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/>

ANÁLISIS DEL RECURSO SOLAR

*Rodolfo Antonio Tejada Guevara,
Carlos Antonio Martínez López, Andrea Morales Sáenz*

OBJETIVO: Identificar las fuentes de datos meteorológicos de la región y analizar las variables que impactan en el aprovechamiento de la tecnología fotovoltaica para generación de energía eléctrica en el Valle de Juárez.

META: Diagnóstico de generación de energía eléctrica con base en el potencial solar del Valle de Juárez

ACTIVIDADES: Minería de datos, visitas de campo, solicitud y gestión de datos ante instituciones y dependencias, análisis y evaluación de datos de estaciones meteorológicas.

INTRODUCCIÓN

México recibe cantidades importantes de radiación solar en todo su territorio. Por lo tanto, el país tiene un gran potencial para aplicaciones de energía solar. En particular, la radiación solar de alta calidad está disponible principalmente, pero no exclusivamente, en los estados del norte y noroeste: Chihuahua, Baja California, Sonora, pero también hay otras partes del territorio (Arancibia-Bulnes *et al.*, 2013).

En la actualidad, cobra gran importancia el estudio acerca del aprovechamiento de la energía solar como fuente de energía alternativa, ya que es una fuente limpia, probablemente inagotable y de bajo costo a largo plazo (Chacón, Cely, & Guerreiro, 2008). Por esto, es clave proporcionar una evaluación precisa del recurso solar en la región de estudio y para ello es necesario contar con acceso a datos de estaciones meteorológicas automáticas. En los últimos años, el

uso de Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA) ha experimentado un incremento significativo, la Organización Mundial Meteorológica las define como “las estaciones en las cuales las observaciones son realizadas y transmitidas automáticamente” (Bella, 2010).

El Valle de Juárez es una zona agrícola de Chihuahua que abarca los municipios de Juárez, Praxedis G. Guerrero y Guadalupe. Se ubica al norte del estado de Chihuahua; está delimitada al norte y noroeste por el río Bravo como línea internacional entre México y Estados Unidos (Carrera, 2012). Tiene una longitud de 150 km y un ancho promedio de 6 km, con una superficie aproximada de 22 000 hectáreas. Inicia al oriente de Ciudad Juárez y termina en el extremo este del ejido Cajoncitos (Cocef, 2015).

La irradiación global solar de una región como en este caso el Valle de Juárez, depende de la irradiación directa del sol, así como la reflejada por las superficies y esta depende en gran medida de los materiales de la zona, en el caso de la región agrícola, se cuenta con una menor tasa de pavimento, edificios que se consideran como superficies reflectantes.

De acuerdo con la información presentada, se realizó una referenciación de los datos meteorológicos disponibles en la región para caracterizar la irradiación solar del Valle de Juárez, para lo anterior es importante considerar que la región de estudio está compuesta por tres municipios y resulta necesario revisar y evaluar los datos de las fuentes de información meteorológica disponible.

El propósito de este trabajo es presentar un análisis de las variables meteorológicas que influyen en el aprovechamiento de la energía fotovoltaica en la región del Valle de Juárez.

METODOLOGÍA

Para determinar la irradiación se tomaron como referencia tres estaciones meteorológicas automáticas de instituciones públicas como la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ), la Comisión Nacional del Agua (Conagua) y la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

En el caso de la UACJ y la CFE, los datos no cuentan con acceso a través de la web, no obstante, la Conagua tiene una página para el acceso a los datos, actualmente presenta datos históricos capturados cada 10 minutos desde el mes de febrero de 2016. Se tuvo acceso a datos de la estación meteorológica de la UACJ a través de un

oficio emitido por parte del El Colegio de Chihuahua (El Colech) y se solicitaron los datos a la CFE a través de la Zona de Operación Juárez.

La base de datos de la Conagua presentó inconsistencias en cuanto a la sincronización, ya que los horarios presentados no corresponden a los niveles de irradiación, por lo que es necesario adecuarlos y se partió de los datos de las demás estaciones meteorológicas para ajustar los horarios e irradiancia; una vez realizados los ajustes a la base de datos, se procedió con el proceso de integración numérica a través de la metodología de integración de la regla trapezoidal, ya que las cifras de irradiancia presentadas son instantáneas tomadas cada 10 minutos, esta información expresada en potencia por unidad de área, en watts por metro cuadrado (W/m^2) al ser integrada en función del tiempo, permite obtener la energía por unidad de área en un tiempo determinado, comúnmente en una hora, obteniendo así el valor de energía disponible por metro cuadrado durante un día.

Con el fin de evaluar la calidad de los datos obtenidos, se tomaron como referencia los datos de un mes de cada estación meteorológica, para lo cual se seleccionó el mes de abril de 2016 para integrar los datos.

Además se utilizó un *software* de simulación fotovoltaica. Estos programas son específicamente diseñados para aplicaciones fotovoltaicas y algunos incluyen características adicionales de simulación de energía renovable. Se realizó una búsqueda para elegir el *software* de simulación fotovoltaica. Los *softwares* de simulación identificados fueron evaluados de acuerdo con los siguientes criterios generales:

1. Costo
2. Plataforma o sistema operativo
3. Capacidades
4. Conexión a bases de datos

El modelado y el análisis de simulación es cada vez más popular en los procesos de investigación, la simulación tiene una gran cantidad de aplicaciones. Los avances recientes en las metodologías de simulación, la disponibilidad de *software* y los desarrollos técnicos han hecho de la simulación una de las herramientas más utilizadas y aceptadas en el análisis de sistemas y la investigación. Por lo tanto, el mercado contiene un número cada vez mayor de productos de *software*

de simulación. En el campo de sistemas solares fotovoltaicos existe una gran cantidad de *software* y con aplicaciones definidas para cada tipo de sistemas.

En la tabla 7 se pueden identificar algunos de los principales *software* de análisis de sistemas solares fotovoltaicos, RETScreen, NREL Solar Advisor Model, HOMER, PVSOL Expert, Valentin Software.

TABLA 7. EJEMPLOS DE SOFTWARE PARA EL ANÁLISIS DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS.

| Nombre | Desarrollador | Costo de licencia | Página web |
|---------------------|----------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| RETScreen | Natural Resources Canada | \$ 869 Dlls. | http://www.nrcan.gc.ca |
| Solar Advisor Model | NREL (National Renewable Laboratories) | Gratis | https://sam.nrel.gov/ |
| HOMER | HOMER Energy | \$1,500-4,500 Dlls | www.homerenergy.com/ |
| PVSOL Expert | Valentin Software | 895 Euros | http://www.valentin-software.com/ |

FUENTE: Elaboración propia.

El *software* de gestión de energías limpias RETScreen (generalmente abreviado como RETScreen) es un paquete de programas de energías limpias desarrollado por el gobierno de Canadá. El *software* se ofrece en 36 lenguas diferentes incluyendo el idioma español.

El *software* posibilita la identificación exhaustiva, la evaluación y la optimización de la viabilidad técnica y financiera de proyectos potenciales de energía renovable y de eficiencia energética; igualmente, permite la medición y verificación del rendimiento de instalaciones, así como la identificación de oportunidades de ahorros/producción energética.

RETScreen cuenta con varias bases de datos a disposición de los usuarios, entre ellas: una de condiciones climáticas obtenida de 6700 estaciones terrestres y de datos satelitales de la NASA; una de comparación; otra de proyectos; una de información hidrológica; y, de producto.

A diferencia de los demás *softwares*, RETScreen tiene acceso a la base de datos meteorológicos de la NASA y en especial a la estación meteorológica de Fort Hancock, en Estados Unidos, ubicada en frontera con la población mexicana de El Porvenir, que es el área geográfica de estudio, por lo que se decide el uso de dicho *software* para acceder a los datos meteorológicos.

RESULTADOS

De acuerdo con los datos recabados en las estaciones meteorológicas de la CFE, UACJ y Conagua que se presentan en la tabla 8, se observan los resultados diarios obtenidos de irradiación, así como la irradiación evaluada para el mes de abril de 2016.

**TABLA 8. IRRADIANCIA ACUMULADA DIARIA Y TOTAL
PARA EL MES DE ABRIL DE PRAXEDIS G. GUERRERO.**

| Mes | Día | CONAGUA | UACJ | CFE |
|------------|-----|---------|-------|--------|
| Abril 2016 | 1 | 226.2 | 225.0 | 222.00 |
| | 2 | 230.5 | 225.3 | 221.90 |
| | 3 | 207.3 | 201.9 | 204.88 |
| | 4 | 219.3 | 213.9 | 209.41 |
| | 5 | 181.1 | 172.4 | 167.70 |
| | 6 | 188.6 | 165.1 | 151.44 |
| | 7 | 187.9 | 193.3 | 186.31 |
| | 8 | 148.1 | 139.5 | 136.66 |
| | 9 | 228.1 | 221.0 | 211.45 |
| | 10 | 250.7 | 238.5 | 235.11 |
| | 11 | 184.3 | 236.4 | 226.49 |
| | 12 | 223.6 | 232.0 | 224.90 |
| | 13 | 256.4 | 247.6 | 238.66 |
| | 14 | 251.6 | 243.8 | 229.32 |
| | 15 | 255.1 | 249.9 | 238.79 |
| | 16 | 252.5 | 249.6 | 238.21 |
| | 17 | 257.0 | 252.7 | 241.41 |
| | 18 | 263.5 | 255.3 | 245.85 |
| | 19 | 257.7 | 244.1 | 238.14 |
| | 20 | 260.5 | 249.0 | 236.18 |
| | 21 | 262.1 | 253.1 | 244.65 |
| | 22 | 230.8 | 243.6 | 231.12 |
| | 23 | 246.8 | 233.4 | 238.99 |
| | 24 | 264.1 | 255.2 | 254.44 |
| | 25 | 263.1 | 260.4 | 255.03 |
| | 26 | 261.6 | 260.0 | 253.93 |
| | 27 | 277.2 | 264.6 | 254.69 |

Continúa...

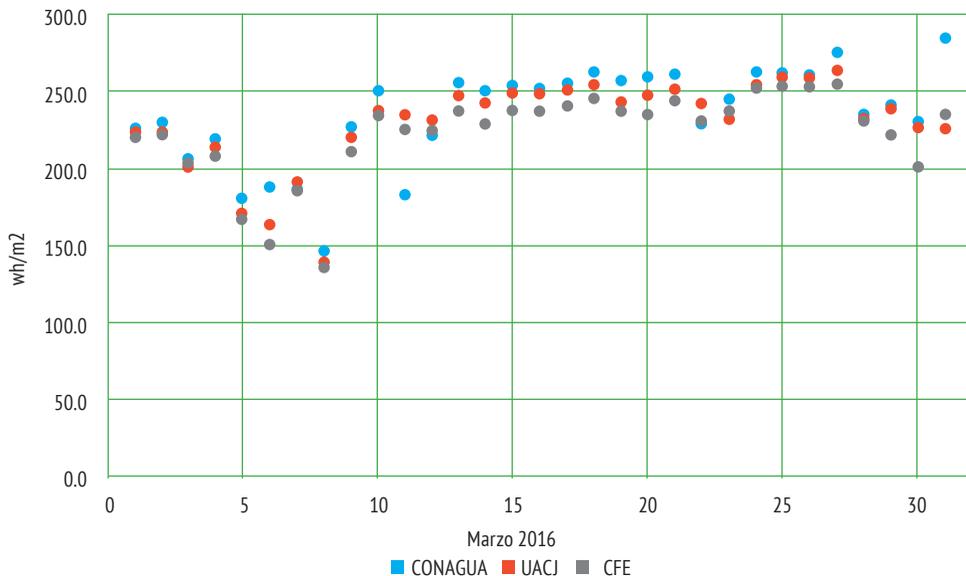
| Mes | Día | CONAGUA | UACJ | CFE |
|--------------|-----|-------------|-------------|-------------|
| | 28 | 236.0 | 233.6 | 231.82 |
| | 29 | 241.2 | 240.3 | 222.65 |
| | 30 | 231.7 | 227.4 | 201.99 |
| Total | | 7.04 | 6.93 | 6.69 |

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

FUENTE: Elaboración propia con datos de CFE, CNA y UACJ.

Se graficaron los datos presentados en la tabla 8 para evaluar su comportamiento correlacionado entre sí (figura 10).

FIGURA 10. GRÁFICO DE DISPERSIÓN DE DATOS DE IRRADIANCIA DIARIO DEL MES DE ABRIL DE 2016 PARA PRAXEDIS G. GUERRERO.



FUENTE: Elaboración propia.

TABLA 9. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE IRRADIANCIAS OBTENIDAS DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS PARA EL VALLE DE JUÁREZ.

| | CONAGUA | UACJ | CFE |
|---------|---------|--------|-----|
| Conagua | 1 | | |
| UACJ | 0.9147 | 1 | |
| CFE | 0.9025 | 0.9788 | 1 |

FUENTE: Elaboración propia.

En la figura 10 se puede identificar que en el gráfico los datos de la estación meteorológica de la Conagua presentan una mayor dispersión que las de la UACJ y la CFE, y del análisis de correlación se observa una consistencia de datos entre las estaciones de la UACJ y CFE.

