

Energía Solar para el Desarrollo Sustentable del estado de Chihuahua

Myrna Concepción Nevárez Rodríguez¹

Mario Alberto Sígala Bustamante²

Resumen

El desarrollo social y económico se puede dar a través de las energías renovables contando con un suministro de energía seguro y de mayor acceso regional, factor determinante para el desarrollo ya que la energía interviene en muchos servicios. La energía solar contribuye con el objetivo siete, energía asequible y no contaminante de los objetivos del desarrollo sustentable, el cual describe que es vital apoyar nuevas iniciativas económicas y laborales que aseguren el acceso universal a los servicios de energía modernos, mejoren el rendimiento energético y aumenten el uso de fuentes renovables para crear comunidades más sostenibles e inclusivas y para la resiliencia ante problemas ambientales como el cambio climático.

La energía es el sector que contribuye principalmente al cambio climático y representa alrededor del 71% de las emisiones de gases de efecto invernadero en México. México se localiza en el cinturón solar encontrándose en los primeros lugares con potencial para el uso de la energía solar. De acuerdo al atlas nacional de zonas con alto potencial de energías limpias, Chihuahua es uno de los estados con gran potencial para la energía solar. Por lo que los objetivos del siguiente trabajo fueron determinar por medio de sistemas de información geográfica el potencial fotovoltaico del estado de Chihuahua identificando las regiones y municipios con mayor potencial para posteriormente realizar un comparativo con la demanda de generación energética agrícola de los municipios con mayor potencial fotovoltaico y finalmente para determinar la importancia de la selección de zonas y su rentabilidad, se evaluó sobre un municipio el costo sobre tres escenarios de la implementación de parques solares de acuerdo a las distintas demandas de los sectores energéticos del municipio.

Se determinó que el estado de Chihuahua cuenta con un rango de potencial fotovoltaico anual de 0-707 kWh/m²/año con un promedio de 295 kWh/m²/año. Las zonas más adecuadas para parques solares cuentan con una superficie total de 8,660 km², lo que representa sólo el 3.5% del estado de Chihuahua tomando en cuenta que para cubrir la demanda de electricidad para el estado sería necesaria un área de 23.74 km², área mucho menor del área con la que contaría el estado. Los municipios con mayores áreas de alto potencial fotovoltaico son: Ascensión, Ahumada, Juárez, Janos, Aldama, Chihuahua, Cuauhtémoc, Meoqui, Jiménez, Allende, Casas Grandes y Coyame del Sotol los cuales presentan un área total con un alto potencial fotovoltaico y pueden llegar a satisfacer las necesidades y hasta exceder la demanda de energía eléctrica en sus actividades agrícolas en cada municipio, siendo estos mismos municipios productores de los principales cultivos del estado como nuez, manzana, avena forrajera, algodón y cebolla.

Finalmente, al realizar una elección de zonas con mayor potencial fotovoltaico para la implementación de parques solares se podría realizar un ahorro hasta tres veces más bajo que si se

¹Doctorado, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, mcnevarez@uach.mx.

²Maestría, Facultad de Contaduría y Administración, Universidad Autónoma de Chihuahua, mario.alberto.sigala@gmail.com

elige una zona con un menor potencial fotovoltaico, siendo altamente representativo desde el punto de vista de rentabilidad de cualquier proyecto regional la selección de zonas con alto potencial fotovoltaico.

Palabras clave: Energías renovables, Desarrollo regional, Sustentabilidad

Introducción

A nivel mundial las políticas públicas comienzan a dar relevancia a la relación entre energía y pobreza, reconociendo como los servicios de energía limpios y asequibles mejoran la calidad de vida (García R, 2014). El desarrollo social y económico se puede dar a través de las energías renovables contando con un suministro de energía seguro y con mayor acceso regional, factor determinante para el desarrollo ya que la energía interviene en muchos servicios como: salud, educación, seguridad, alimentación entre otros, además de reducir el cambio climático e impactos ambientales (IPCC, 2011).

La energía solar contribuye con los objetivos del desarrollo sustentable donde más específicamente en el objetivo siete, energía asequible y no contaminante, menciona que es vital apoyar nuevas iniciativas económicas y laborales que aseguren el acceso universal a los servicios de energía modernos, mejoren el rendimiento energético y aumenten el uso de fuentes renovables para crear comunidades más sostenibles e inclusivas y para la resiliencia ante problemas ambientales como el cambio climático (ONU, 2015). Cada vez resulta ser más preocupante el impacto al calentamiento global en consecuencia al aumento del consumo energético necesario para lograr los niveles de desarrollado económico y social proyectados (García R, 2014).

Las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero anuales a nivel mundial han aumentado en diez giga toneladas de dióxido de carbono equivalentes (Gt CO₂eq) entre 2000 y 2010, este aumento se ha dado en gran parte por el sector suministro de energía con un aporte del 47%. De acuerdo a los escenarios proyectados en el quinto informe de evaluación del panel intergubernamental de cambio climático (IPCC), se contempla que las emisiones directas de CO₂ procedentes del sector de suministro de energía casi se duplicarán o incluso podrían llegar a triplicarse en 2050 en comparación con el nivel del año 2010 (IPCC, 2015).

La energía es el sector que contribuye principalmente al cambio climático y representa alrededor del 71% de las emisiones de gases de efecto invernadero en México (SEMARNAT, INECC, 2018). El sistema eléctrico nacional, demanda una considerable cantidad de recursos naturales no renovables, generando grandes cantidades de gases contaminantes, por lo que en los últimos años, se ha buscado el desarrollo de la sustentabilidad energética con el fin de incluir al medio ambiente como uno de los elementos de competencia que contribuyan al desarrollo económico y social de la población, por lo que al cierre del 2015 la capacidad instalada de generación mediante energías renovables se incrementó 6.6% respecto al periodo 2014, llegando a los 17,140.4 MW, lo cual representó el 25.2% de la capacidad de generación total (SENER 2016).

