

Geographic Atlas for use in the design of photovoltaic systems in Honduras

Atlas Geográfico para uso en Diseño de Sistemas Solares Fotovoltaicos en Honduras

Jeffrey Ilias¹, Juan Paredes¹, Héctor Villatoro¹

¹Universidad Tecnológica Centroamericana, jeffreyIlias64@gmail.com, hector.villatoro@unitec.edu, juan.paredes1633@gmail.com, Honduras.

ISSN: 2737-6060

Abstract

The photovoltaic generation business in Honduras began in 2013 with the implementation of incentives for the generation of electricity with solar resources. Thanks to this, at the end of 2015 Honduras had 388 MW installed in the system and by 2020 the country had 510.8 MW of installed capacity of which an average of 40.93 MW was added annually to the grid. Consequently, this growth caused an increase in the supply and demand of Solar-PV technology in the country. This research aims to contribute to the design stage of a photovoltaic installation, in a preliminary stage by creating a geographic atlas that contains the following information: specific production in the first year and year 25, annual horizontal irradiation, losses due to temperature, average temperature, maximum and minimum temperature. The meteorological parameters were obtained from the Meteonorm 8.0 database and the photovoltaic system that was simulated to obtain the specific production in the first year and year 25, together with the losses due to temperature, consists of a grid-connected installation on the ground, solar modules. 400 W with a solar array of 25 photovoltaic modules in a string and 8 strings in parallel, facing south with a 15 ° tilt and a 60-kW inverter with 8 MPPT inputs. Eighteen maps were created at the departmental level and seven at the municipal level to present the seven variables. The results obtained show the highest and lowest values of the specific production for the first year, specific production for the twenty-fifth year, annual horizontal irradiation, losses due to temperature, average temperature, maximum temperature, and minimum temperature for both the departmental and municipal levels in Honduras.

Index terms: geographic atlas, meteorological parameters, temperature map, solar map.

Resumen

El rubro de la generación fotovoltaica en Honduras comenzó a partir del año 2013 con la implementación de los incentivos a la generación de energía eléctrica con recurso solar. Gracias a esto a finales del año 2015 Honduras contaba con 388 MW instalados en el sistema y para el año 2020 el país contaba con 510.8 MW de capacidad instalada con lo cual se añadía anualmente en promedio 40.93 MW a la red. Por consiguiente, este crecimiento provocó un aumento en la oferta y demanda de la tecnología en el país. Debido a ello, la investigación tiene como fin ayudar a eficientizar la etapa de diseño de una instalación fotovoltaica, por lo menos en una etapa preliminar mediante la creación de un atlas geográfico que contiene la siguiente información: producción específica en el primer año y año veinticinco, irradiación horizontal anual, pérdidas por temperatura, temperatura promedio, temperatura máxima y mínima. Los parámetros meteorológicos se obtuvieron de la base de datos de Meteonorm 8.0 y el sistema fotovoltaico que se simuló para obtener la producción específica en el primer año y año veinticinco junto con las pérdidas por temperatura consta de una instalación conectada a red sobre terreno, módulos solares de 400 W con un arreglo solar de 25 módulos fotovoltaicos en una cadena y 8 cadenas en paralelo, orientados al sur con una inclinación de 15° y un inversor de 60 kW con 8 entradas MPPT. Se crearon dieciocho mapas a nivel departamental y siete a nivel municipal para presentar las siete variables. Los resultados obtenidos muestran los valores más altos y bajos de la producción específica para el primer año, producción específica para el año veinticinco, irradiación horizontal anual, pérdidas por temperatura, temperatura promedio, temperatura máxima y temperatura mínima tanto para el nivel departamental como el municipal de Honduras.

Palabras clave: atlas geográfico, parámetros meteorológicos, mapas de temperatura, mapa solar.

1. INTRODUCCIÓN

La tecnología fotovoltaica ha ido creciendo en el mundo a lo largo de los años, por ejemplo, a finales del año 2013 la capacidad instalada acumulada a nivel mundial era de aproximadamente de 134 GW [1] y para finales el año 2019 fue de 617.2 GW [2] teniendo un crecimiento promedio de 81.68 GW que se añadían anualmente a nivel mundial [3].

En el caso de Honduras el crecimiento de la energía fotovoltaica comenzó en el año 2013 con la modificación del decreto No. 138-2013 de la ley de promoción a la generación de energía eléctrica con recursos renovables [4] proporcionando la apertura a los proyectos de generación fotovoltaica en el país. Debido a ello, para el año 2015 la capacidad instalada de energía solar correspondía al 17.2 % de la matriz eléctrica [5] y para el año 2020 la capacidad instalada aumentó hasta un 19.8 % [6]. En vista de este crecimiento, se ve oportuno mejorar las etapas que conllevan una instalación fotovoltaica con el propósito de mejorar los servicios de este rubro debido a que, la demanda y oferta en el país registran un incremento sostenido.

A pesar de lo mencionado anteriormente, en Honduras, la información pública disponible únicamente permite consultar datos meteorológicos actuales (temperatura, precipitación, viento), históricos por día de algunas estaciones meteorológicas (dichos datos no pueden ser exportados para poder analizar rápidamente un año entero), la irradiación horizontal y directa normal global del país, además, hace falta una base de datos que pueda utilizarse como referencia para los diseñadores ya que a veces puede presentarse problemas al momento de definir la generación de un proyecto por el uso de diferentes bases de datos o programas los cuáles pueden dar diferentes valores para el mismo sitio.