Por otro lado, los datos presentados por el *software* RETScreen® a través de información histórica de la NASA son consistentes con los valores de irradiancia obtenidos a través de las estaciones meteorológicas de la región, ya que de acuerdo a los datos históricos que presenta el *software*, la irradiancia en el mes de abril es de 7.09 KWh/m² (tabla 10).

TABLA 10. DATOS METEOROLÓGICOS DE LA NASA A TRAVÉS DEL SOFTWARE RETSCREEN® PARA LA ZONA CERCANA A PRAXEDIS G. GUERRERO.

| Unidad | | Ubicación de datos meteorológicos | | | Localización de la instalación | | |
|----------------|----------------------|-----------------------------------|---------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------|-----------------------|
| Latitud | | 31.8 | | | 31.7 | | |
| Longitud | | -106.4 | | | -106.5 | | |
| Zona climática | | 38 Templado-seco | | | | | |
| Elevación | m | 1194 | | | 1155 | | |
| Mes | Temperatura del aire | Humedad relativa | Precipitación | Radiación solar diaria horizontal | Presión atmosférica | Velocidad del viento | Temperatura del suelo |
| | °C | % | mm | kWh/m ² /d | kPa | m/s | °C |
| Enero | 7.4 | 47.4 | 10.32 | 3.47 | 88.4 | 3.3 | 5.8 |
| Febrero | 10.2 | 41.8 | 13.36 | 4.54 | 88.3 | 3.6 | 9.5 |
| Marzo | 14.1 | 33.2 | 11.19 | 5.86 | 88 | 4.2 | 15.1 |

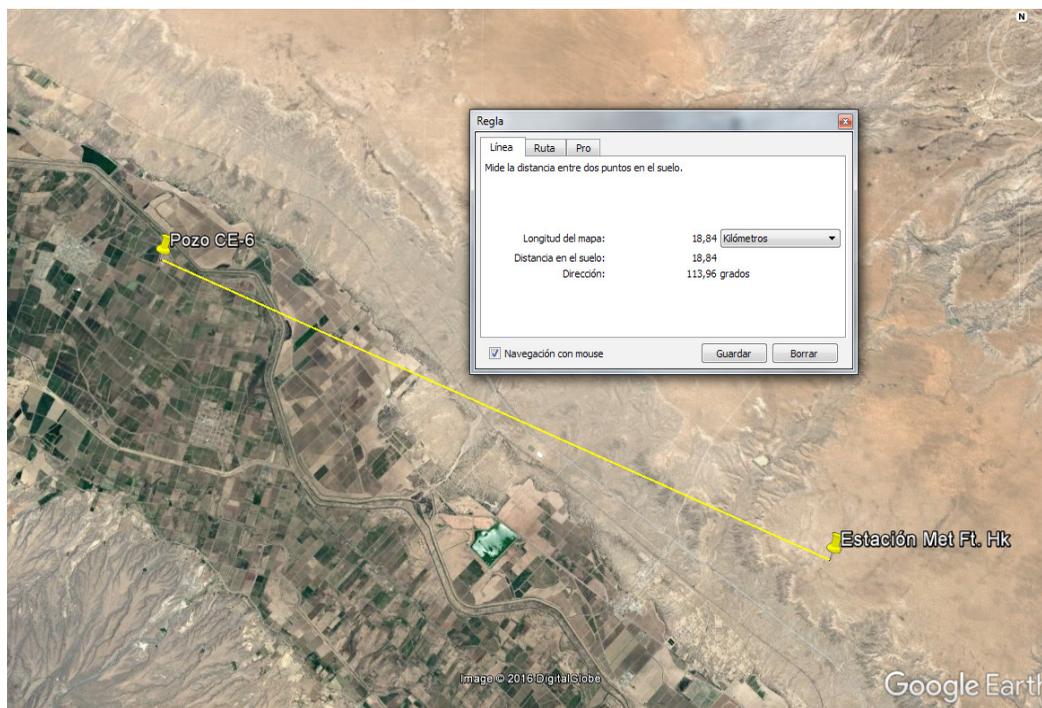
Continúa...

| | Unidad | Ubicación de datos meteorológicos | | | Localización de la instalación | | |
|------------|--------|-----------------------------------|--------|------|--------------------------------|-----|------|
| Abril | 18.8 | 27.1 | 7.82 | 7.09 | 88 | 4.5 | 20.7 |
| Mayo | 24.1 | 26.9 | 8.53 | 7.83 | 88 | 4.2 | 26 |
| Junio | 28 | 31.2 | 19.93 | 8.03 | 88 | 3.7 | 29.8 |
| Julio | 28.1 | 43.5 | 56.02 | 7.36 | 88.3 | 3.4 | 28.7 |
| Agosto | 27 | 49.5 | 45.25 | 6.76 | 88.3 | 3 | 26.8 |
| Septiembre | 24.2 | 47.6 | 25.24 | 5.87 | 88.3 | 3 | 24.1 |
| Octubre | 18.4 | 46.8 | 24.39 | 4.93 | 88.4 | 3.1 | 18.5 |
| Noviembre | 11.7 | 45.3 | 15.69 | 3.8 | 88.4 | 3.3 | 10.9 |
| Diciembre | 6.9 | 50.8 | 11.89 | 3.21 | 88.4 | 3.1 | 5.5 |
| Anual | 18.3 | 41 | 249.64 | 5.73 | 88.2 | 3.5 | 18.5 |

FUENTE: RETScreen®

Con base en los datos de georreferenciación de los datos meteorológicos ubicados en la población de Fort Hancock, Texas, se puede observar que son la mejor referencia para la región de estudio, ubicándose a una distancia de aproximadamente 19 km, la otra referencia más próxima que toman en cuenta otros *softwares* es la estación meteorológica del aeropuerto de El Paso, Texas, aproximadamente a 65 km de la región de estudio (figura 11).

FIGURA 11. UBICACIÓN Y DISTANCIA DEL POZO CE-6 RESPECTO A LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE FORT HANCOCK.



FUENTE: Gogle Earth®

El *software* RETScreen permite diseñar un sistema fotovoltaico incluyendo su equipamiento principal como lo son los paneles fotovoltaicos y el inversor, considerando datos típicos de pérdidas en el sistema, también cuenta con una amplia base de datos de los paneles comerciales, abarcando sus características técnicas que permiten hacer una evaluación completa considerando la irradiación anual integrada y nos proporciona el resultado de energía disponible.

En este caso se evaluó la energía generada por un panel fotovoltaico marca Yingli, fabricado de silicio monocristalino, de 260 watts y con una eficiencia del 15.92 %. Al realizar la proyección de energía anual generada, nos indica que un panel de estas características ubicado en las coordenadas latitud 31.7 y longitud -106.5 que es la región de estudio en el Valle de Juárez, permite generar 468 kWh/año (tabla 11).

TABLA 11. RESULTADOS DE ENERGÍA GENERADA POR SIMULACIÓN DE UN PANEL FOTOVOLTAICO DE 260 WATTS.

| Fotovoltaico | | |
|----------------------------------------|----------------|--------------------------|
| Tipo | | Silicio monocristalino |
| Capacidad de generación eléctrica | kW | 0.26 |
| Fabricante | | Yingli solar |
| Modelo | | mono-Si-Panda-YL260C-30b |
| Número de unidades | | 1 |
| Eficiencia | % | 15.92% |
| Temperatura de operación de las celdas | C | 45 |
| Coefficiente de temperatura | %/C | 0.40% |
| Área del colector solar | m ² | 1.6 |
| Pérdidas varias | % | 2% |
| Inversor | | |
| Eficiencia | % | 96% |
| Capacidad | kW | 0.26 |
| Pérdidas varias | % | 2% |
| Resumen | | |
| Factor de planta | % | 20.50% |
| Energía eléctrica generada | kWh/Año | 468 |

FUENTE: RETScreen®

El simulador en línea PVWATTS (<http://pvwatts.nrel.gov/>) permite realizar una evaluación de sistemas fotovoltaicos, proporcionando datos básicos como la ubicación de la instalación basado en los datos meteorológicos disponibles. Para la región de estudio en el Valle de Juárez, la referencia más cercana es la estación meteorológica del aeropuerto de El Paso, Texas (65 km), otro dato de entrada es la capacidad del sistema fotovoltaico y para realizar la comparación con el caso evaluado con RETScreen, se selecciona una capacidad de 0.26 KW que corresponde a un panel comercial de 260 watts. La herramienta considera valores típicos de pérdidas en el proceso de conversión de energía de corriente directa a corriente alterna, así como pérdidas en conducción.

Al realizar la simulación se obtienen los datos que se presentan en la tabla 12.

TABLA 12. RESULTADOS DE ENERGÍA GENERADA POR SIMULACIÓN DE UN PANEL FOTOVOLTAICO DE 260 WATTS EVALUADO CON PVWATTS.

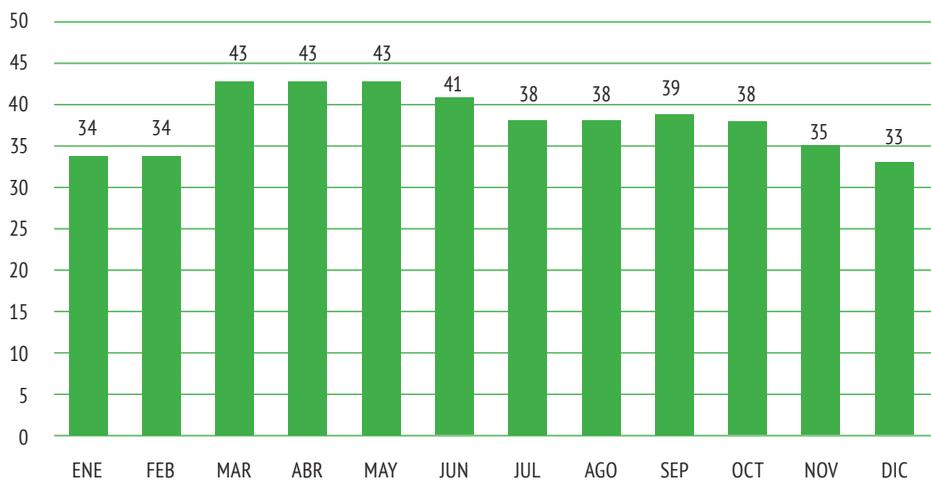
| Mes | Irradiación solar | Energía (corriente alterna) |
|------------|-------------------------|-----------------------------|
| | kWh/m ² /día | kWh |
| Enero | 5.25 | 34 |
| Febrero | 5.93 | 34 |
| Marzo | 6.79 | 43 |
| Abril | 7.34 | 43 |
| Mayo | 4.23 | 43 |
| Junio | 7.24 | 41 |
| Julio | 6.46 | 38 |
| Agosto | 6.57 | 38 |
| Septiembre | 6.95 | 39 |
| Octubre | 6.18 | 38 |
| Noviembre | 5.8 | 35 |
| Diciembre | 5.16 | 33 |
| Anual | 6.41 | 459 |

FUENTE: PVWATTS®, <http://pvwatts.nrel.gov/>

Se realizó una simulación adicional con el *software* System Advisor Model de NREL (National Renewable Laboratories) en este caso el *software* toma como referencia la misma base de datos que PVWATTS con base en la estación meteorológica del aeropuerto de El Paso, Texas y se considera un panel fotovoltaico de 260 watts (figura 12).

En este caso se obtiene un resultado de producción de energía anual de 460 watts, dicho valor es el mismo que emitió como resultado PVWATTS y solo se tiene una desviación del 1.7 % menor con respecto a la evaluación realizada con los datos meteorológicos de la estación de Fort Hancock.

FIGURA 12. RESULTADOS DE ENERGÍA GENERADA POR SIMULACIÓN DE UN PANEL FOTOVOLTAICO DE 260 WATTS EVALUADO CON SAM (SYSTEM ADVISORY MODEL).



FUENTE: SAM®, <https://sam.nrel.gov/>

REFERENCIAS

- Arancibia-Bulnes, C. A., Peón-Anaya, R., Riveros-Rosas, D., Quiñones, J. J., Cabanillas, R. E., & Estrada, C. A. (2013). Beam solar irradiation assessment for Sonora, Mexico. *Energy Procedia*, 49, 2290–2296. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.03.242>
- Bella, D. I. (2010). Comparación entre observaciones meteorológicas obtenidas de estaciones convencionales y automáticas a partir de la estimación de parámetros estadísticos, (1712), 58–67.
- Carrera, B. (2012). El PROCAMPO y el Valle de Juárez. *Revista Fuente*, (10), 14-30.
- Chacón Cardona, C. A., Cely, Ó. E., & Guerreo, F. (2008). Diseño y construcción de un medidor de radiación solar. *Revista Tecnura*, 23(12). Recuperado en <http://tecnura.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revista/article/view/257>
- COCEF. (2015). *Evaluación del Impacto de la Infraestructura de Saneamiento Básico en Comunidades del Valle de Juárez*. Ciudad Juárez, Chih.: Banco de Desarrollo de América del Norte. Recuperado en http://www.cocef.org/uploads/files/evaluacin_impacto_valle_de_juarez_-_final_-_junio_16_2015_esp..pdf

ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA

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

OBJETIVO: En este segmento del reporte de investigación se planteó como principal objetivo realizar un análisis de los potenciales hidrogeológicos e hidrogeoquímicos en el acuífero del Bolsón del Hueco de la Región Hidrológica 24 (RH24) en su segmento de la localidad en cuestión, específicamente en la localidad identificada como colonia Esperanza, en el Valle de Juárez.