Desde el cuarto informe de evaluación del IPCC, muchas tecnologías de energía renovable han demostrado considerables mejoras de rendimiento y reducciones de costos, y un número cada vez mayor de estas tecnologías han logrado un nivel de madurez que permite su implantación a una escala significativa (IPCC, 2015). Aunado a esto México se localiza en el cinturón solar encontrándose en los primeros lugares con potencial para el uso de la energía solar (EPIA, 2010; Alemán-Nava et al., 2014).

De acuerdo al atlas nacional de zonas con alto potencial de energías limpias, instrumento clave en la toma de decisiones para la inversión de energías limpias con el fin de reducir la dependencia a combustibles fósiles, Chihuahua es uno de los estados con gran potencial para la energía solar (AZEL, 2017). Debido a esto es de suma importancia identificar las zonas con mayor potencial fotovoltaico en el estado para la implementación de energía solar.

Metodología

Cálculo del potencial fotovoltaico del estado y municipios de Chihuahua

Con el fin de obtener el potencial fotovoltaico e identificar las zonas más adecuadas para parques solares en el estado de Chihuahua y sus municipios se creó un modelo de geoprocamiento utilizando el software ArcGIS® 10.2.1; el modelo utilizó la herramienta de radiación solar, la cual calcula la radiación global por cuenca hemisférica y obtiene la radiación total para cada punto del modelo digital de elevación (MDE). La herramienta de radiación de área solar se basa en modelos previamente desarrollados y ampliados por Fu y Rich (Rich, 1994; Rich y Fu, 2000 y 2002). El modelo utiliza primero un bloque para convertir un raster de salida radiación global con unidad de vatios-hora por metro cuadrado (Wh/m^2) a kilovatios-hora por metro cuadrado (KWh/m^2). El análisis se realizó considerando 365 días del año 2019, desde el 1 de enero al 31 de diciembre; la salida fue entonces ponderada por la eficiencia de conversión de las celdas solares (15 %), el mapa de potencial fotovoltaico se clasificó en seis clases.

El raster de las áreas de interés se clasificó en un mapa binario (menor o mayor a 650 $\text{kWh/m}^2/\text{año}$), posteriormente se convirtió a formato vectorial para calcular el área total de alto potencial, finalmente se agregaron los límites municipales para determinar qué municipios tenían un mayor potencial. De los 67 municipios que tiene el estado de Chihuahua se seleccionaron los municipios que presentaron el más alto potencial fotovoltaico siendo: Ahumada, Aldama, Allende, Ascensión, Casas Grandes, Chihuahua, Coyame del Sotol, Cuauhtémoc, Janos, Jiménez, Juárez y Mequí posteriormente se calcularon las áreas con alto potencial de cada municipio.

Factibilidad para satisfacer la demanda de electricidad agrícola en municipios con alto potencial

Se obtuvo la generación eléctrica del estado de Chihuahua y en específico para uso agrícola en los municipios de alto potencial fotovoltaico (INEGI 2014) para determinar si el área de alto potencial fotovoltaico satisfacía la demanda.

Ventajas económicas de la selección de zonas en el municipio de Aldama

Del anuario estadístico del estado de Chihuahua 2014 (INEGI, 2014) se obtuvieron los datos de la demanda diaria de energía eléctrica para el municipio de Aldama según el tipo de servicio: doméstico, alumbrado público, bombeo de agua potable y negra, agrícola, industrial y servicios considerando meses de 30.4 días. Se proyectaron escenarios de costos para plantas solares en tres zonas de potencial fotovoltaico: baja, media y alta del municipio para cada tipo de servicio. Lo cual se obtuvo dividiendo la demanda diaria entre el potencial fotovoltaico diario de la zona (baja, media, alta) con el fin de obtener el número de paneles necesarios, considerando un panel de 2m^2 y finalmente multiplicándolos por su costo unitario en el mercado al momento del análisis.