Es por ello, que la investigación tiene como objetivo reducir en al menos 8 horas, el tiempo empleado en la toma de decisión respecto a la factibilidad de una instalación fotovoltaica en un lugar determinado mediante el uso de un atlas geográfico que considere las temperaturas, producción específica, irradiación horizontal anual y pérdidas por temperatura del lugar, además, se aumentaría la cantidad y calidad de información disponible para consultar durante la etapa de diseño. El atlas contendrá veinticinco mapas mostrando la siguiente información: producción específica en el primer año; producción específica en el año veinticinco del sistema fotovoltaico; irradiación horizontal anual; las pérdidas por temperatura debido al emplazamiento del proyecto; temperatura promedio; temperatura máxima y temperatura mínima.

Los resultados demuestran que, a nivel departamental, Choluteca presenta la producción específica para el primer año y año veinticinco más alta. También recibe la mayor irradiación horizontal anual en el país. El departamento de La Paz mostró tener las temperaturas más frías de Honduras y Valle,

las más calientes. A nivel municipal, se encontró que, las producciones específicas *más altas* para el año uno y año veinticinco se ubican en la zona sur. Por contraparte, las producciones específicas más bajas se encuentran en el este del país. Las temperaturas calientes se presentan tanto en la zona sur como en la zona norte mientras que, las temperaturas frías se concentran en la franja suroccidental. Finalmente, se logró crear dieciocho mapas a nivel departamental y siete mapas a nivel municipal los cuáles presentaron la siguiente información: producción específica en el año uno, la producción específica en el año veinticinco, irradiación horizontal anual, pérdidas por temperatura, temperatura promedio, temperatura máxima y temperatura mínima.

El presente artículo está estructurado por tres capítulos: en el capítulo de metodología se definió la configuración del sistema fotovoltaico (FV), se determinaron los parámetros a utilizar y se estableció la cantidad de mapas que tendrá el atlas; el capítulo de análisis y resultados comprende la información técnica por departamento y municipio presentados con mapas para una mejor comprensión de los datos; el capítulo de conclusiones expone los resultados más relevantes obtenidos. Por *último*, se encuentran las recomendaciones donde se sugieren diversas formas de mejorar la investigación.

2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en la investigación se puede dividir en cuatro partes: definición de las variables, recolección de variables meteorológicas, configuración del sistema fotovoltaico y generación de mapas.

2.1. Definición de las Variables

Para poder llegar a la resolución de cuáles variables tomar en cuenta para presentar en el atlas geográfico, primero se realizó una búsqueda en libros, artículos e internet sobre parámetros que son utilizados en el diseño de un sistema fotovoltaico y se identificaron las siguientes variables:

2.1.1 Producción específica (año 1)

Parámetro muy utilizado en el primer acercamiento con el usuario debido a que permite conocer la cantidad de energía que se podría generar por kilovatio pico instalado en un emplazamiento.

2.1.2 Producción específica (año 25)

La producción específica para el año veinticinco es utilizado para proyectar un ahorro total que obtendría el beneficiario del proyecto, así como también conocer el tiempo que tardaría en recuperar la inversión.

2.1.3 Irradiación horizontal anual

Es una variable que mide el recurso solar anual que posee un determinado lugar. Dicho recurso es utilizado para calcular cuanta energía eléctrica se puede generar en una ubicación.

2.1.4 Pérdidas por temperatura

Las pérdidas por temperatura miden cuanto porcentaje de energía se transforma en calor en lugar de energía eléctrica y son las segundas pérdidas que más perjudica a la generación fotovoltaica.

2.1.5 Temperatura promedio

Es la temperatura usual a la que se encuentra una ubicación determinada y es utilizado para determinar la temperatura de operación de la célula fotovoltaica.

2.1.6 Temperatura máxima

Es la temperatura más alta que ha alcanzado un lugar determinado y es utilizado para calcular el voltaje que proporcionará el módulo fotovoltaico en los días más calientes del emplazamiento. Dicho voltaje es utilizado posteriormente para determinar el número mínimo de módulos requeridos para que el inversor siga operando en las temporadas calientes.

2.1.7 Temperatura mínima

Es la temperatura más baja que ha alcanzado una ubicación determinada. Dicha variable se utiliza en el cálculo del voltaje máximo que puede alcanzar un módulo fotovoltaico para posteriormente determinar la cantidad de módulos fotovoltaicos que pueden ir en una cadena el cual sea admisible por la entrada del inversor.

2.2. Recolección de Variables Meteorológicas

Para obtener los datos de temperatura promedio, temperatura máxima, temperatura mínima e irradiación horizontal anual se utilizó la base de datos de Meteonorm 8.0 proporcionado por el software PVsyst. Sobre esta base de datos, es importante mencionar que:

- La base de datos en esta versión utiliza los datos meteorológicos del año 2000 - 2009 para interpolar debido a que solo cuentan con la información meteorológica de esos años en Honduras.
- Meteonorm obtiene la información de la irradiación mensual mediante las 1 200 estaciones meteorológicas a las que tienen acceso, para el caso de las localidades geográficas en las cuáles no posean estaciones meteorológicas, obtienen los valores para dicho lugar mediante una interpolación entre las 3 estaciones meteorológicas más cercanas al punto de interés [7].