META: La meta que se planteó en el estudio se centró en identificar las propiedades hidrogeológicas e hidrogeoquímicas del acuífero del Bolsón del Hueco en la zona de interés particular en el estudio. Con este análisis se definió caracterizar las propiedades físicas del medio acuífero que permitieran aportar al conocimiento básico geohidrológico para complementar el conocimiento general del acuífero.

ACTIVIDADES: Dentro de las principales actividades, se destaca que se desarrolló una revisión bibliográfica referente a estudios preliminares realizados en la zona de interés para plantear el contexto del estudio y se integraron las principales bases de datos en formato geoespacial para definir la localización geográfica de los puntos de muestreo. De igual manera, se realizó trabajo de campo en el cual se midieron propiedades hidrogeológicas del acuífero en diversos puntos de muestreo, y adicionalmente se tomaron muestras de agua que fueron procesadas para obtener varios parámetros de la calidad química del agua. Algunos de estos parámetros se calcularon en el punto de muestreo con equipo que se llevó al lugar del muestreo, y otros se calcularon en laboratorio. Así también, el equipo de hidrogeólogos se avocó a recolectar los datos para la generación de

niveles piezométricos referentes a la profundidad del nivel estático y dinámico del agua subterránea. Posteriormente a los trabajos de campo, se hicieron los trabajos de escritorio recolectando toda la información y procesando los resultados de dichas pruebas para complementar en la caracterización del acuífero en el punto de interés.

INTRODUCCIÓN

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. En la parte administrativa dependió por muchos años del Municipio de Juárez, hasta que se decretó su 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 $31^{\circ} 12'$, longitud $106^{\circ} 01'$ 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 13).

FIGURA 13. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA LOCALIDAD DE PRAXEDIS G. GUERRERO Y DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.



FUENTE: Elaboración propia.

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 Huevo) 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 extrae 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 compuesto 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 hidroestratigráficas, 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.

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 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 con una cinta métrica se miden 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 14)

FIGURA 14. 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 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 17). En este procedimiento se genera del nivel estático en un principio localizado en una serie de puntos (al menos tres), para luego 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 solo 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 generar un raster de salida, con lo que se crearon 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.

Para el análisis de calidad del agua 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 fueron recogidas. 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. Se graficaron las muestras conforme a los resultados obtenidos utilizando el *software* HatariChem en línea para los diagramas Piper y Stiff.

Los trabajos de campo estuvieron 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 15).

FIGURA 15. EQUIPO DE TRABAJO MULTIDISCIPLINARIO-INTERINSTITUCIONAL.



FOTOGRAFÍA tomada en el trabajo de campo.

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 16). El resto de los parámetros se corrieron en el laboratorio bajo condiciones controladas para el control de calidad en el análisis.

FIGURA 16. ANÁLISIS QUÍMICO DE MUESTRAS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL VALLE DE JUÁREZ.



RESULTADOS

Los datos de localización geográfica se presentan en la tabla 13, 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 con anterioridad. En la tabla 13 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 los datos propios de la identificación oficial de la cuenca.

TABLA 13. REGISTRO PÚBLICO DE DERECHOS DE AGUA DE POZOS EVALUADOS (REPDA-CNA).

| Pozo | Anexo | Volumen (m ³ /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 - BRAVO-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 - BRAVO-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 - BRAVO-CONCHOS | 5 | 33 - VALLE DE JUÁREZ | 0833 - VALLE DE JUÁREZ | 31°17'35.00" | -105°57'29.00" |

FUENTE: CNA, 2017.

En la tabla 14 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 14. 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 |

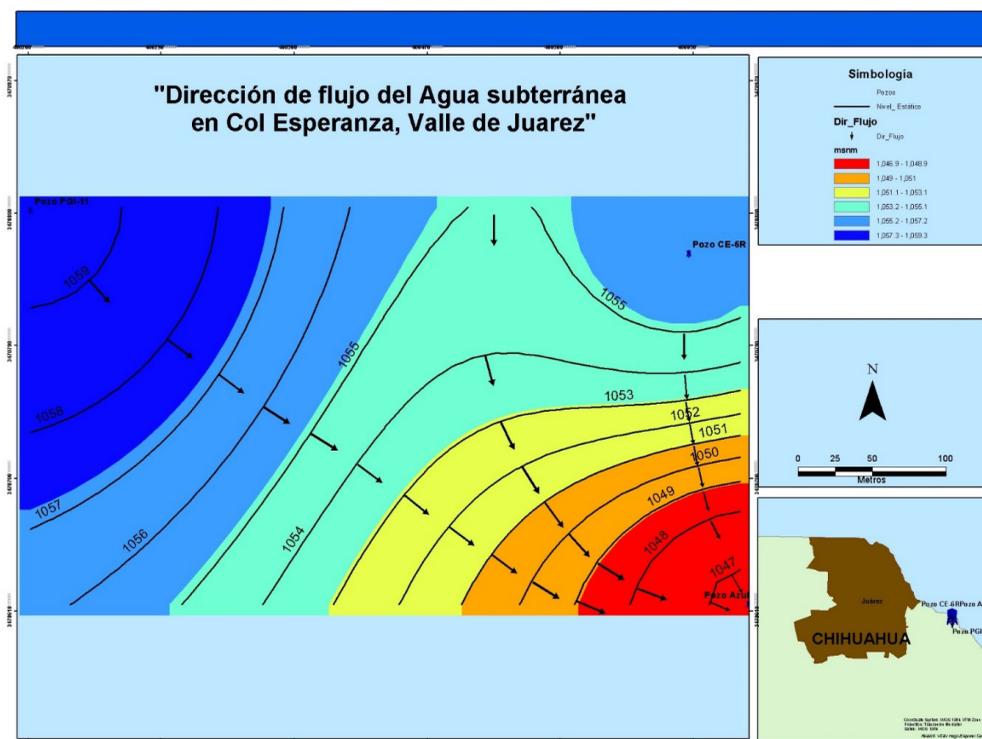
FUENTE: Elaboración propia con datos del trabajo de campo.

Se destaca de los valores de la tabla 14, 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 representativo de las condiciones hidroestratigráficas publicadas en otros trabajos de investigación documentados previamente. En la figura 17 se puede apreciar la dirección del flujo de agua subterránea en condiciones naturales de niveles estáticos.

FIGURA 17. DIRECCIÓN DEL FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA ZONA DE ESTUDIO.

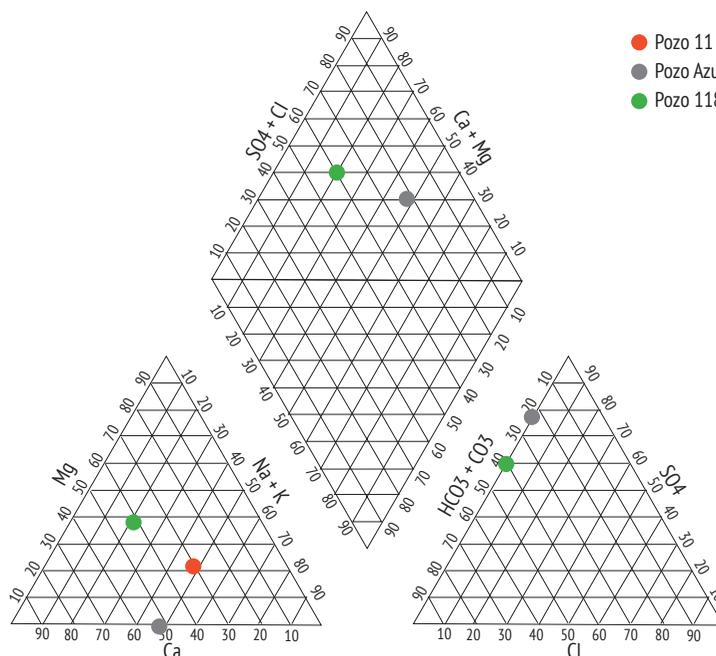


FUENTE: Elaboración propia con los datos de campo.

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 perpendicular a las mismas. De esta manera es posible trazar indicadores que definen el sentido del flujo.

El análisis de calidad del agua se obtuvo con los resultados arrojados por el diagrama Piper que se muestra a continuación y fue utilizado para determinar las diferentes familias de aguas existentes en la región de estudio (figura 18).

FIGURA 18. DIAGRAMA PIPER REPRESENTATIVO DE LAS FAMILIAS DE AGUA EN POZOS ANALIZADOS EN EL ESTUDIO.



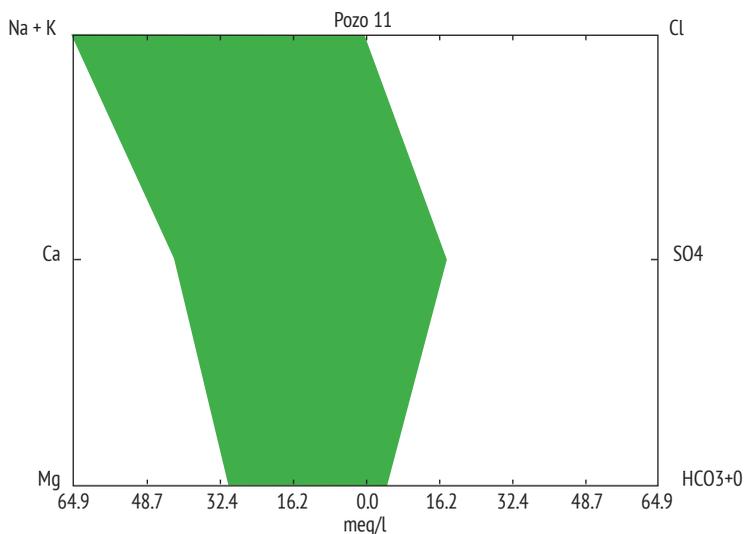
FUENTE: Elaboración propia.

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 13). Por el contrario, tenemos el “pozo 118” el cual representa otro tipo de familia, la Sulfatada-Magnésica-Cálcica y en donde de igual forma, su 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 las cuales 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:

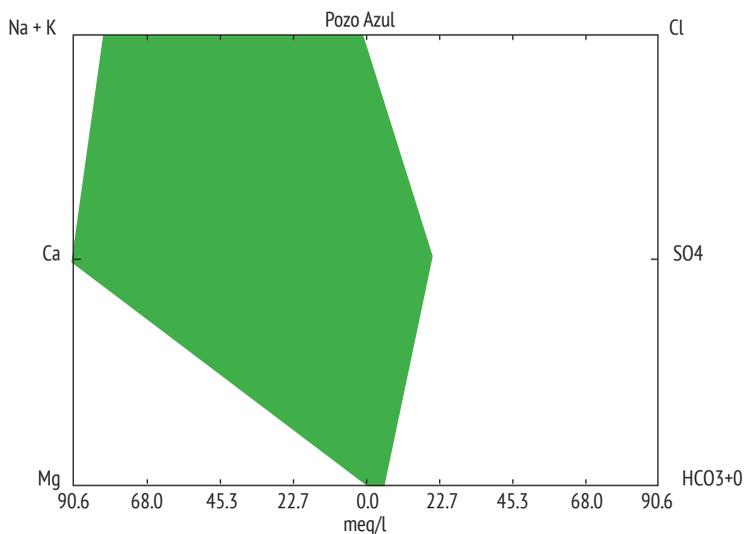
El “pozo 11” tiene una alta concentración del sodio, se presenta agua con un alto grado de dureza total teniendo calcio y magnesio, pero aun así, sigue siendo predominante el sodio, arrojando un resultado ya esperado, el cual indica que el agua es muy salada. Asimismo, el “pozo azul” tiene una presencia alta de sodio y calcio, siguiendo una línea de tendencia muy similar al “pozo 11” (figura 19 y 20).

FIGURA 19. DIAGRAMA DE STIFF RESULTADO DEL ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA EN EL POZO 11.



FUENTE: Elaboración propia.

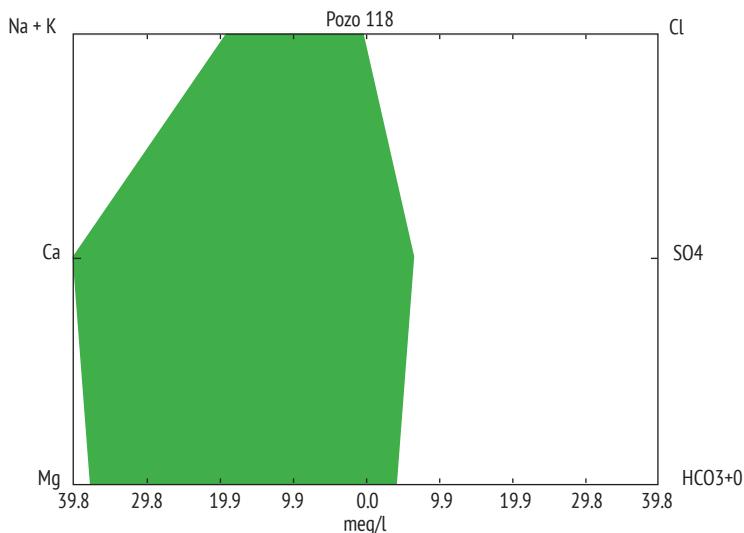
FIGURA 20. DIAGRAMA DE STIFF RESULTADO DEL ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA EN EL POZO AZUL.