Resultados

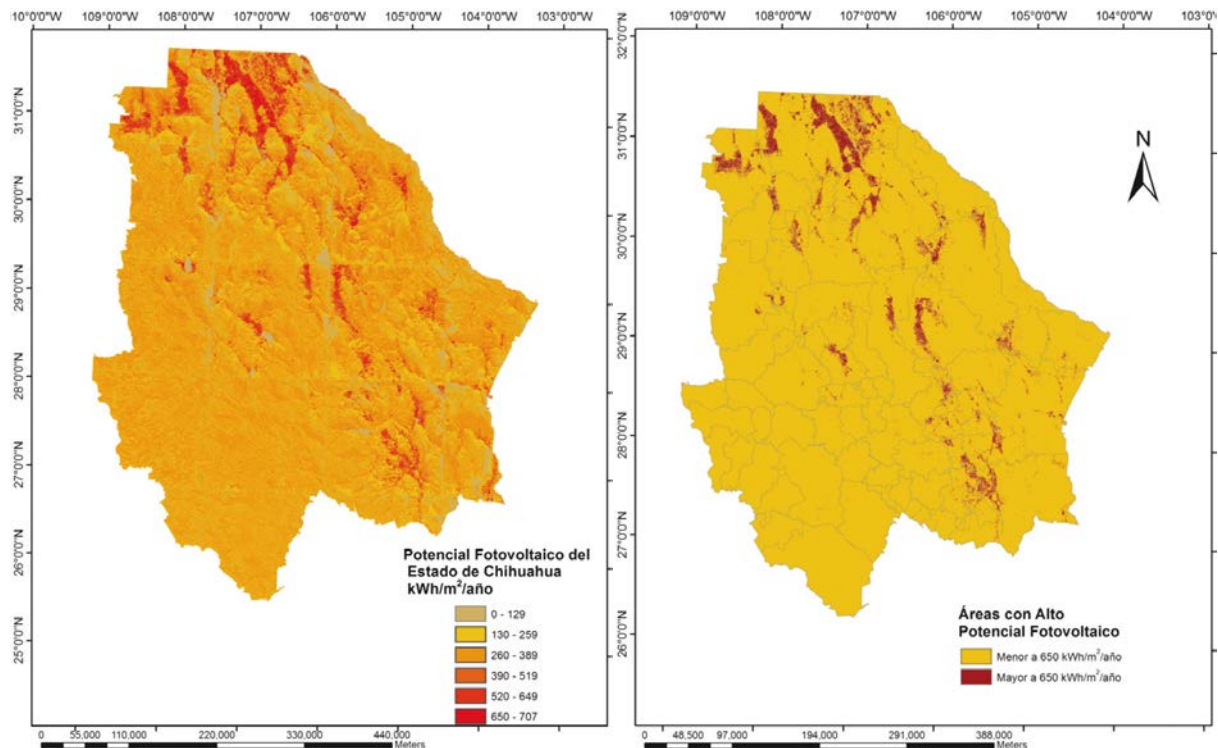
Potencial fotovoltaico del estado y municipios de Chihuahua

El modelo de geoprocésamiento produjo un raster de potencial fotovoltaico anual para el estado de Chihuahua con una resolución espacial de 60 m, un rango de 0-707 kWh/m²/año y una media de 295 kWh/m²/año (Figura 1).

Las zonas más adecuadas para parques solares fueron seleccionadas por el modelo con una superficie total de 8,660 km², lo que representa sólo el 3.5% del estado de Chihuahua. Los municipios con mayores áreas de alto potencial fotovoltaico son: Ascensión, Ahumada, Juárez, Janos, Aldama, Chihuahua, Cuauhtémoc, Meoqui, Jiménez, Allende, Casas Grandes y Coyame del Sotol (Figura 1).

El área necesaria para cubrir la demanda de electricidad para Chihuahua fue de 23.74 km², que es menor que el área con mayor potencial fotovoltaico del estado (8,660 km²). Se destaca que seleccionar sitios con esta metodología ayuda a generar 2.2 veces más electricidad (650 kWh/m²/año) en lugar de seleccionar sitios aleatoriamente (295 kWh/m²/año).

Figura 1. Potencial fotovoltaico del estado de Chihuahua y Áreas con alto potencial



Factibilidad para satisfacer la demanda de electricidad agrícola en municipios con alto potencial

La Figura 2 muestra las áreas de los municipios con más alto potencial fotovoltaico comprendiendo los municipios de: Ascensión, Ahumada, Aldama, Allende, Casas Grandes, Chihuahua, Coyame, Cuauhtémoc, Janos, Jiménez, Juárez y Mequí, los cuales presentan un área total capaz de satisfacer

las necesidades y hasta exceder la demanda de energía eléctrica en sus actividades agrícolas como lo muestra la Tabla 1.

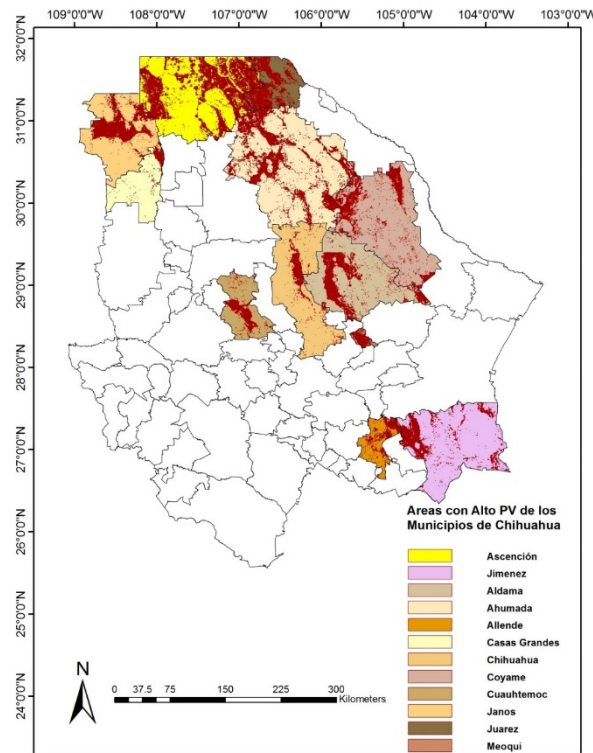
Tabla 1. Demanda de energía por municipio y área para satisfacerla en los municipios de alto potencial fotovoltaico en el estado de Chihuahua

Municipio	Área factible (km ²)	Demanda de energía para actividades agrícolas (MWh/año)	Km para satisfacer la demanda	Satisface la demanda	Cuantas Veces
Ascensión	2257	210937	0.32	SI	6955
Ahumada	1337	315593	0.49	SI	2754
Aldama	603	41961	0.06	SI	9342
Allende	135	32654	0.05	SI	2679
Casas Grandes	108	45168	0.07	SI	1549
Chihuahua	208	51959	0.08	SI	2607
Coyame	486	*	*	*	*
Cuauhtémoc	198	234281	0.36	SI	549
Janos	635	133035	0.20	SI	3104
Jiménez	314	224436	0.35	SI	910
Juárez	657	6605	0.01	SI	64700
Mequí	101	51155	0.08	SI	1284

*No se presentan resultados.