- Para el caso de los datos meteorológicos en intervalos por hora, Meteonorm no mide estos datos, sino que los construye de la misma manera que los valores horarios sintéticos en PVsyst a partir de valores mensuales [7].

Es importante mencionar que la ubicación geográfica seleccionada para la recopilación de información por municipio mediante la opción de añadir archivo de sitio en PVsyst fue la aldea más grande o la cabecera municipal (lugar donde se encuentra las unidades administrativas de un municipio) que tiene cada municipio. Se decidió hacerlo de esta manera debido a que son los lugares más importantes o poblados de cada municipio.

Una vez seleccionado el lugar en el mapa y especificado la base de datos se creó un archivo de salida CSV (valores separados por coma) para un año en intervalo horario (es decir las 8 760 horas que tiene un año) que permite PVsyst en sus opciones avanzadas para poder obtener la temperatura promedio, máxima y mínima por hora de cada municipio de Honduras.

La irradiación horizontal anual recopilada fue la que se importa desde la base de datos de Meteonorm 8.0 una vez que se especifica la localidad geográfica en PVsyst.

2.3. Configuración del Sistema Fotovoltaico

Para poder obtener el valor de la producción específica para el primer año y para el año veinticinco, así como también las pérdidas por temperatura se tuvo que definir la configuración del sistema fotovoltaico para simularlo en cada uno de los municipios de Honduras. La configuración utilizada se presenta en la tabla 1, 2 y 3.

Tabla 1: Generalidades del sistema fotovoltaico

Tipo de conexión	Conectado a red
Relación de potencia DC/AC	1,33
Capacidad nominal DC	80 kW
Capacidad nominal AC	60 kW
Tamaño del arreglo solar	200 módulos fotovoltaicos
Número de módulos en una cadena	25
Número de cadenas en paralelo	8,00
Tipo de montaje	Sobre terreno
Inclinación	15 °
Azimut	0 ° (orientado al sur)

Tabla 2: Especificaciones técnicas del módulo fotovoltaico

Fabricante del módulo solar	Genérico
Potencia del módulo solar	400 W
Tipo de módulo solar	Monocristalino de silicio
Número de células fotoeléctricas	72

Tabla 3: Especificaciones técnicas del inversor

Fabricante del inversor	Genérico
Potencia del inversor	60 kW
Número de entradas MPPT	8,0

Con respecto a las pérdidas consideradas, se utilizaron las pérdidas por defecto que utiliza PVsyst más las pérdidas que se detallan en la tabla 4.

Tabla 4: Pérdidas consideradas en la simulación

Parámetro térmico	Módulos montados libres con circulación de aire
Caída de voltaje a través del diodo en serie	0,7 V
Distancia entre inversor y punto de conexión	50 m
Factor de pérdidas LID	2,0 %
Factor de pérdidas por suciedad anual	3,0 %
Corrección espectral en simulación	sí
Consideración de las pérdidas por envejecimiento	sí

Una vez definido la configuración del sistema se procedió a realizarse 298 simulaciones para cada uno de los municipios de Honduras y se ordenaron en tablas a través del software Microsoft Excel 2020 con el fin de tener un control de los datos.

2.4. Generación de Mapas

Para poder presentar la información recopilada, se elaboraron veinticinco mapas, los cuáles se dividen en:

- Dieciocho mapas a nivel departamental.
- Siete mapas a nivel municipal.

Cabe añadir que, para los mapas a nivel municipal, se utilizará un mapa para cada variable definida (7 en total) en la investigación con el fin de poder ilustrar la información de cada municipio.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados obtenidos se dividen en: información *técnica por departamento en* Honduras e información técnica por municipio en Honduras.

3.1. Información Técnica por Departamento

En esta sección se presenta un total de dieciocho mapas los cuáles se realizaron a nivel departamental y la información que presentan son los promedio que se obtuvieron de los respectivos municipios que tiene cada departamento.

Cabe añadir que los mapas se dividieron por zonas de Honduras, las cuáles son: zona norte o atlántica, zona occidental, zona central, zona sur, zona oriental.

Los valores se presentan en el siguiente orden: producción específica (año 1) [kWh/kWp], producción específica (año 25) [kWh/kWp], irradiación horizontal anual [kWh/m²], pérdidas por temperatura [%], temperatura promedio [°C], temperatura máxima [°C] y temperatura mínima [°C].

3.1.1 Zona norte o atlántica

Es una región que por la influencia recibida directamente del mar Caribe y de los vientos alisios es caliente, húmeda, y lluviosa la mayor parte del año. Posee montañas altas y una planicie costera de anchura variable [8]. En esta zona se encuentran los siguientes departamentos: Cortés, Yoro, Atlántida, Colón, Gracias a Dios e Islas de la Bahía. A continuación, se presentan los mapas de los departamentos mencionados, desde la Fig. 1 hasta la Fig.6.