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 21).

FIGURA 21. DIAGRAMA DE STIFF RESULTADO DEL ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA EN EL POZO 118.

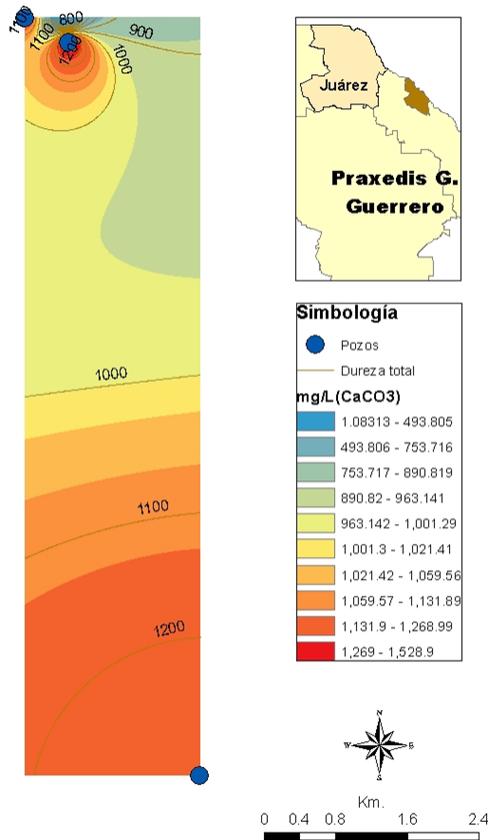


FUENTE: Elaboración propia.

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.

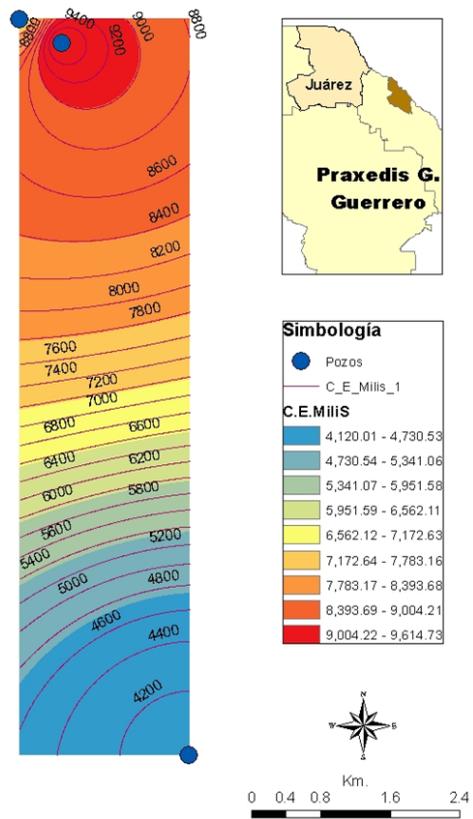
La dureza total es la suma de las especies catiónicas del Ca^+ y el Mg^+ , en este estudio se obtuvieron altas concentraciones de dureza, por lo tanto existe la presencia de sales de calcio y magnesio. Por las cantidades obtenidas, estas muestras se clasifican como agua “muy dura” (figura 22). La OMS no recomienda la presencia de dureza en cantidades mayores a 170 mg de CaCO_3 debido a que se pueden presentar problemas cardiovasculares.

FIGURA 22. LÍNEAS DE EQUIPOTENCIALES DE CALIDAD DEL AGUA EN REFERENCIA A LA DUREZA (CaCO₃).



FUENTE: Elaboración propia.

FIGURA 23. LÍNEAS DE EQUIPOTENCIALES DE CALIDAD DEL AGUA EN REFERENCIA A LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE).



FUENTE: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos en las muestras fueron:

- Pozo 11 1210 (mg/L CaCO₃)
- Pozo azul 1530 (mg/L CaCO₃)
- Pozo 118 1240 (mg/L CaCO₃)

Todas ellas rebasando el límite máximo permisible que es de 500 (mg/L CaCO₃) 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 contendrá muchas sales disueltas (ver figura 23).

ANÁLISIS DEL CONSUMO ELÉCTRICO

*Rodolfo Antonio Tejeda Guevara,
Carlos Antonio Martínez López, Andrea Morales Sáenz*

OBJETIVO: Diagnóstico sobre el uso de la energía en el sector agrícola del Valle de Juárez.

META: Análisis del comportamiento del consumo anual de usuarios agrícolas en el Valle de Juárez y propuesta de interconexión de sistema fotovoltaico para suministro de energía eléctrica.

ACTIVIDADES: Visitas de campo, minería de datos del Inegi, CFE, elaboración de análisis de recurso solar y propuesta de sistema fotovoltaico.

INTRODUCCIÓN

El acceso a la energía eléctrica ha sido una preocupación permanente en los países en vías de desarrollo, al ser una herramienta clave para su progreso económico, social y humano para las localidades rurales que han visto restringidas sus posibilidades de desarrollo equitativo por falta de oportunidades económicas y sociales derivadas del limitado acceso a la electricidad.

Sin duda, la electrificación rural genera sinergias positivas en torno a la creación de actividades industriales de base agrícola en las zonas rurales. A partir de su uso, se contribuye a la reducción de la pobreza, ya que basados en una mayor potencia y energía eléctrica es posible mejorar y diversificar la producción.

METODOLOGÍA

Se analiza el consumo de energía de la región de estudio con base en minería de datos del Inegi y el consumo de tres sistemas de extracción y bombeo de agua de uso agrícola del Valle de Juárez, para posteriormente realizar una estimación del consumo energético anual y evaluación del sistema fotovoltaico necesario.

RESULTADOS Y/O PRODUCTOS

De acuerdo al censo de población y vivienda del Inegi, en el año 2010 la población del Valle de Juárez cuenta con un 98 % de cobertura de acceso a la electricidad, ya que de las 2712 viviendas particulares habitadas, 2672 disponen de luz eléctrica.

TABLA 15. 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.

Por otro lado, el Inegi en su anuario estadístico de 2006 indica que una proporción de aproximadamente el 3.5 % de los usuarios son del tipo agrícola.

TABLA 16. 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.

Los datos del Inegi indican que aun y cuando el porcentaje de servicios de bombeo para riego agrícola que son del 3.5 % de acuerdo a la tabla 15, en la tabla 16 se observa que estos representan el 16 % del consumo de energía correspondiente a 1603 MWh.

Cálculo de emisiones de CO2 por consumo de energía en bombeo agrícola

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, que 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.

$$\text{Emisiones de CO2} = Fe \times MWh$$

$$\text{Emisiones de CO2} = \left(0.458 \text{ Ton} \frac{\text{CO2}}{\text{MWh}}\right) (1603 \text{ MWh}) = 734.17 \text{ Ton CO2}$$

Cálculo de emisiones de CO2 por consumo de energía en bombeo agrícola.

Como resultante del cálculo, se observa que el consumo de energía por concepto de bombeo para riego agrícola implica 734 toneladas de emisiones de CO2 a la atmósfera anualmente en la población de Praxedis G. Guerrero.

Durante una visita de campo se realizó un muestreo de pozos en operación en el poblado de Praxedis G. Guerrero, encontrando que el sistema de riego que se utiliza de manera generalizada es a través de canales y que los sistemas de bombeo de agua, se emplean para verter el agua hacia los canales para el módulo de riego número 3.

TABLA 17. UNIDADES DE PRODUCCIÓN CON SUPERFICIE DE RIEGO, SEGÚN EL SISTEMA DE IRRIGACIÓN UTILIZADO.

| Municipio | Unidades de producción | Sistema de riego utilizado | | | | | |
|----------------------|------------------------|----------------------------|-------------------|-----------|----------------|-------|------|
| | | Canales recubiertos | Canales de tierra | Aspersión | Microaspersión | Goteo | Otro |
| Praxedis G. Guerrero | 285 | 249 | 255 | 1 | 0 | 0 | 43 |

FUENTE: Elaboración propia.

FIGURA 24. SISTEMA DE RIEGO DE CANALES RECUBIERTOS.



FIGURA 25. SISTEMA DE RIEGO DE CANALES DE TIERRA.



FOTOGRAFÍAS tomadas en campo.

Evaluación de consumo de energía en pozos del Valle de Juárez

Como parte de este trabajo se tuvieron visitas de campo en las que se realizó un muestreo del consumo de energía de cuatro pozos en la región de Praxedis G. Guerrero y se elaboró una cédula con las características técnicas del equipamiento. El muestreo se hizo a través de un equipo de monitoreo de energía marca Amprobe, modelo DM-III.

TABLA 18. CÉDULA DE DATOS DE POZO PG-11.

| ID Instalación | Pozo PG-11 |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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., multivoltaje 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 un gasto de 55 litros por segundo, profundidad 46.6 metros. |

FUENTE: Elaboración propia con datos de placa de equipo.

TABLA 20. CÉDULA DE DATOS DE POZO CE-6.

| ID Instalación | Pozo CE-6 |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Municipio | Praxedis G. Guerrero |
| Estado | Chihuahua |
| Coordenadas | 31°22'6.34"N, 105°58'53.66"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. |
| Medidor CFE | Medidor de energía eléctrica de CFE, marca ELSTER, tipo A3R, con número económico 622L7B. Capacidad: 200 amperes, 7 terminales, 3 fases, 4 hilos |
| Motor | Motor para bomba centrífuga tipo vertical, marca US MOTORS, de 75 C.P., multivoltaje 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 un gasto de 55 litros por segundo, profundidad 50 metros. |

FUENTE: Elaboración propia con datos de placa de equipo.

TABLA 21. PARÁMETROS DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE POZO CE-6.

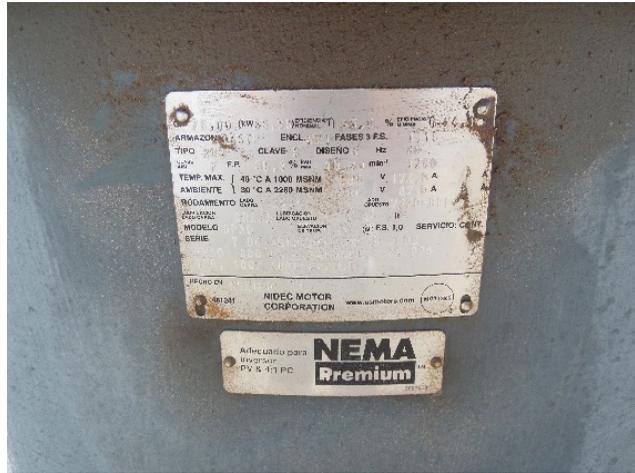
| | Corriente | Voltaje | Potencia activa (KW) | Potencia reactiva (KVAR) | Potencia aparente (KVA) | Factor de potencia (%) |
|--------|-----------|---------|----------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|
| Fase A | S/D | S/D | | | | |
| Fase B | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D |
| Fase C | S/D | S/D | | | | |

NOTA: El pozo CE-6 no fue factible encenderlo debido a que se encontraba en mantenimiento.

FIGURA 28. POZO CE-6.



FIGURA 29. DATOS DE PLACA DE MOTOR DE POZO CE-6.



FOTOGRAFÍAS tomadas en campo.

TABLA 22. PARÁMETROS DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL POZO “AZUL”.

| | Corriente | Voltaje | Potencia activa (KW) | Potencia reactiva (KVAR) | Potencia aparente (KVA) | Factor de potencia (%) |
|--------|-----------|-----------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Fase A | 45.3 | AB- 443.7 | | | | |
| Fase B | 48.0 | BC-446.7 | 25.93 | 24.48 | 35.66 | 73 |
| Fase C | 49.5 | CA-445.3 | | | | |

FUENTE: Elaboración propia con datos generados por equipo Amprobe, Mod. DM-III.

FIGURA 30. POZO “AZUL”.



FOTOGRAFÍA tomada en campo

TABLA 23. CÉDULA DE DATOS DEL POZO PT-18.

| ID Instalación | Pozo PT-18 |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Municipio | Praxedis G. Guerrero |
| Estado | Chihuahua |
| Coordenadas | 31°17'32.07"N, 105°57'54.35"O |
| Tipo de pozo | Bomba de turbina vertical de 75 C.P., 230-460 V |
| Subestación | Subestación tipo poste con cortacircuitos tipo fusible (sin fusible), 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. |
| Medidor CFE | Medidor de energía eléctrica de CFE, marca ELSTER, tipo A3R, con número económico 617L6B (dañado). Capacidad: 200 amperes, 7 terminales, 3 fases, 4 hilos |
| Motor | Motor para bomba centrífuga tipo vertical, marca US MOTORS, de 75 C.P., multivoltaje 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 un gasto de 55 litros por segundo, profundidad 60 metros. |

FUENTE: Elaboración propia con datos de placa de equipo.