**Datos obtenidos del anuario estadístico de INEGI 2025 en el sector agrícola

Figura 2. Municipios y Áreas con alto potencial fotovoltaico



Los municipios que presentaron un alto potencial fotovoltaico en el estado de Chihuahua, son los mismos que producen los principales cultivos del estado. Esto quiere decir que para estos municipios sería demasiado factible la introducción de tecnologías para la captación de rayos solares para generar energía e impulsar el desarrollo sustentable de la agricultura, debido a su alto potencial fotovoltaico.

Se puede observar en la Tabla 2 que son más los usuarios en el servicio doméstico, pero ese servicio no utiliza tanta energía como en el caso del servicio agrícola que son pocos los usuarios, pero mucha la energía que utilizan, por lo cual sería de suma importancia la implementación de energías solares con el fin de mitigar el cambio climático. El sector doméstico utiliza la energía para un beneficio propio, es decir para vivir el día a día de cada familia, en cambio la agricultura utiliza la energía para hacer el proceso de la materia prima en beneficio de la población es por eso que es más viable beneficiar de alguna manera el sector agrícola para que siga beneficiando a la ciudadanía.

Tabla 2 .Usuarios y volumen de energía eléctrica según tipo de servicio

Concepto	Total	Domestico	Alumbrado publico	Bombeo de aguas potables y negras	Agrícola	Industrial y de servicios
Usuarios	1 195 939	1 067 152	6 140	1 439	16 152	105 056
Volumen de las ventas (mega watts-hora)	11 283 502	1 890 766	158 045	131 689	2 600 779	6 502 223

Ventajas económicas de la selección de zonas en el municipio de Aldama

Se puede observar que hay una gran diferencia en las elecciones de las zonas para implementar plantas solares ya que económicamente se observa que la zona C que es la de mayor potencial fotovoltaico tendría un costo más de tres veces menor que si se implementara en la zona A que es la de menor potencial fotovoltaico como lo muestra la Tabla 3.

Tabla 3. Análisis comparativo por zonas y tipos de servicio

Tipo de Servicio	Zona A	Zona B	Zona C
Doméstico	\$37'291,525.42	\$57'596,858.64	\$169'246,153.85
Alumbrado Público	\$5'813,559.32	\$8'979,057.59	\$26'384,615.38
Bombeo de agua y potable y negras	\$1,583,050.85	\$2,445,026.18	\$7,184,615.38
Agrícola	\$113,027,118.64	\$174,570,680.63	\$512,969,230.77
Industrial y de servicios	\$36,983,050.85	\$57,120,418.85	\$167,846,153.85
Total	\$194,698,305.1	\$300,712,041.89	\$883,630,769.23

Conclusiones

Se determinó que el estado de Chihuahua cuenta con un rango de potencial fotovoltaico anual de 0-707 kWh/m²/año con un promedio de 295 kWh/m²/año. Las zonas más adecuadas para parques solares cuentan con una superficie total de 8,660 km², lo que representa sólo el 3.5% del estado de Chihuahua tomando en cuenta que para cubrir la demanda de electricidad para el estado sería

necesaria un área de 23.74 km², área mucho menor del área con la que contaría el estado. Los municipios con mayores áreas de alto potencial fotovoltaico son: Ascensión, Ahumada, Juárez, Janos, Aldama, Chihuahua, Cuauhtémoc, Meoqui, Jiménez, Allende, Casas Grandes y Coyame del Sotol los cuales presentan un área total con un alto potencial fotovoltaico y pueden llegar a satisfacer las necesidades y hasta exceder la demanda de energía eléctrica en sus actividades agrícolas en cada municipio, siendo estos mismos municipios productores de los principales cultivos del estado como nuez, manzana, avena forrajera, algodón y cebolla. Finalmente, al realizar una elección de zonas con mayor potencial fotovoltaico para la implementación de parques solares se podría realizar un ahorro hasta tres veces más bajo que si se elige una zona con un menor potencial fotovoltaico, siendo altamente representativo desde el punto de vista de rentabilidad para la inversión de plantas de energía solar en cualquier proyecto regional la selección de zonas.

Bibliografía

- Alemán-Nava, G.S., Casiano-Flores, V.H., Cárdenas-Chávez, D.L., Díaz-Chavez, R., Scarlat, N., Mahlkecht, J., Dallemand, J.F., and Parra, R. (2014) “Renewable energy research progress in Mexico: A review”. *Renew sust energ rev.* 32:140–153. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.004>.
- AZEL, Atlas nacional de Zonas con alto potencial de Energías Limpias, (2017) Disponible en: <https://dgel.energia.gob.mx/azel/mapa.html?lang=es>.
- EPIA, European Photovoltaic Industry Association. (2010) “Unlocking the Sunbelt Potential of Photovoltaics”. Disponible en: http://www.mesia.com/wp-content/uploads/2012/08/EPIA-Unlocking_the_Sunbelt_Potential-of-photovoltaic.pdf.
- FU P., and Rich P.M. (2000) “The solar analyst “1.0 user manual: Helios Environmental Modeling Institute LLC, 53.
- FU P., and Rich P.M. (2002) “A geometric solar radiation model with applications in agriculture and forestry”. *Comput electron agr.* 37:25–35.
- García, R, (2014) Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), “Pobreza energética en América Latina”, Naciones Unidas, Santiago de Chile.
- IPCC, Panel Intergubernamental de Cambio Climático, (2011) "Resumen para responsables de políticas", en el Informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático del IPCC [edición a cargo de O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow], Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, y Nueva York, Nueva York, Estados Unidos de América.
- IPCC, Panel Intergubernamental de Cambio Climático, (2015) Cambio climático, 2014 Mitigación del cambio climático Contribución del Grupo de trabajo III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Suiza. Disponible en www.mitigation2014.org.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (2014) “Anuario estadístico y geográfico de Chihuahua 2014” disponible en:

http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos//prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/anuario_14/702825065409.pdf.