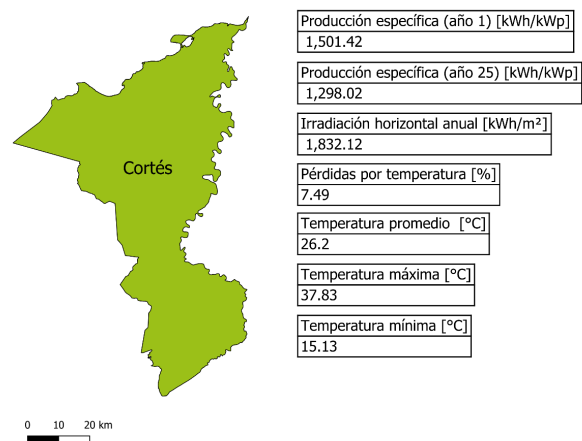


Figura 1: Información técnica de Cortés

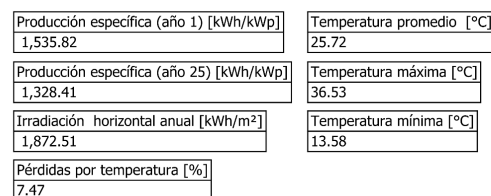


Figura 2: Información técnica de Yoro

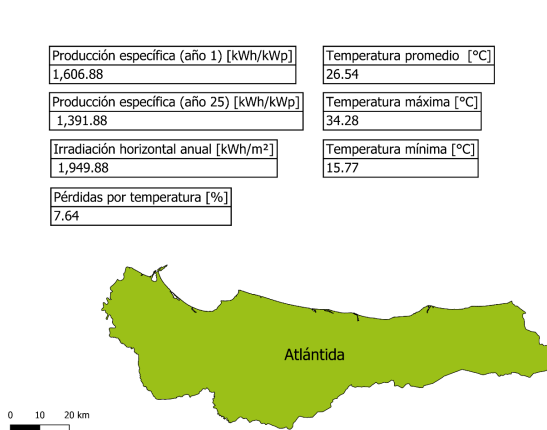


Figura 3: Información técnica de Atlántida

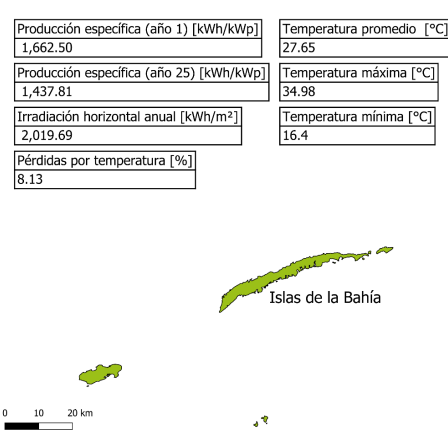


Figura 6: Información técnica de Islas de la Bahía

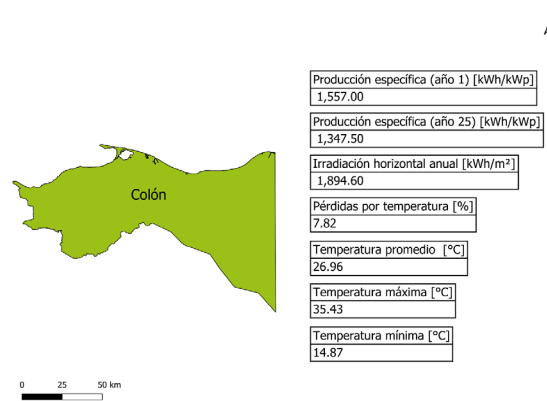


Figura 4: Información técnica de Colón

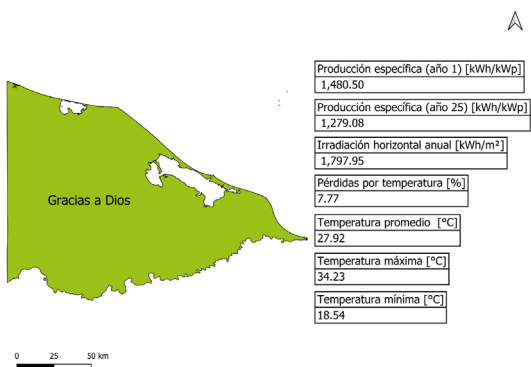


Figura 5: Información técnica de Gracias a Dios

Entre estos seis departamentos, el que presentó la mayor producción específica en el primer año fue Islas de la Bahía con una producción específica de 1 662,50 kWh/kWp mientras que Gracias a Dios presentó la producción específica más baja con un valor de 1 480,50 kWh/kWp. Con respecto a la irradiación horizontal anual, el departamento de Islas de la bahía es el que más irradiación anual recibe con un valor de 2 019,69 kWh/m² mientras que Gracias a Dios recibe la menor irradiación anual siendo este valor 1 797,95 kWh/m².

El departamento de la zona norte que más pérdidas por temperatura presenta es el de Islas de la Bahía con un valor de 8,13% mientras que el que menos pérdidas presenta producto de la temperatura es Yoro con un valor de 7,47% de pérdidas por temperatura.

La temperatura promedio más elevada entre estos departamentos corresponde a Gracias a Dios con un valor de 27,92 °C y la más baja corresponde a Yoro con una temperatura promedio de 25,72 °C. El departamento que tuvo la temperatura más alta en esta zona fue Cortés con un valor de 37,83 °C mientras que Gracias a Dios tuvo un pico de temperatura menor de 34,23 °C. Por último, el departamento con la temperatura valle más baja fue Yoro con una temperatura mínima de 13,58 °C mientras que Gracias a Dios presentó un valle ligeramente superior de 18,54 °C como temperatura mínima.