TABLA 24. PARÁMETROS DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL POZO “PT-18”.

| | Corriente | Voltaje | Potencia activa (KW) | Potencia reactiva (KVAR) | Potencia aparente (KVA) | Factor de potencia (%) |
|--------|-----------|-----------|----------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|
| Fase A | 58.9 | AB- 463.4 | | | | |
| Fase B | 62.7 | BC-464.5 | 39.95 | 25.54 | 47.41 | 84 |
| Fase C | 58.3 | CA-464.0 | | | | |

FUENTE: Elaboración propia con datos generados por equipo Amprobe, Mod. DM-III.

FIGURA 31. POZO PT-18.



FIGURA 32. DATOS DE PLACA DE MOTOR DEL POZO PT-18.



FOTOGRAFÍA tomada en campo.

Como resultado de la visita de campo se obtuvieron datos de un pozo con número económico PG-11, con las siguientes características:

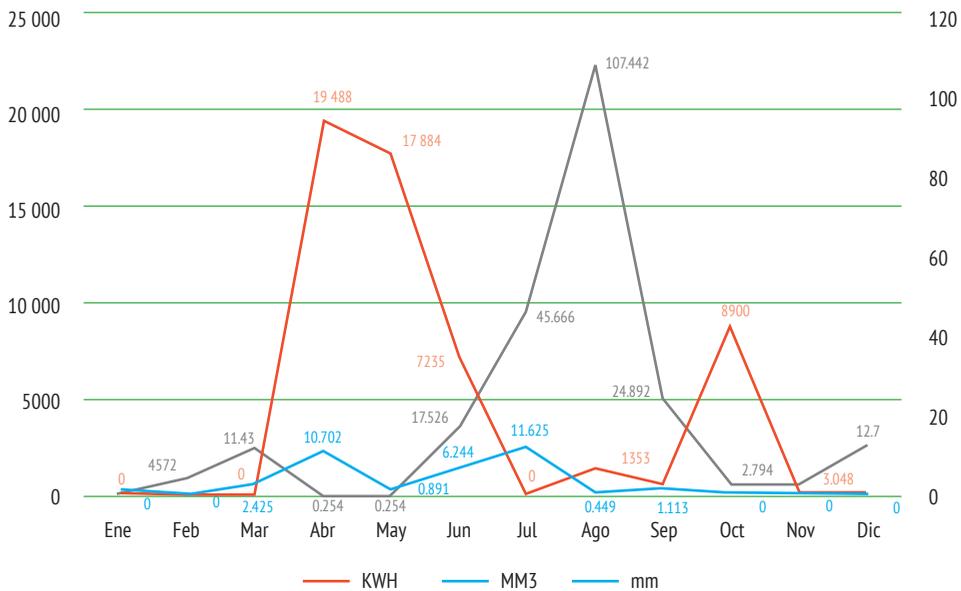
TABLA 25. CONSUMO MENSUAL DE ENERGÍA EN EL PERÍODO 2014-2016 DEL POZO PG-11.

| ID Instalación | Pozo PG-12 | | | |
|--------------------|-------------------------|------------------|----------------|----------------|
| | 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 (\$) Pesos | \$250 351 | \$ 7994 | \$ 4011 |

FUENTE: Datos proporcionados por la CFE.

La figura 33 representa el consumo de energía eléctrica de la región de estudio del poblado de Praxedis G. Guerrero en el año 2006. Según 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 MM³ (millones de metros cúbicos), con la línea azul permite observar que el mismo periodo en el que se presenta un aumento en el consumo de energía a partir del mes de marzo, se da la dotación de agua a través de canales, por otro lado se indica como referencia la precipitación mensual acumulada en milímetros, representada con una línea gris, la cual permite visualizar que durante los meses de lluvia disminuye considerablemente el consumo energético y una vez que bajan las lluvias, vuelve a incrementar, esta observación nos muestra la dependencia de la electricidad de esta zona para las actividades agrícolas.

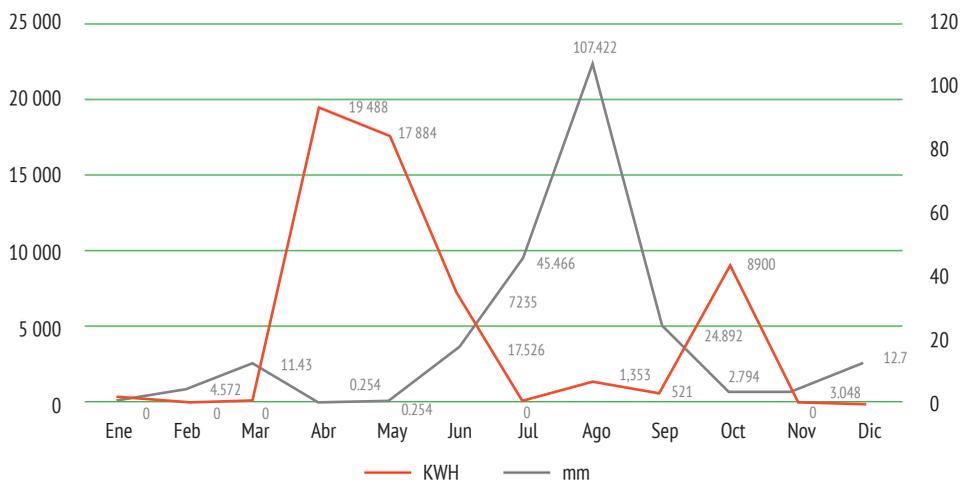
FIGURA 33. RELACIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA (KWH), DISPONIBILIDAD DE AGUA POR TRATADO DE 1906 (MM³) Y PRECIPITACIÓN (MM).



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

La figura 34 muestra la conexión entre el consumo de energía del pozo número 6 con la precipitación mensual y se observa nuevamente una relación directa en este caso en particular en el que durante los meses en los que se presenta lluvia en la región, se dejan de utilizar los pozos eléctricos para extracción de agua.

FIGURA 34. RELACIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA (KWH), Y PRECIPITACIÓN (MM).



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

De acuerdo con datos de la Comisión Federal de Electricidad, la región denominada Valle de Juárez cuenta con una infraestructura para abastecimiento de energía eléctrica a través de tres subestaciones eléctricas identificadas de acuerdo a la población en que se encuentran: Subestación San Isidro, San Ignacio y El Porvenir, con una capacidad de transformación de 47.5 MVA a través de una línea de subtransmisión y transformadores reductores de voltaje de 115 KV a 13.8KV; se cuenta con una red de distribución de media tensión que abastece la zona urbana y rural de la población.

Análisis de producción energética con sistemas fotovoltaicos para un pozo

Los antecedentes mencionados en este documento en relación con la disponibilidad de red eléctrica del suministrador en la región de estudio, hace tomar la decisión de proponer un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica, 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. 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.

Tomando en cuenta esto, es necesario realizar los siguientes pasos para evaluar la capacidad del sistema fotovoltaico a utilizar.

1. Cuantificar la energía a generar

Como en este caso se va a utilizar un sistema interconectado a la red eléctrica, es importante considerar la energía consumida durante un año para dimensionar el sistema en función de la capacidad de energía anual generada.

TABLA 26. ENERGÍA CONSUMIDA EN EL AÑO 2014 POR EL POZO PG-11.

| Mes | 2014 |
|--------------------|---------------|
| Abril (kwh) | 19 488 |
| Mayo (kwh) | 17 884 |
| Junio (kwh) | 7235 |
| Julio (kwh) | 0 |
| Agosto (kwh) | 1353 |
| Septiembre (kwh) | 521 |
| Octubre (kwh) | 8900 |
| Total (kwh) | 57 395 |

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

2. Identificar la región de estudio para determinar la irradiación solar.

Para el análisis de este caso se utilizará 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.

TABLA 27. IRRADIACIÓN MENSUAL KWH/MES.

| Mes | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Radiación solar (kWh/m ²) | 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).

3. El siguiente paso en la herramienta *PVWATTS* es definir la capacidad y características de la instalación.

En este caso se ha determinado una capacidad de 32 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 incluye pérdidas de energía en el cableado 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 28. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA PVWATTS.

| | | | |
|-----------------------------------------|-----------------|------------------|--------------|
| Capacidad del sistema en KW (dc) | 32 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

4. Resultados de PVWATTS.

De acuerdo con la tabla 27, se puede observar que derivado del análisis realizado en PVWATTS se logra 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, es aquí donde se aplica lo establecido en el contrato.

TABLA 29. RESULTADOS DE SIMULACIÓN DE SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 32 KW.

| Mes | Radiación | Energía generada | Energía consumida |
|------------|------------------|-------------------------|--------------------------|
| Enero | 5.32 | 4238 | 0 |
| Febrero | 6.08 | 4252 | |
| Marzo | 6.95 | 5393 | |
| Abril | 7.37 | 5350 | 19 488 |
| Mayo | 7.29 | 5343 | 17 884 |
| Junio | 7.35 | 5086 | 7235 |
| Julio | 6.9 | 4928 | 0 |
| Agosto | 6.69 | 4824 | 1353 |
| Septiembre | 6.82 | 4774 | 521 |
| Octubre | 6.68 | 4982 | 8900 |
| Noviembre | 5.6 | 4194 | |
| Diciembre | 5.35 | 4286 | |
| | | 57 652 | 57 395 |

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

5. Análisis de resultados

Se analiza el consumo durante un año y se observa que el primer año en los primeros meses de consumo sí se tiene un cargo, debido a que no se tiene crédito del año anterior, sin embargo, se observa que al final del año se cuenta con un crédito por 17 214 KWH aplicables durante el siguiente año, lo que garantiza que, si se tiene un consumo similar durante el siguiente año, el consumo se estará reemplazando con el crédito disponible.

TABLA 30. RESULTADOS DE BALANCE DE ENERGÍA.

| Mes | Radiación | Energía generada | Energía acumulada | Energía consumida | Cargo |
|------------|-----------|------------------|-------------------|-------------------|--------|
| Enero | 5.32 | 4238 | 4238 | 0 | |
| Febrero | 6.08 | 4252 | 8490 | | |
| Marzo | 6.95 | 5393 | 13 883 | | |
| Abril | 7.37 | 5350 | 19 233 | 19 488 | 255 |
| Mayo | 7.29 | 5343 | 0 | 17 884 | 12 541 |
| Junio | 7.35 | 5086 | 0 | 7235 | 2149 |
| Julio | 6.9 | 4928 | 4928 | 0 | |
| Agosto | 6.69 | 4824 | 9752 | 1353 | |
| Septiembre | 6.82 | 4774 | 13 173 | 521 | |
| Octubre | 6.68 | 4982 | 17 634 | 8900 | |
| Noviembre | 5.6 | 4194 | 12 928 | | |
| Diciembre | 5.35 | 4286 | 17 214 | | |
| | | 57 652 | 17 214 | 57 395 | |

FUENTE: Elaboración propia.

Diseño de un sistema fotovoltaico interconectado a la red

Tipo de panel: Policristalino.

Número de celdas: 72

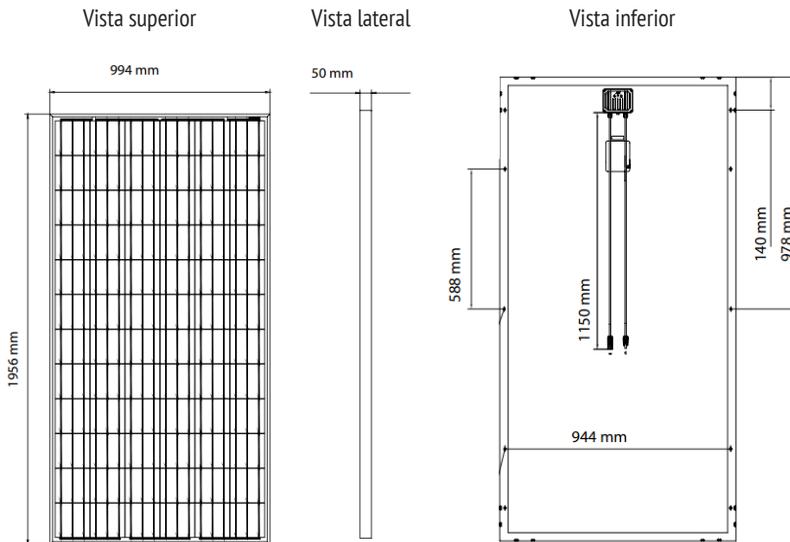
TABLA 31. PARÁMETROS TÉCNICOS DEL PANEL SOLAR DE 310 WP (WATTS PICO).

| Parametro eléctrico | | |
|--------------------------------------------|-----|------------|
| Potencia máxima (Pmax) | | 310.744 Wp |
| Tensión eléctrica máxima (Vmp) | | 35.8 V |
| Corriente eléctrica máxima (Imp) | | 8.7 A |
| Tensión eléctrica a circuito abierto (Vca) | | 36.2 V |
| Corriente de corto circuito (Icc) | | 7.68 A |
| Tensión eléctrica máxima del sistema | | 1000 V |
| Coeficiente de temperatura | Vca | -0.435 %/C |
| | Icc | 0.090 %/C |

FUENTE: Elaboración propia con datos del producto

Parámetros físicos

FIGURA 35. VISTA SUPERIOR, LATERAL E INFERIOR DE UN PANEL SOLAR.