ONU, Organización de Las Naciones Unidas, “Objetivos Del Desarrollo Sostenible”, 2015, disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>.

SEMARNAT e INECC, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015, 2018, México.

SENER, Secretaria de Energía, (2016) “Prospectiva de Energías Renovables 2016-2030”. México.



ENERGÍA SOLAR PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE DEL ESTADO DE CHIHUAHUA ENSAYO DE DIVULGACIÓN

Myrna Concepción Nevárez-Rodríguez ¹, Mario Alberto Sigala Bustamante ²

¹Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotenológicas, mcnevarez@uach.mx.

²Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Contaduría y Administración, mario.alberto.sigala@gmail.com

DESARROLLO SOCIAL Y ECONÓMICO



**SALUD
EDUCACIÓN
SEGURIDAD
ALIMENTACIÓN**





7 ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE

Aseguren el acceso universal a los servicios de energía modernos, mejoren el rendimiento energético y aumenten el uso de fuentes renovables para crear comunidades más sostenibles e inclusivas y para la resiliencia ante problemas ambientales como el cambio climático

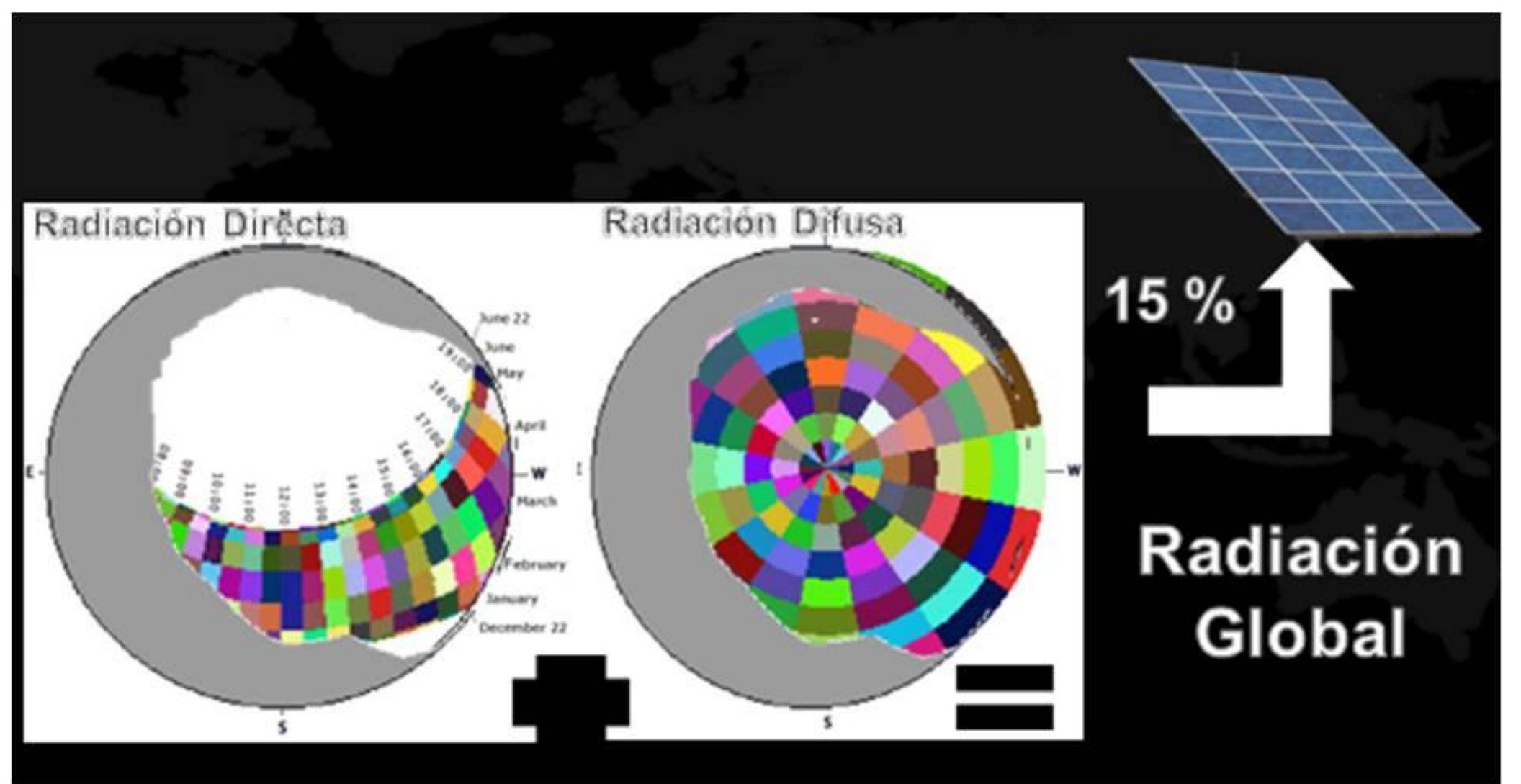
INTRODUCCIÓN






METODOLOGÍA

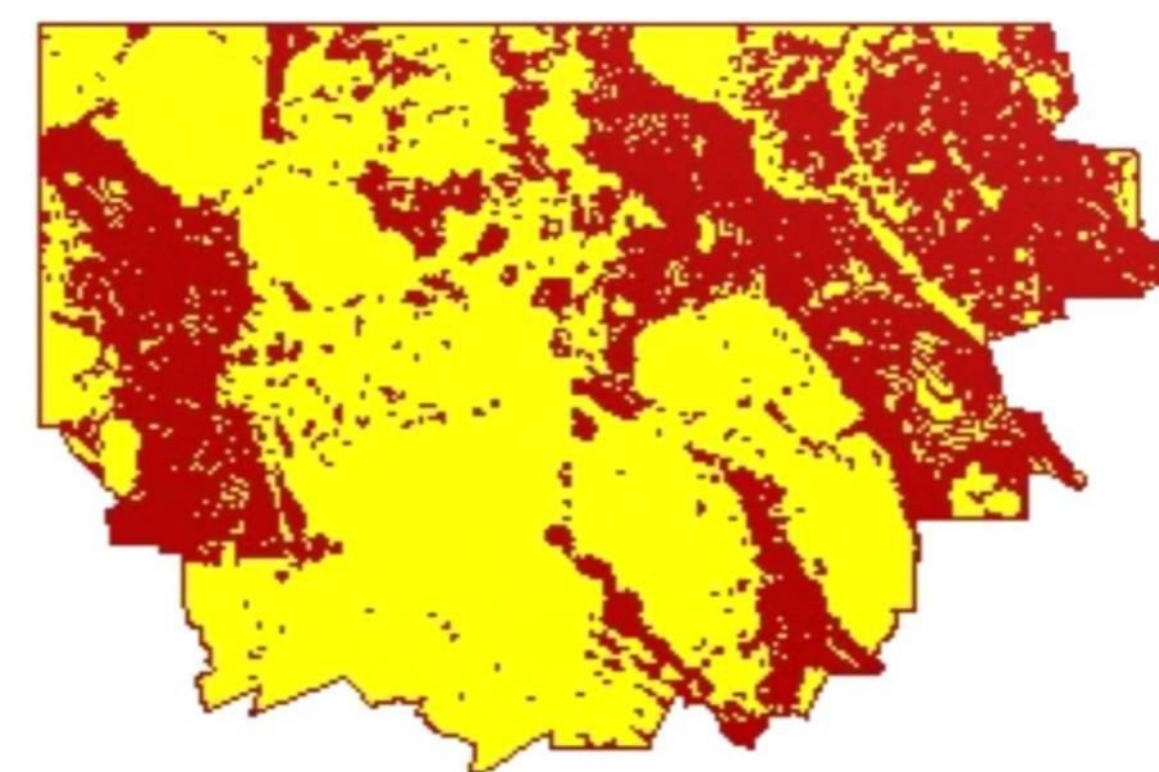

POTENCIAL FOTOVOLTAICO



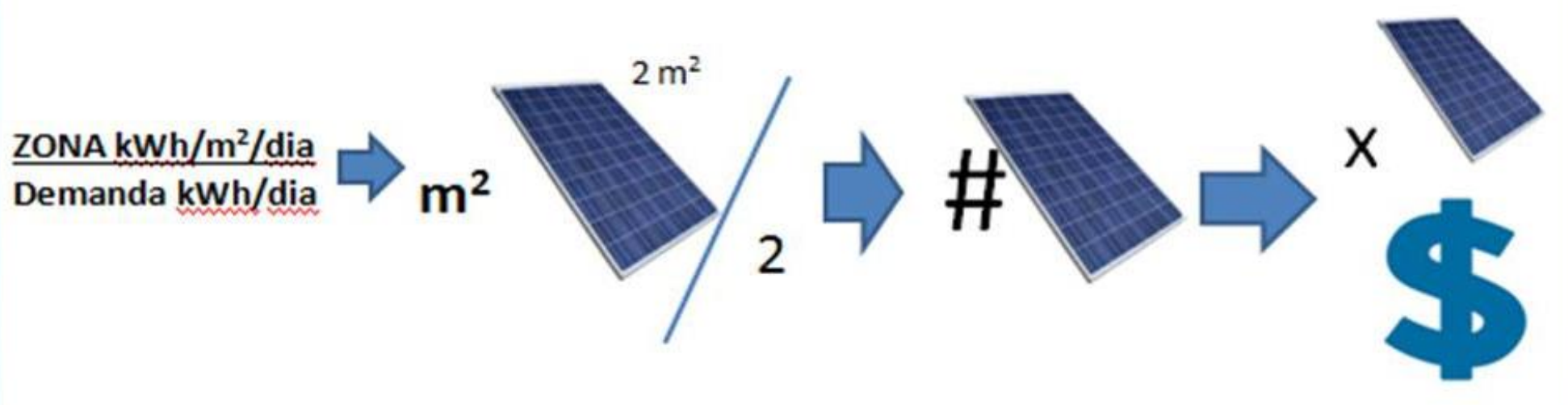
15% ↑ Radiación Global

METODOLOGÍA

FACTIBILIDAD PARA SATISFACER LA DEMANDA DE ELECTRICIDAD

Ventajas económicas de la selección de zonas en el municipio de Aldama



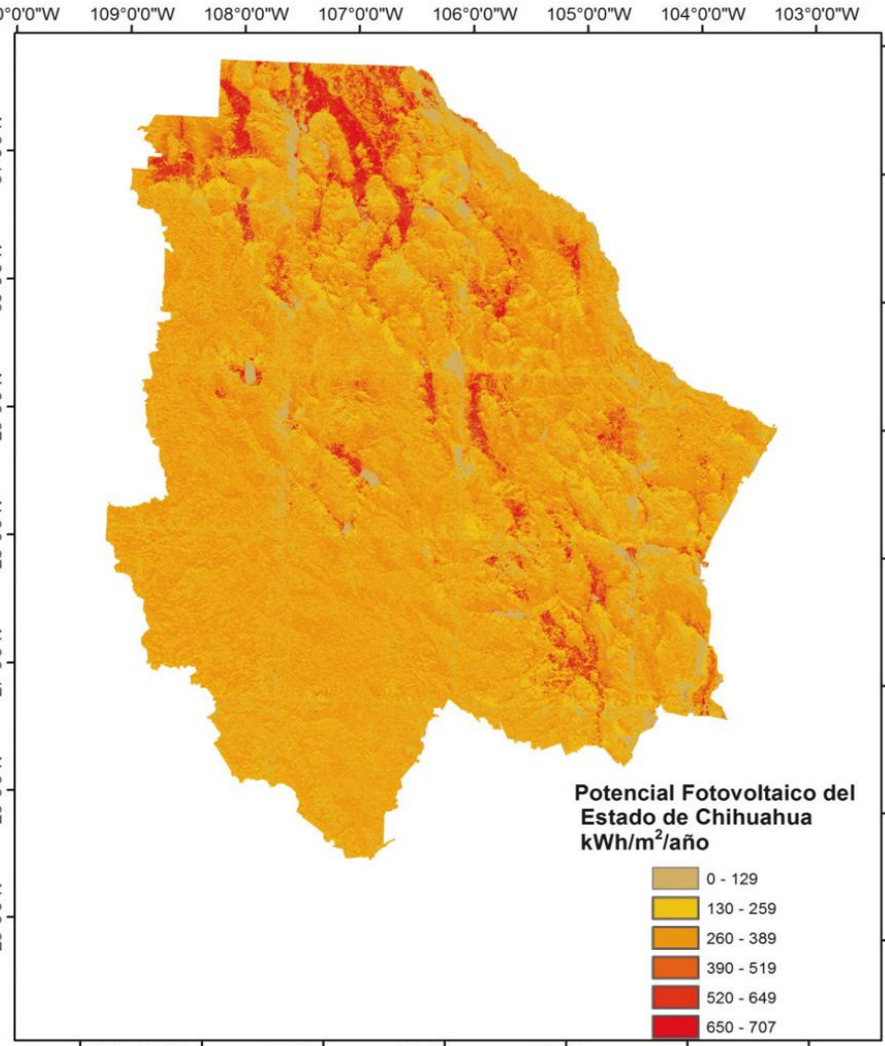
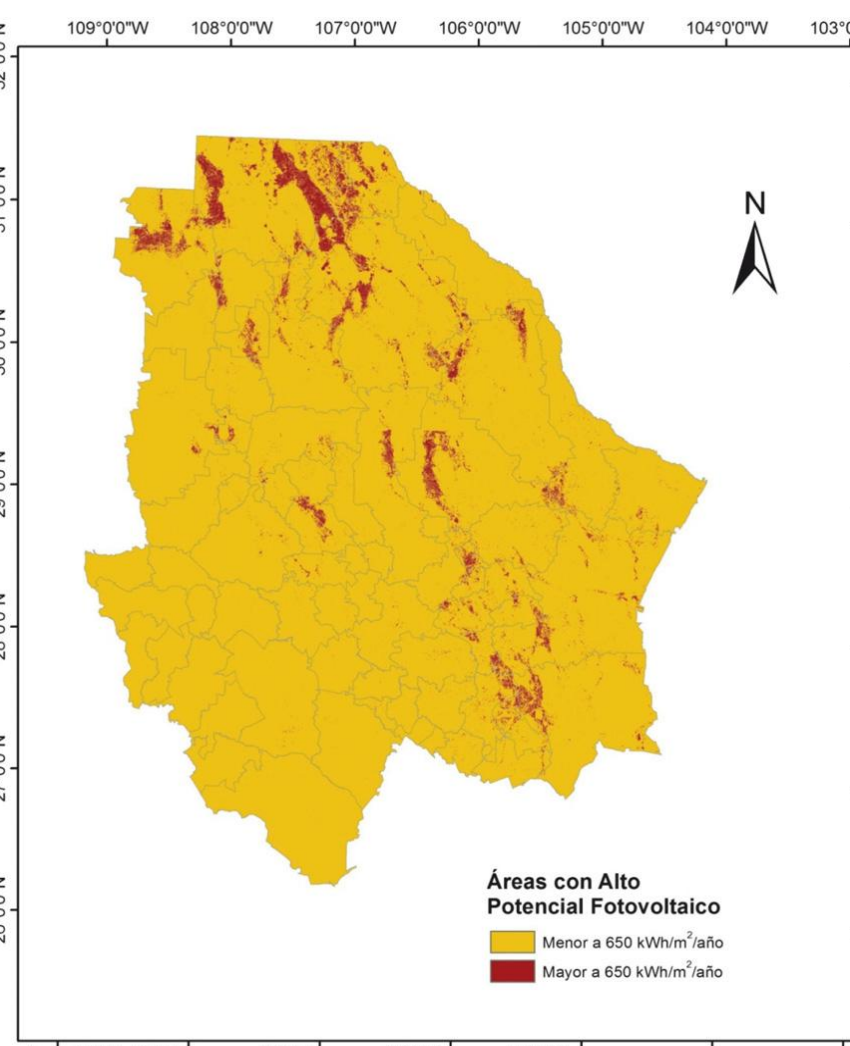
$ZONA \text{ kWh/m}^2/\text{día} \times \text{Demanda kWh/día} = m^2$