3.1.2 Zona occidental

Esta zona se caracteriza por tener dos tipos de clima: una estación seca, que inicia desde el mes de diciembre y finaliza en marzo, también está la estación lluviosa que da inicio en abril y finaliza en noviembre. Dicha zona está conformada por los siguientes departamentos: Santa Bárbara, Copán, Ocotepeque, Lempira, Intibucá y La Paz [9]. Desde la Fig. 7 hasta la Fig. 12 se presentan estos departamentos.

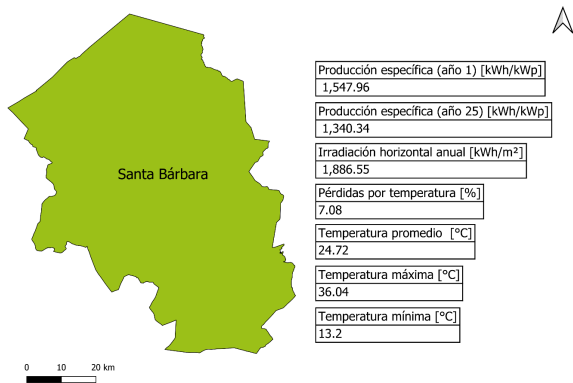


Figura 7: Información técnica de Santa Bárbara

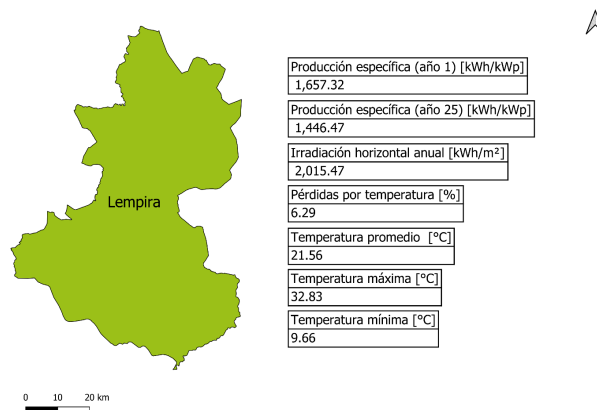


Figura 10: Información técnica de Lempira

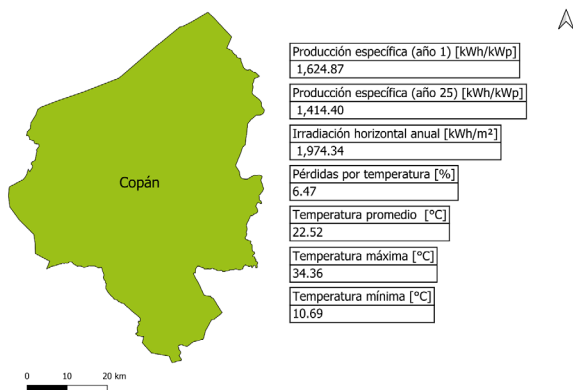


Figura 8: Información técnica de Copán

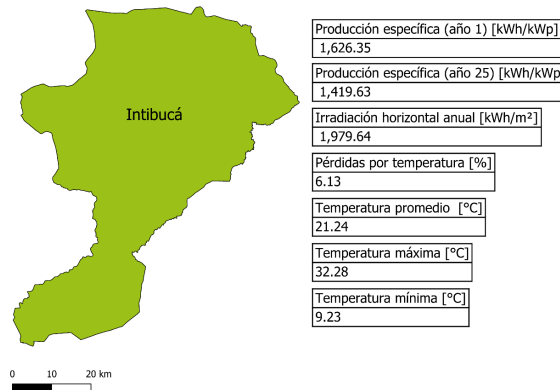


Figura 11: Información técnica de Intibucá

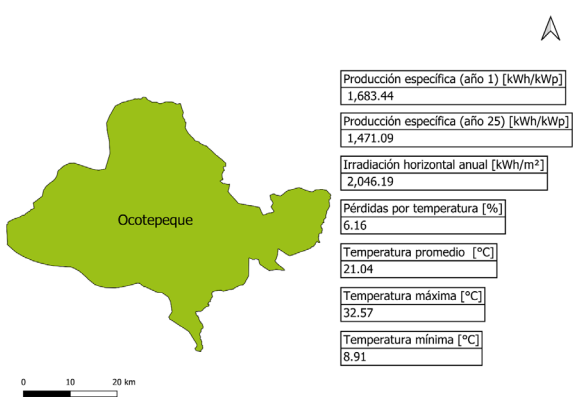


Figura 9: Información técnica de Ocotepeque

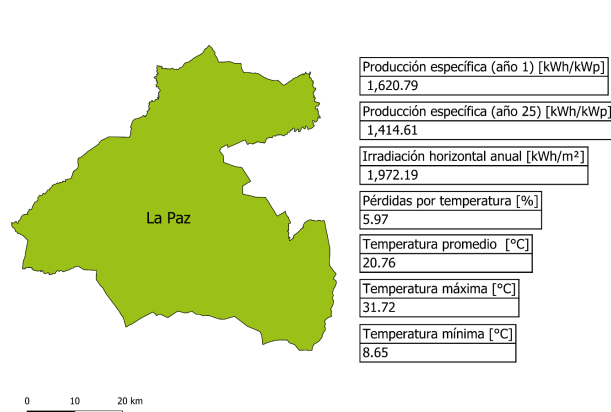


Figura 12: Información técnica de La Paz

El departamento de la zona occidental que presentó la mayor producción específica en el primer fue Ocotepeque, con un valor de 1 683,44 kWh/kWp por contraparte, el departamento de Santa Bárbara fue el que menos producción específica tuvo,

con un valor de 1 547,96 kWh/kWp.