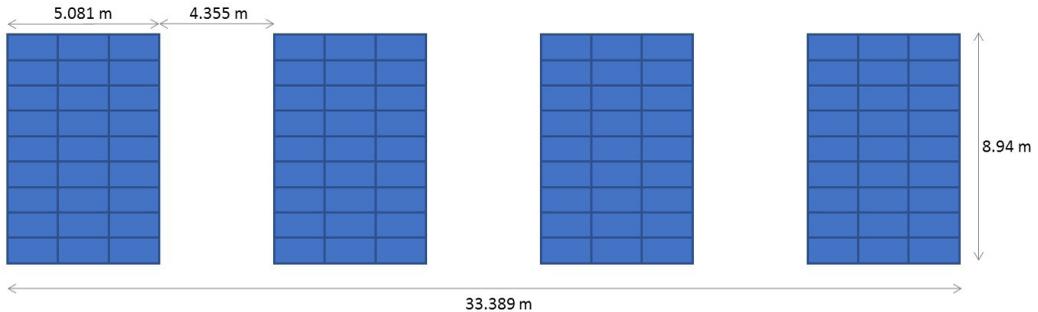
Dimensiones **Largo:** 1956 mm
Peso 23.5 Kg
NÚMERO DE PANELES A INSTALAR

Ancho: 994 mm **Espesor:** 50 mm

FUENTE: Elaboración propia.

El área necesaria para la instalación de paneles solares es de 298.49 m², se considera la instalación de 108 paneles distribuidos en cuatro estructuras, cada una de ellas contará con tres arreglos de nueve paneles en serie, quedando cada estructura con 27 paneles.

FIGURA 36. ARREGLO DE 108 PANELES PARA LA PRODUCCIÓN DE 32 KW.

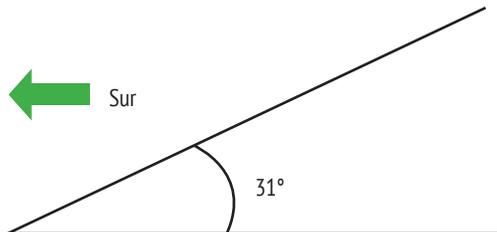


FUENTE: Elaboración propia.

La distancia entre cada arreglo de paneles es de 4.355 m calculada de acuerdo a la recomendación del *software* SAM (Solar Advisory Model) de NREL, esta distancia evita que la sombra de los paneles afecte al adyacente.

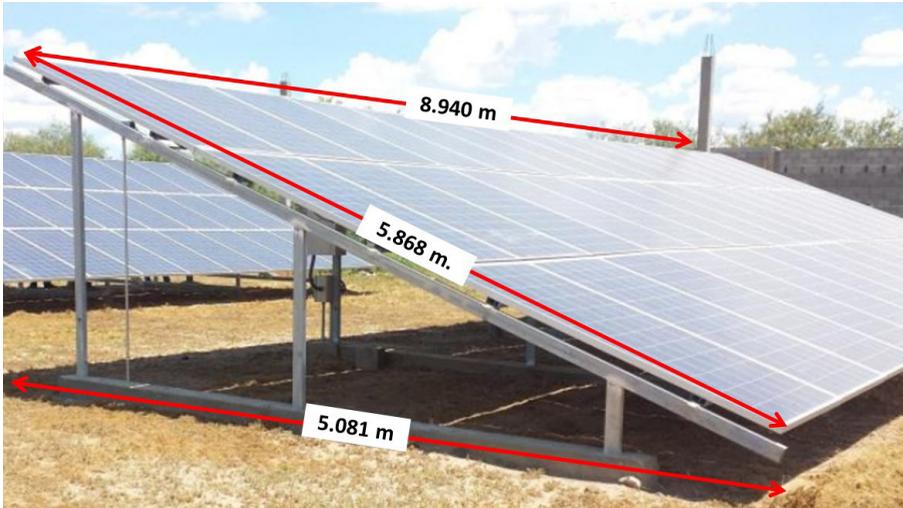
La inclinación recomendada del arreglo de paneles es igual a la latitud de la zona geográfica en donde se colocará el sistema, la cual es de 31°.

FIGURA 37. ÁNGULO DE MONTAJE PARA PANELES FOTOVOLTAICOS.



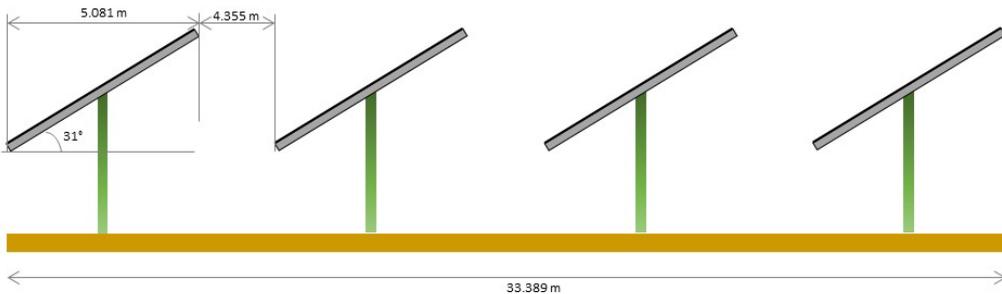
FUENTE: Elaboración propia.

FIGURA 38. MONTAJE Y DIMENSIONES DE PANELES FOTOVOLTAICOS.



FUENTE: Elaboración propia con imagen de www.proyectodeenergiasrenovable.com

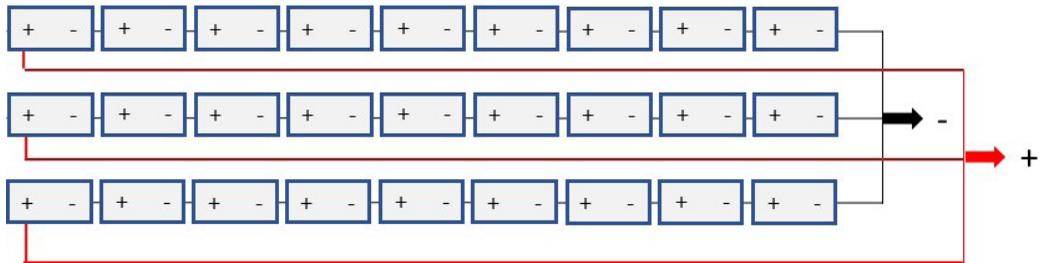
FIGURA 39. VISTA LATERAL CON DIMENSIONES Y ÁNGULO DE MONTAJE DE PANELES Y ESTRUCTURA.



FUENTE: Elaboración propia.

La conexión de los paneles solares es en serie, de tal forma que se obtienen tres cadenas de nueve paneles; se agrupan en paralelo hacia el inversor, es importante mencionar que en los inversores solo pueden conectarse series del mismo número de paneles.

FIGURA 40. CONEXIÓN EN SERIE DE 9 PANELES FOTOVOLTAICOS Y CONEXIÓN EN PARALELO.



FUENTE: Elaboración propia.

Cada serie consta de nueve paneles de las siguientes características nominales:

W_p 310 Watts
I_{mp} 8.7 Amperes
V_{mp} 35.8 V

Entonces para cada serie de paneles se tiene:

Voltaje DC $(35.8) (9) = 322.2$ Volts
Corriente (I) 8.7 Amperes
Potencia (W) $(310) (9) = 2790$ Watts

Para tres series de nueve paneles que se conectan en paralelo, se tendrán los siguientes datos.

Voltaje DC 322.2 Volts
Corriente (I) $(8.7) (3) = 26.1$ Amperes
Potencia (W) $(2790) (3) = 8370$ Watts

El inversor seleccionado deberá cumplir con estos datos para conectarlo al sistema.

Si se consideran cuatro arreglos de las mismas características, la potencia total del sistema será de 33 480 watts en corriente directa, sin considerar pérdidas en conversión a corriente alterna y en los conductores.

Selección del inversor

TABLA 32. PARÁMETROS TÉCNICOS DEL INVERSOR.

| Inversor | Entrada (corriente directa) | Salida (corriente alterna) 3F |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Potencia nominal (W) | 8000 | 8000 |
| Potencia máxima (W) | 8388.36 | 8108.58 |
| Intensidad de corriente (A) | 28 | 28 |
| Tensión nominal (V) | 300-600 | 220-127 |
| Frecuencia (Hz) | - | 60 |

FUENTE: Elaboración propia con datos del producto

Temperatura de operación de -20 a 60°C (protegido contra exceso de temperatura).

El inversor deberá contar con tres entradas para tres cadenas de paneles solares en serie, esto quiere decir: tres contactos positivos y tres negativos.

Parámetros físicos

Dimensiones: 61.2 × 24.1 × 46.7 cm

Peso: 36 kg

Diodo de bloqueo

Los parámetros eléctricos a considerar para cada rama serie son la corriente de corto circuito y la tensión de circuito abierto del arreglo de los paneles en serie.

I_{cc} = 7.68 Amperes

V_{ca} = 36.2 Volts

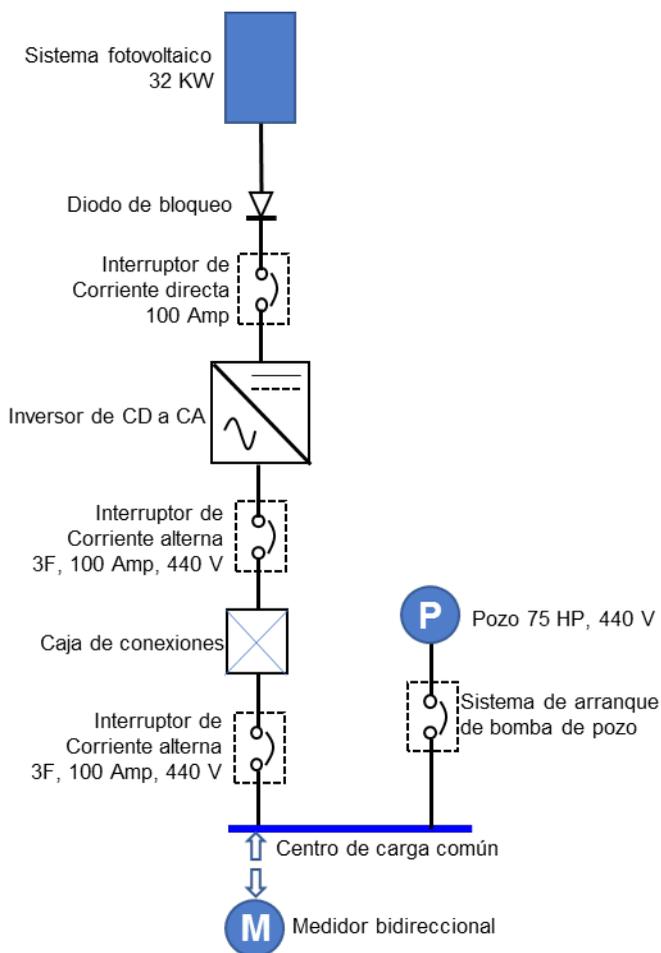
Los diodos de bloqueo deberán soportar como mínimo el doble de los parámetros mencionados, así se seleccionan tres diodos de bloqueo para cada una de las ramas de paneles en serie antes de conectarse al interruptor de corriente directa de inversor.

I_{cc} = (7.68) (2) = 15.36 Amperes

V_{ca} = (36.2) (2) = 72.4 Volts

Diagrama unifilar simplificado

FIGURA 41. DIAGRAMA UNIFILAR SIMPLIFICADO.



FUENTE: Elaboración propia.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como resultado de esta sección del reporte técnico, se observa que el consumo de energía de los pozos es mucho menor al dimensionamiento del sistema de bombeo, ya que en los casos medidos se encontraron pozos que operan con motores de 75 KW de capacidad en promedio, con una demanda medida menor a los 30 KW, por lo que en primera instancia se observa un sobredimensionamiento eléctrico-mecánico.

Se realizó también una proyección de consumo anual de acuerdo a los datos de consumo proporcionados por la CFE para uno de los pozos, se tomó como referencia el año 2014 en el que se presentó un consumo normal y se hizo una correlación con la precipitación de la región y se determina una relación significativa, ya que durante los meses de lluvia el consumo de energía por bombeo disminuye considerablemente, también de acuerdo a los datos de consumo anual se logró dimensionar un sistema fotovoltaico que podría operar interconectado a la red eléctrica para suministrar energía a través del mecanismo de medición neta en el que se suministra energía a la red y a la vez se consume en el pozo, permitiendo la disponibilidad durante todo el año. En los meses que no hay consumo de energía, la energía generada es factible acumularla de acuerdo a la medición y esta puede ser abonada en los meses de alto consumo. Una vez dimensionada la capacidad del sistema fotovoltaico, se presenta un ejemplo del equipamiento y de las necesidades de superficie para instalar un sistema fotovoltaico que permita suplir el consumo de energía de la red con fuentes convencionales.

ANÁLISIS ELECTROMECAÁNICO DE LOS POZOS

Ranulfo Lemus Sánchez y Eduardo Milán Montenegro

OBJETIVO: Diagnóstico de las condiciones electromecánicas de los equipos de tres pozos en el Valle de Juárez y proponer las acciones que se pueden seguir para el uso de un sistema fotovoltaico en estos pozos.

META: Caracterizar los pozos muestreados de acuerdo a sus condiciones de eficiencia electromecánica.