$\frac{m^2}{2} = \#$

$\# \times \$ = \$$

RESULTADOS

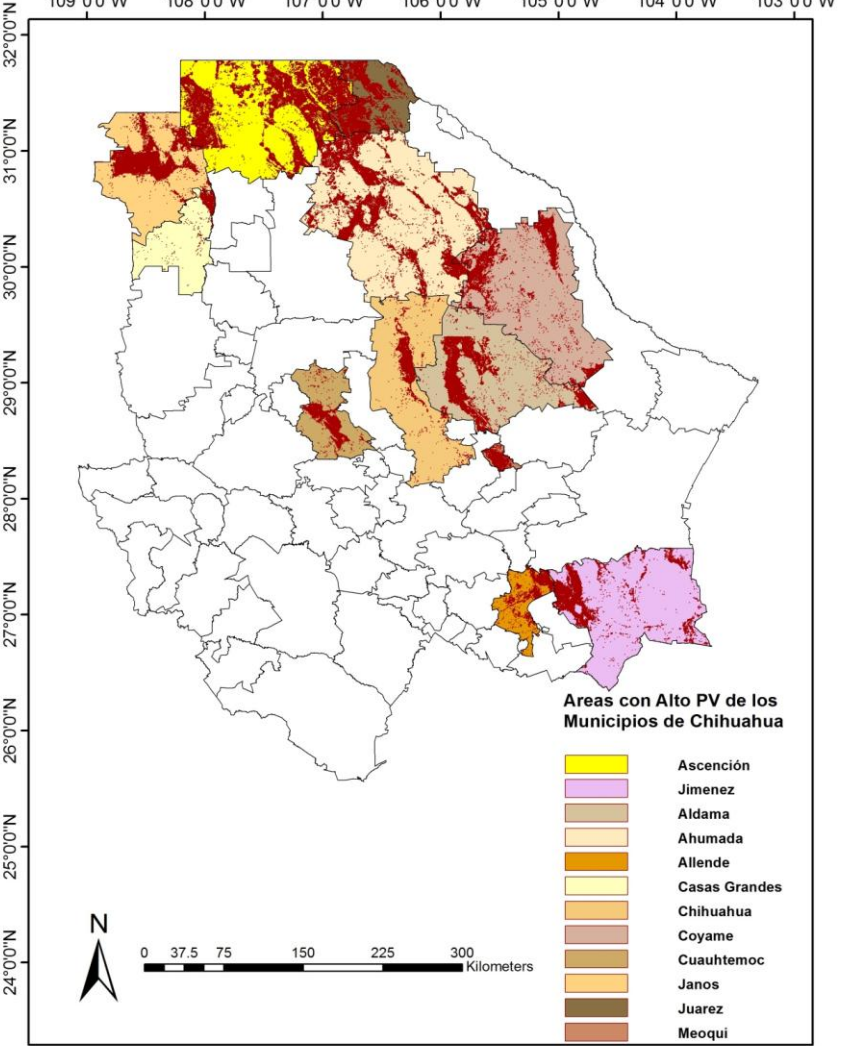
Potencial fotovoltaico del estado de Chihuahua y Áreas con alto potencial

0-707 kWh/m²/año
295 kWh/m²/año μ

Área de alto PV 8,660 km²
Área necesaria para la demanda 23.74 km²

Municipios y áreas con alto potencial fotovoltaico



Demanda de energía por municipio y área para satisfacerla en los municipios de alto potencial fotovoltaico en el estado de Chihuahua

Municipio	Área factible (km ²)	Demanda de energía para actividades agrícolas (MWh/año)	Km para satisfacer la demanda	Satisface la demanda	Cuántas Veces
Ascensión	2257	210937	0.32	SI	6955
Ahumada	1337	315593	0.49	SI	2754
Aldama	603	41961	0.06	SI	9342
Allende	135	32654	0.05	SI	2679
Casas Grandes	108	45168	0.07	SI	1549
Chihuahua	208	51959	0.08	SI	2607
Coyame	486	*	*	*	*
Cuauhtémoc	198	234281	0.36	SI	549
Janos	635	133035	0.20	SI	3104
Jiménez	314	224436	0.35	SI	910
Juárez	657	6605	0.01	SI	64700
Mequí	101	51155	0.08	SI	1284

CONCLUSIONES

El estado de Chihuahua cuenta con un alto potencial fotovoltaico, capaz de satisfacer y exceder la demanda general y del sector agrícola de los municipios con mayor potencial.

La elección de zonas es clave en la rentabilidad para la inversión de plantas de energía solar fotovoltaica.

Análisis comparativo por zonas y tipos de servicio

Tipo de Servicio	Zona A	Zona B	Zona C
Doméstico	\$37'291,525.42	\$57'596,858.64	\$169'246,153.85
Alumbrado Público	\$5'813,559.32	\$8'979,057.59	\$26'384,615.38
Bombeo de agua y potable y negras	\$1,583,050.85	\$2,445,026.18	\$7,184,615.38
Agrícola	\$113,027,118.64	\$174,570,680.63	\$512,969,230.77
Industrial y de servicios	\$36,983,050.85	\$57,120,418.85	\$167,846,153.85
Total	\$194,698,305.1	\$300,712,041.89	\$883,630,769.23