Ocotepeque también fue el departamento que tuvo la mayor irradiación horizontal anual con una cantidad de 2 046,19 kWh/m² mientras que Santa Bárbara fue el que menos irradiación horizontal anual recibió con un valor de 1 886,55 kWh/m².

La Paz fue el departamento que presentó las menores pérdidas por temperatura siendo este valor de 5,97 % y Santa Bárbara fue el departamento que mayores pérdidas por temperatura presentó con un porcentaje de 7,08 %.

Santa Bárbara posee la temperatura promedio, temperatura máxima y temperatura mínima más alta entre los departamentos de la zona occidental, siendo la temperatura promedio 24,72 °C, la máxima de 36,04 °C y la mínima de 13,02 °C. Por otra parte, La Paz es el departamento con las temperaturas más bajas, siendo su temperatura promedio de 20,76 °C, la máxima de 31,72 °C y la mínima de 8,65 °C.

3.1.3 Zona central

La zona topográfica es montañosa y se presentan dos tipos de climas: caliente en los valles y templado en las mesetas y montañas. En esta zona se encuentra el departamento de Comayagua y Francisco Morazán [8]. Dichos departamentos se muestran en la Fig. 13 y 14.

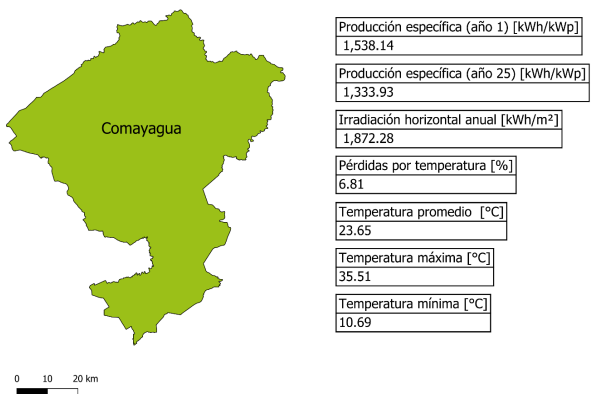


Figura 13: Información técnica de Comayagua

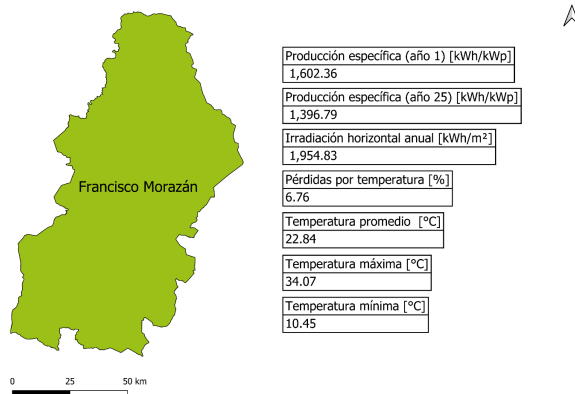


Figura 14: Información técnica de Francisco Morazán

En esta zona el departamento de Francisco Morazán presentó la mayor producción específica en el primer año con un valor de 1 602,36 kWh/kWp, recibe más irradiación horizontal anual que Comayagua con una irradiación de 1 954,83 kWh/m².

Por otro lado, Comayagua es el departamento que temperatura presenta en la zona. El porcentaje de pérdidas es de 6,81 %, la temperatura promedio de 23,65 °C, la temperatura máxima de 35,51 °C y la temperatura mínima de 10,69 °C.

3.1.4 Zona sur

El tipo de clima que posee esta zona es tropical seco con distribución bimodal de las lluvias, dicha estación abarca los meses de noviembre hasta abril [10]. En esta Zona se encuentra el departamento de Valle y Choluteca. En la ilustración 13 y 14 se muestran dichos departamentos.

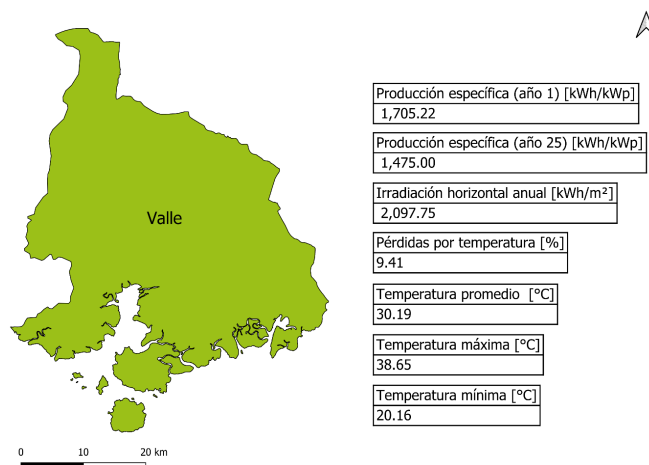


Figura 15: Información técnica de Valle

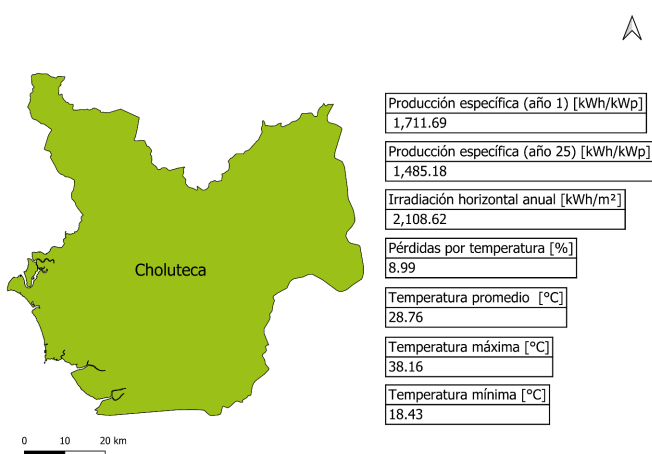


Figura 16: Información técnica de Choluteca

Para esta zona el departamento de Choluteca presentó la mayor producción específica con respecto a Valle con una producción específica de 1 711,69 kWh/kWp así como también la irradiación horizontal más alta con un valor de 2 108,62 kWh/m².