ACTIVIDADES: Visitas de campo, toma de datos de consumo y funcionamiento eléctrico, cálculo de los sistemas, solicitud de información ante la Junta de Agua sobre la construcción de los pozos seleccionados e interpretación de la misma.

INTRODUCCIÓN

El sector agrícola del Valle de Juárez utiliza más del 80 % de las derivaciones que se hacen del río Grande-río Bravo según el Tratado de 1906 (aguas superficiales). El Distrito de Riego 009, proporciona riego a 15 000 ha, aunque tiene un potencial de 25 000 ha, que no se riegan por falta de agua, por lo que se hace uso de aguas subterráneas mediante la perforación de pozos profundos.

Las aguas subterráneas son la fuente de suministro y de reserva ambiental menos comprendida dentro del sistema hidrológico. Las aguas subterráneas y superficiales interactúan de manera compleja alterando la calidad y cantidad que almacenan los acuíferos. Se desconoce cuánta agua está disponible en el subsuelo, cuánta se consume en la actualidad, y cómo fluye en los mantos freáticos.

Antecedentes

El Art. 27 de la *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*, establece la propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originalmente a la nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada. Las expropiaciones solo podrán hacerse por causa de utilidad pública y mediante indemnización.

La Comisión Nacional del Agua de México, es un organismo administrativo desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, creado en 1989, cuya responsabilidad es administrar, regular, controlar y proteger las aguas nacionales. A través de esta Secretaría, y las leyes de cada estado, municipios, asociaciones, o particulares solicitan concesiones, o asignaciones para la explotación y uso de estas aguas.

Se investigó que los pozos CE-6 R, PGI-11 y PT-18 del Valle de Juárez, están concesionados a la Asociación de Usuarios del Módulo de Riego Número 3, Título 06CHI400901/24ATGC01, con registro del 01/07/2002.

Consultando a la Comisión Nacional del Agua, nos envió los expedientes técnicos correspondientes a dichos pozos.

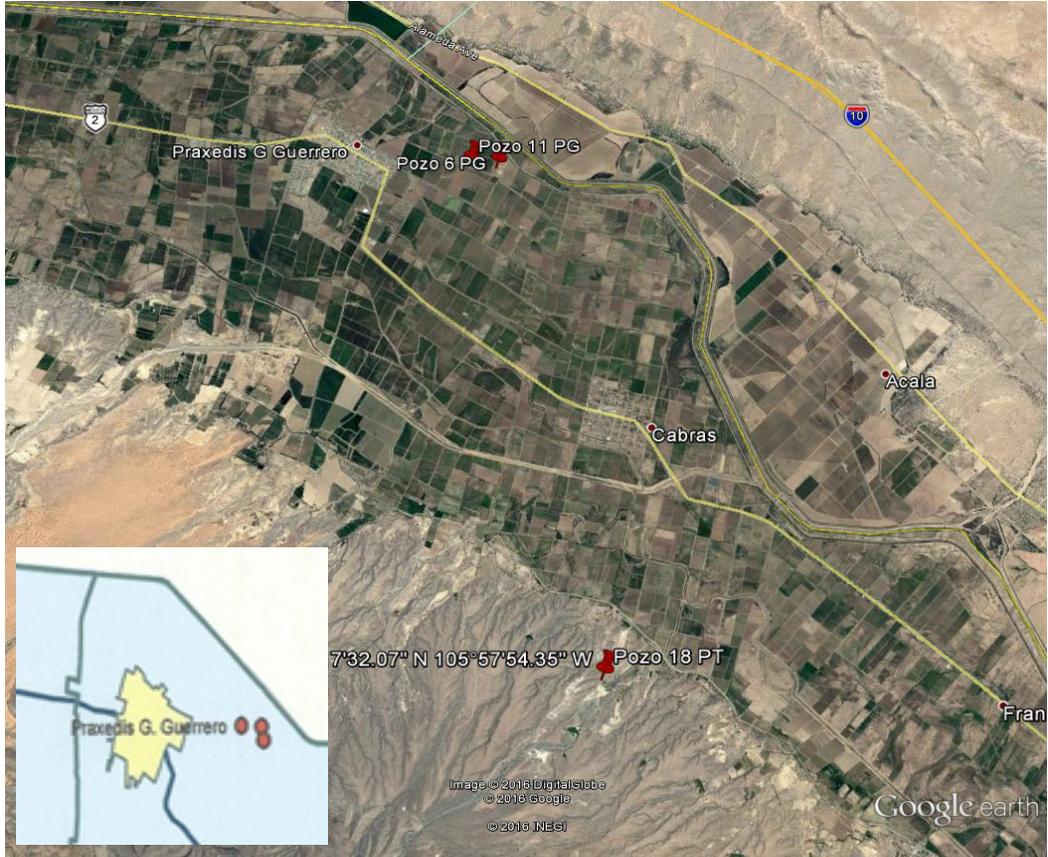
El área de estudio se ubica en el Valle de Juárez (figura 42), en el poblado de Praxedis G. Guerrero, en los pozos CE-6 R, PGI-11, y PT-18, con las siguientes coordenadas:

TABLA 33. DATOS DE UBICACIÓN DE LOS POZOS OBJETO DE ESTUDIO.

| Pozo | Latitud | Longitud |
|--------|--------------|----------------|
| CE-6 R | 31°18'29.00" | -105°57'27.00" |
| PGI-11 | 31°30'58.00" | -106°15'00.00" |
| PT-18 | 31°17'35.00" | -105°57'29.00" |

FUENTE: Elaboración propia con datos de campo.

FIGURA 42. UBICACIÓN DE LOS POZOS DE ESTUDIO.



FUENTE: Imagen adaptada de Google earth.

Además se proporcionaron los datos con que se tienen registradas las concesiones ante la Comisión Nacional del Agua (se anexan a este informe los datos enviados por la Conagua), de los pozos arriba citados, según la tabla 34:

Título 06CHI400901/24ATGC01 Registro 01/07/2002
Titular ASOCIACIÓN DE USUARIOS DEL MÓDULO DE RIEGO NÚMERO TRES

TABLA 34. DATOS REGISTRADOS ANTE LA CONAGUA.

| Pozo | Anexo | Volumen (m ³ /año) | Uso que ampara el título | Estado Chihuahua | 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 - BRAVO-CON-CHOS | 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 - BRAVO-CON-CHOS | 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 - BRAVO-CON-CHOS | 5 | 33 - VALLE DE JUÁREZ | 0833 - VALLE DE JUÁREZ | 31°17'35.00" | -105°57'29.00" |

FUENTE: Comisión Nacional del Agua.

Objetivo

El objetivo de esta sección del reporte técnico es identificar las condiciones electromecánicas de los equipos de tres pozos en el Valle de Juárez y proponer las acciones que se pueden seguir para el uso de un sistema fotovoltaico en estos pozos.

Participantes

La investigación de este proyecto tiene como finalidad analizar las condiciones electromecánicas y las eficiencias actuales de los equipos de bombeo actualmente instalados en los pozos citados en el párrafo anterior de este segmento, tabla 1, y analizar la posibilidad de cambiar la energía actual por métodos alternativos,

como la energía solar, siguiendo los procedimientos de cálculos establecidos bajo la “Guía para la evaluación de la Eficiencia en Equipos electromecánicos en operación para pozos profundos” (CNA, 2007), y de acuerdo a Normas NOM-001-SEDE-2012.

Para la realización de este proyecto correspondiente a la eficiencia electromecánica de los pozos agrícolas para irrigación CE-6 (R), PG-11 y PT-18, del Distrito de Riego 009, ubicado en Praxedis G. Guerrero, se integró un grupo multidisciplinario:

Asistentes en el trabajo de campo realizado en la localidad de Praxedis G. Guerrero (Valle de Juárez), con fecha 18 de enero de 2017:

Por parte de El Colegio de Chihuahua:

- Dra. Esmeralda Cervantes Rendón (Coordinadora del Centro Regional de Investigación y Desarrollo de Energías Alternativas)
- Mtro. Adrián Botello Mares (Asistente de investigador)
- Mtra. Gabriela Montano Armendáriz (estudiante del Doctorado en Investigación de El Colegio de Chihuahua)
- Mtro. Rodolfo Tejeda Guevara (estudiante del Doctorado en Investigación de El Colegio de Chihuahua)

Por parte del Laboratorio Ambiental de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez:

- Mtra. Luz del Carmen Agüero Reyes (Jefa de laboratorio)
- Ing. Miguel Hernández (Responsable del muestreo)

Equipo de análisis del agua:

- Dr. Alfredo Granados Olivas (responsable del Área de Análisis del Agua)
- Mtro. Arturo Soto Ontiveros (estudiante del Doctorado de Estudios Urbanos de la UACJ)
- Lic. Ana Cristina (estudiante de la Maestría en Estudios y Gestión Ambiental de la UACJ)

Equipo de análisis electromecánico:

- Mtro. Ranulfo Lemus Sánchez (Compañía Ingenieros Lemus, S. A. de C. V.)
- Ing. Eduardo Milán Montenegro (Compañía Eléctrica Milec, S. A. de C. V.)

Por parte de la Conagua:

- Ing. Ricardo Valdez Morales (Jefe del Distrito de Riego y Drenaje)
- Ing. Manuel A. Pando Martínez (Subjefe del Distrito de Riego y Drenaje)

METODOLOGÍA

Con el equipo antes mencionado se investigaron las condiciones electromecánicas actuales en que se encuentran los pozos.

Para los estudios de campo se encargó la brigada del análisis de agua, tomando los datos de niveles dinámicos, estáticos y gasto, mediante la utilización de una sonda eléctrica y para el gasto se tomaron lecturas del medidor instalado en la descarga del pozo.

Con referencia a los datos del consumo energético, se tomaron las lecturas con un analizador AMPROBE Power Quality Analyzer / Data Logger DM-III multitest

FIGURA 43. EQUIPO ANALIZADOR AMPROBE POWER QUALITY ANALYZER.

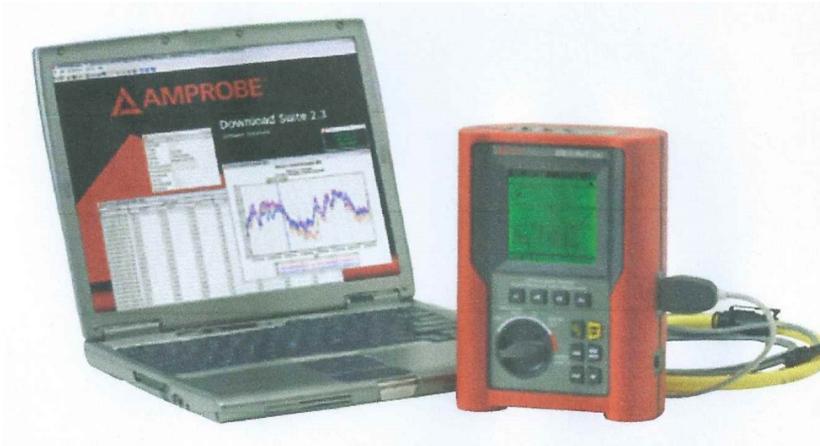


FIGURA 44. SONDA ELÉCTRICA UTILIZADA EN CAMPO.



Referente a las condiciones electromecánicas entregadas por la Comisión Nacional del Agua, se analizarán con los datos de campo que se obtengan.

Localización

Para llegar a los pozos CE-6R, PGI-11 y PT 18, área de estudio, se parte de Ciudad Juárez, hacia el este, por la carretera número 2, recorriendo una distancia aproximada de 65 km, llegando al poblado de Praxedis G. Guerrero.

FIGURA 45. PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.



FUENTE: Imagen adaptada de Google earth.

Desarrollo de la información

Con el trabajo realizado por las brigadas en los pozos, se obtuvieron los siguientes datos:

- Niveles actuales de los pozos
- Gastos de operación
- Consumos eléctricos
- Calidad del agua

DATOS DE CAMPO POZO NO. 6

Niveles de pozos y gasto

FIGURA 46. IMAGEN DEL POZO 6.



FOTOGRAFÍA tomada en campo.

Gasto = 00
 Nivel dinámico = 00.
 Nivel estático = 1.73
 Capacidad específica = 00
 Cota terreno = 1057 msnm

No se obtuvieron datos por estar fuera de servicio, solo el nivel estático y cota de elevación, observándose hundimientos alrededor de la base de concreto.

No se obtuvieron datos de consumo energético por estar fuera de servicio.

TABLA 35. DATOS DE CONSUMO ELÉCTRICO DEL POZO 6.

| | Corriente | Voltaje | Potencia activa (KW) | Potencia reactiva (KVAR) | Potencia aparente (KVA) | Factor de potencia (%) |
|--------|-----------|---------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Fase A | S/D | S/D | | | | |
| Fase B | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D |
| Fase C | S/D | S/D | | | | |

FUENTE: Elaboración propia.

DATOS DE CAMPO Pozo PG- 11, mediante sondeo eléctrico se hizo la medición de sus niveles:

FIGURA 47. IMAGEN TOMADA EN CAMPO DEL POZO 11.