Por otro lado, el departamento de valle posee las temperaturas más altas de los dos departamentos, con pérdidas por temperatura de 9,41 %, temperatura promedio de 30,19 °C, temperatura máxima de 38,65 °C y una temperatura mínima de 20,16 °C.

3.1.5 Zona oriental

Esta zona posee un clima de selva y las vastas áreas de bosque tropical lluvioso son característicos del lugar. Acá se ubican los departamentos de Olancho y El Paraíso [8]. En la Fig. 17 y 18 se muestran dichos departamentos.

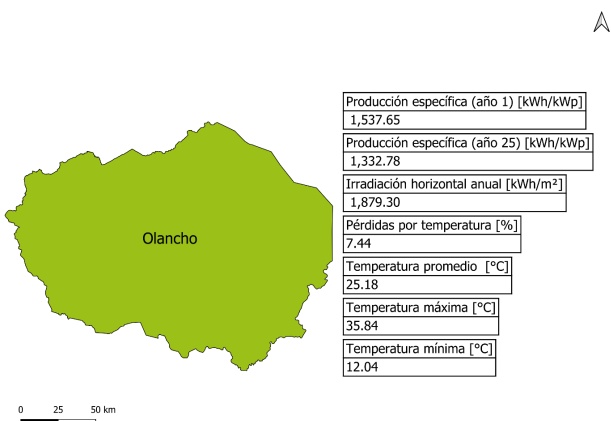


Figura 17: Información técnica de Olancho

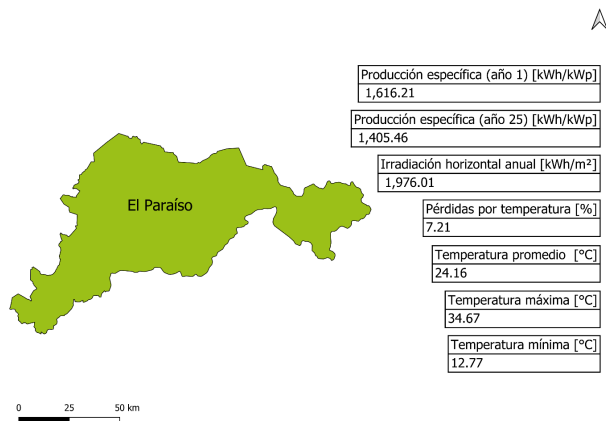


Figura 18: Información técnica de El Paraíso

Para esta zona El Paraíso presenta la mayor producción específica en el primer año con una producción de 1 616,21 kWh/kWp y recibe la mayor irradiación horizontal anual de los dos departamentos de la zona siendo la irradiación recibida de 1 976,01 y con una temperatura mínima ligeramente superior de Olancho de 12,77 °C.

Por otro lado, Olancho es el departamento que posee temperaturas más elevadas que El Paraíso salvo en la temperatura mínima. El porcentaje de pérdidas por temperatura en Olancho fueron de 7,44 %, y su temperatura promedio de 25,18 °C con una máxima de 35,84 °C.

3.2 Información Técnica por Municipio

En este apartado se presenta un total de siete mapas los cuáles se realizaron a nivel municipal. El mapa por mostrar corresponde al mapa de Honduras mostrando sus 298 municipios. Cada uno de estos mapas presentará los datos de una variable en concreto y se presentan desde la Fig. 19 hasta la Fig. 25.

Cabe añadir que la información está ordenada de la siguiente manera: producción específica (año 1) [kWh/kWp], producción específica (año 25) [kWh/kWp], irradiación horizontal anual [kWh/m²], pérdidas por temperatura [%], temperatura promedio [°C], temperatura máxima [°C] y temperatura mínima [°C].

3.2.1 Producción específica (año 1)

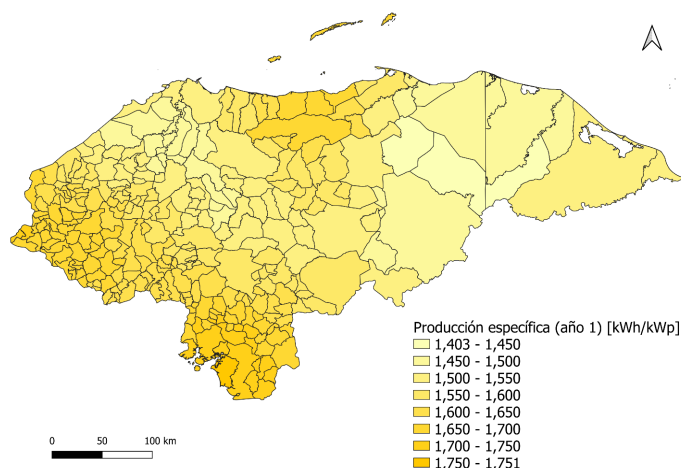


Figura 19: Producción específica (año 1) por municipio

Los municipios de Marcovia, Amapala y Namasigüe poseen las producciones específicas para el primer año más altas del país con valores en un rango de 1 748 – 1 751 kWh/kWp mientras que los municipios de Wampusirpi, Dulce nombre y San Esteban poseen las producciones específicas más bajas del país, con valores en el rango de 1 403 – 1 450 kWh/kWp.