Gasto = 64.17 lt/seg

Nivel dinámico = 14.27 m

Nivel estático = 3.73 m

Capacidad específica = gasto / ND-NE

Capacidad específica = 6.09

Cota terreno = 1063 msnm

Consumos eléctricos:

Mediante el analizador AMPROBE Power Quality Analyzer / Data Logger DM-III multitest, obteniendo los resultados que se presentan en la tabla 36.

TABLA 36. CONSUMO ELÉCTRICO DEL POZO 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: Elaboración propia con datos de campo mediante el equipo AMPROBE Power Quality Analyzer / Data Logger DM-III multitest

Prom. 45.96 454.33

DATOS DE CAMPO Pozo PT 18, mediante sondeo eléctrico se hizo la medición de sus niveles:

FIGURA 48. FOTOGRAFÍA TOMADA EN CAMPO DEL POZO PT-18.



Gasto = 50 lps
 Nivel dinámico = 30.43 m
 Nivel estático = 24.15 m
 Capacidad específica = 7.46 m
 Cota terreno = 1074 msnm

Consumos eléctricos:

Mediante el analizador AMPROBE Power Quality Analyzer / Data Logger DM-III multitest. Con lo que se obtuvieron los resultados que se observan en la tabla 37.

TABLA 37. CONSUMO ELÉCTRICO DEL POZO 18.

| | Corriente | Voltaje | Potencia activa (KW) | Potencia reactiva (KVAR) | Potencia aparente (KVA) | Factor de potencia (%) |
|--------|-----------|-----------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Fase A | 58.9 | AB- 463.4 | | | | |
| Fase B | 62.7 | BC-464.5 | 39.95 | 25.54 | 47.41 | 84 |
| Fase C | 58.3 | CA-464.0 | | | | |

FUENTE: Elaboración propia con datos obtenidos en campo con el equipo AMPROBE Power Quality Analyzer / Data Logger DM-III multitest

Prom. 59.96 463.46

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

En la tabla 38 concentramos los datos de campo que combinados con los datos de la concesión nos servirán para hacer el análisis de las condiciones electromecánicas actuales en que se encuentran los pozos de estudio.

TABLA 38. DATOS GENERALES DE LOS POZOS ANALIZADOS.

| 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 |
| CE-6 R | 1.73 | | | 50 | 31°22'07.00" | -105°59'10.00" | 1057 |
| PT-18 | 24.15 | 30.43 | 50 | 100 | 31°17'32.00" | -105°57'24.00" | 1074 |

FUENTE: Elaboración propia con información de campo.

Para el análisis de esta información, hacemos uso de la fórmula de la eficiencia electromecánica global.

Los equipos de bombeo instalados en los pozos (conjunto bomba-motor), están definidos genéricamente de acuerdo a la siguiente relación:

$$\text{Eficiencia total} = \frac{\text{Potencia hidráulica requerida del sistema}}{\text{Potencia Eléctrica suministrada}}$$

La potencia hidráulica utilizada por la bomba es:

$$\text{HP} = \frac{Q * \text{CDT}}{76}$$

Q = Gasto lps

ND = Nivel dinámico

CDT = Carga dinámica total = ND + Hm + Hf

Donde:

Para determinar la eficiencia global del conjunto bomba-motor, es necesario evaluar previamente las pérdidas por fricción en la columna, medir la presión a la descarga, determinar el nivel dinámico y medir el gasto manejado por el equipo de bombeo, para este caso la carga dinámica total (CDT), sería considerar el nivel dinámico más la pérdida de fricción (Hf = 1.95 dada por tablas del fabricante) en columna de agua, más la presión manométrica (Hm), pero esta no se consideraría por estar a descarga libre.

POZO 11

Condiciones actuales:

Nivel estático = 3.73 m

Nivel dinámico = 14.27 + 1.95 = 16.22 m

Gasto = 64.17 lps.

Si aplicamos la ecuación de su potencia hidráulica según la Conagua (1993), se tiene que:

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

Claves:

HP= Caballos de fuerza

Q = Gasto lps

ND = Nivel dinámico

CDT = Carga dinámica total = ND + Hm + Hf

Aplicación:

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

El resultado anterior es lo que se debería estar consumiendo (13.69 HP)

Determinación de la potencia eléctrica

La potencia eléctrica suministrada al motor se determina de la siguiente manera: Con el equipo de bombeo en operación, se miden las tensiones con un voltímetro, y las corrientes con un amperímetro o con un kilowattmetro que nos indica la lectura del factor de potencia.

A partir de estos datos se calcula la potencia eléctrica por medio de la fórmula:

$$Pe = 1.732 \times V \times I \times \cos\theta \% \text{EFF} / 746$$

Actualmente, si analizamos de acuerdo con los datos de campo del kilowattmetro que se trabajaron en conjunto con el Ing. Rodolfo Tejeda y aplicando la ecuación, se tiene:

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

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

Aplicando los datos de campo

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

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:

$$\eta_t = \eta_b - \eta_m$$

Donde: $\eta_b = \frac{nt}{\eta_m}$

Sustituyendo los valores

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

Resumiendo con referencia al consumo energético se tiene:

Instalación actual excesiva

El equipo actual está operando con una eficiencia de 38.62 %

Con sus datos actuales está consumiendo 35.42 HP

Con sus datos actuales debería de consumir 13.69 HP

Lo adecuado sería utilizar un equipo de alta eficiencia de acuerdo con lo recomendado por el fabricante.

POZO 18

Las condiciones actuales son:

Nivel estático = 24.15 m

Nivel dinámico = 30.43 + 1.95 = 32.38 m

CDT = ND + Hm + Hf = 30.43 + 1.95 = 26.15

Gasto: 50 lps

HP = Caballos de fuerza

Q = Gasto lps (litro por segundo)

ND = Nivel dinámico

CDT = Carga dinámica total = ND + Hm + Hf

Aplicación:

$$\text{HP: } \frac{50 \cdot 32.38}{76} = \frac{1614}{76} = 21.30 \text{ HP}$$

El resultado anterior es lo que se debería estar consumiendo (21.30 HP).

DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA ELÉCTRICA

La potencia eléctrica suministrada al motor se determina de la siguiente manera: Con el equipo de bombeo en operación, se miden las tensiones con un voltímetro, y las corrientes con un amperímetro o con un kilowattmetro que nos indica la lectura del factor de potencia.

A partir de estos datos se calcula la potencia eléctrica por medio de la fórmula:

$$P_e = \frac{E \cdot I \cdot \%EFF \cdot PF \cdot 1.732}{746}$$

Claves:

P_e = 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

$\cos \theta$ = Factor de potencia

% EFF = Eficiencia del motor

Watts/HP = 746

Aplicación los datos de campo:

$$\text{HP} = \frac{463.96 \cdot 59.92 \cdot 0.95 \cdot 84 \cdot 1.732}{746} = \frac{38,409}{746} = 51.50 \text{ HP}$$

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

N_t = Eficiencia global

$$\text{HP} = \frac{Q \cdot CDT}{76 \cdot N_t} \quad N_t = \frac{Q \cdot CDT}{76 \cdot N_t} = \frac{50 \cdot 32.28}{51.50 \cdot 76} = \frac{1614}{3914} = 0.4123 \text{ HP}$$

$$N_t = 41.23 \%$$

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

$$\eta_t = \eta_b - \eta_m$$

Donde: $\eta_b = \frac{n_t}{\eta_m}$

Sustituyendo los valores

$$N_t = 41.23 / 95 = 43.4 \%$$

Resumiendo con referencia al consumo energético:

Como se puede observar en las expresiones de cálculo, se concluye que con referencia al consumo energético, se tiene lo siguiente:

1. Instalación eléctrica actual está sobredimensionada
2. El equipo actual está operando con una eficiencia de 40.932 %
3. Con sus datos actuales está consumiendo 51.50 HP
4. Con sus datos actuales debería de consumir 51 HP
5. Lo adecuado sería utilizar un equipo de alta eficiencia de acuerdo con lo recomendado por el fabricante.

CONCLUSIONES

Se estudiaron las eficiencias electromecánicas en pozos del Valle de Juárez, concluyéndose lo siguiente:

A. Las condiciones actuales de los pozos CE-6 R, PGI-11, y PT-18 son:

Su equipamiento inicial, no se hizo con los equipos adecuados a las condiciones de diseño, según datos obtenidos de su aforo.

Los datos de campo del pozo 6 son:

- Gasto = 00 lt/seg
- Nivel dinámico = 00 m
- Nivel estático = 00
- Capacidad específica = 00

- Cota terreno = 1057 msnm

Los datos de campo del pozo 11 son:

- Gasto = 64.17 lt/seg
- Nivel dinámico = 16.12 m
- Nivel estático = 3.73
- Capacidad específica = 6.231
- Cota terreno = 1063 msnm

Los datos de campo del pozo 18 son:

- Gasto = 50 lt/seg
- Nivel dinámico = 32.28 m
- Nivel estático = 24.15 m
- Capacidad específica = 4.84
- Cota terreno = 1074 msnm

Por lo tanto se concluye actualmente que:

- Con los datos anteriores correspondientes al estudio de energía, encontramos que las eficiencias actuales son de:
 - El pozo CE-6 (R) no se obtuvo la eficiencia por estar en mantenimiento.
 - El pozo PG 11, tiene una eficiencia de 40.92 %
 - El pozo PT 18, tiene una eficiencia de 41.23 %

Es importante destacar que estas eficiencias pueden 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, etcétera, mencionando que el presente reporte incluye solamente las condiciones electromecánicas de funcionamiento de la bomba, así como los niveles estáticos y dinámicos de los pozos, sin embargo, se identificó en campo que es necesario realizar un análisis con mayor detalle sobre los pozos seleccionados, ya que se observaron indicios de hundimiento,

por lo que se recomienda para un estudio futuro, realizar una inspección física de mayor detalle sobre el estado actual de la construcción de estos tres pozos, y ejecutar los siguientes trabajos:

- Desmantelamiento del equipo instalado (15 tramos incluyendo motor y base)
- Toma de profundidad y video
- Desazolve del pozo

De los resultados obtenidos del video propuesto, se determinará si se rehabilita o se construye 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.

Por otro lado y conforme a los cálculos tabulados, se manifiesta lo siguiente:

A. De la tabla 1, **del pozo 11** en la columna correspondiente a los volúmenes por año, se tiene que los volúmenes de las concesiones se pueden obtener con la fórmula siguiente:

- $\text{Volumen} / \text{días año} / \text{m}^3 / \text{día} = \text{m}^3 / \text{día} / \text{seg} / \text{día} = \text{Gasto lps}$
- $532\ 015 / 365 \text{ días} = 1457.57 \text{ m}^3 / \text{día} / 86\ 400 \text{ seg./día} =$

Gasto = 16.87 lts / seg

Esto es igual para **el pozo 6**, suponiendo el gasto similar al pozo 11, se tendría:

Gasto = 16.87 lts / seg

- Para **el Pozo 18** se tiene:

- $399\ 011 / 365 \text{ días} = 1093.18 \text{ m}^3 / \text{día} / 86\ 400 \text{ seg} / =$

Gasto = 12.65 lts/ seg

Los pozos CE-6 R y PGI-11, de acuerdo a los datos de las concesiones se deben de extraer:

60.732 m³ /hora

Para el pozo 18 se deben de extraer 45.54 m³ /hora

RECOMENDACIONES

- a) Ajustar los gastos (lps), de acuerdo a las concesiones y ver las hectáreas que se pueden regar.
- b) Corregir instalaciones de baja tensión (arrancadores, alimentadores, subestaciones), de acuerdo a Normas NOM-001- SEDE-2012.
- c) Decidir si se construye un nuevo pozo, donde se tomen en cuenta todas las normas de construcción, operación y mantenimiento, con toda la supervisión necesaria y que sea como plan piloto o si es necesaria la rehabilitación de alguno de los pozos seleccionados.
- d) De acuerdo a lo anterior, diseñar un sistema de energía alternativa, que considere las potencias calculadas, para que se tenga una eficiencia óptima y la inversión sea económicamente redituable.
- e) Para el diseño de que la fuente sea una instalación fotovoltaica es necesario hacer un estudio de cuál sería la carga que se desea cambiar y tener datos de incidencia solar en esa área y una superficie para la instalación de las celdas fotovoltaicas (3 paneles / kW) y que el número sea suficiente para cubrir la potencia deseada, según sus horas de trabajo y si existe red de electricidad de CFE, interconectarse y para las horas en que no haya consumo, vendérsela a la compañía eléctrica y así evitar su costo de almacenamiento (baterías).

REFERENCIAS

- Comisión Nacional del Agua. (agosto 1993). “Guía para la Evaluación de la Eficiencia en equipos electromecánicos en operación para pozo profundo”. Normas Técnicas.
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*, Art. 27.
- Mapa Satelital, 2014, Google Earth
- Muñiz, Juan I., Jorge Salas-Plata y Ch. Turner. (2005). Restauración del Río Bravo/Río Grande en el Valle de Juárez: un análisis. *Culcyt* 8 (2).
- Registro de Concesión de pozos CE-6 R, PGI-11 y PT-18, Maestro Arturo Soto Ontiveros, UACJ.

Análisis para el reemplazo de la energía eléctrica con energías alternativas en sistemas de irrigación en el Valle de Juárez, terminó de editarse en marzo de 2017.