Cabe mencionar que las buenas producciones específicas se presentan entre la franja suroccidental y sur de Honduras, así como también en los municipios de Jutiapa, Guanaja, José Santos Guardiola, Roatán, Olanchito, La Ceiba, Balfate y Uti-la los cuáles se ubican en el norte del país.

3.2.2 Producción específica (año 25)

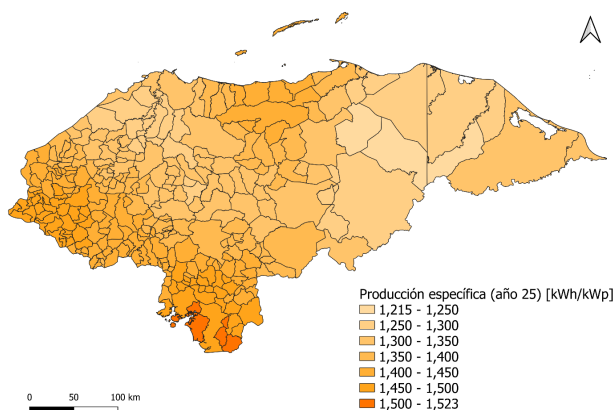


Figura 20: Producción específica (año 25) por municipio

Los municipios de Amapala, Namasigüe y Marcovia tienen las producciones específicas para el año veinticinco más altas en Honduras con valores en el rango de 1 517 – 1 523 kWh/kWp mientras que Wampusirpi, Dulce Nombre y San Esteban poseen las producciones específicas para el año veinticinco más bajas, con valores en el rango de 1 215 – 1 250 kWh/kWp.

Es importante mencionar que, las buenas producciones específicas para el año veinticinco se presentan entre la franja suroccidental y sur de Honduras, así como también en los municipios de Guanaja, José Santos Guardiola, Roatán, Uti-la, El Porvenir, Esquipulas del Norte, Balfate, Arenal, Olanchito, Sonaguera, Jutiapa y La Ceiba, los cuáles se ubican en el norte del país.

3.2.3 irradiación horizontal anual

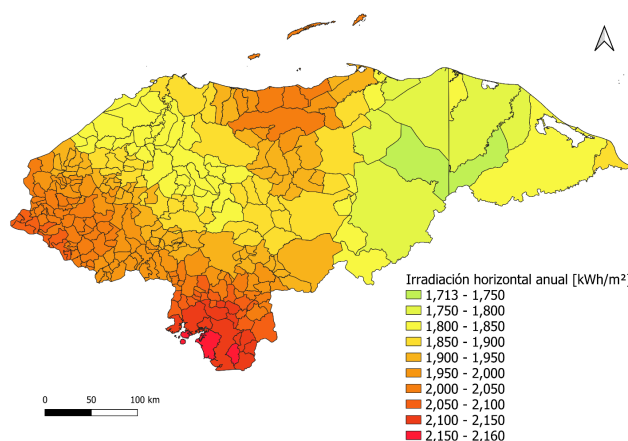


Figura 21: Irradiación horizontal anual por municipio

En los municipios de Marcovia, Namasigüe y Amapala incide la mayor irradiación horizontal anual de Honduras, con valores en los rangos de 2 151,23 – 2 160 kWh/m², por contraparte, en los municipios de Dulce Nombre, Wampusirpi y San Esteban la irradiación que reciben es la más baja del país con valores de 1 713 – 1 765 kWh/m².

Cabe mencionar que sobre los municipios ubicados entre la franja suroccidental y sur del país incide una buena irradiación horizontal anual, así como también al sur del departamento de El Paraíso y en algunos municipios ubicados en el norte.

3.2.4 Pérdidas por temperatura

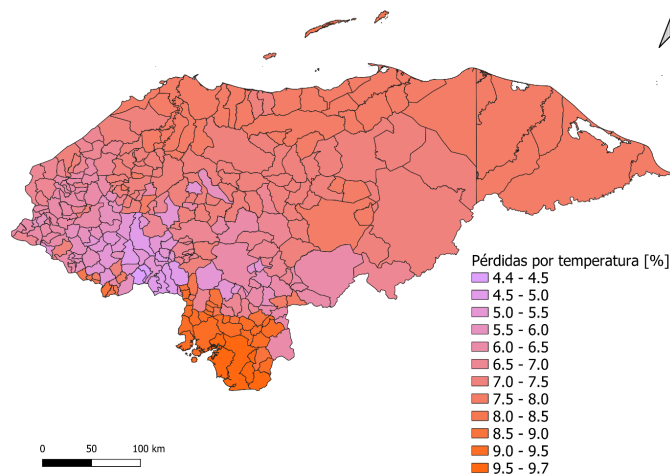


Figura 22: Pérdidas por temperatura por municipio

Las pérdidas por temperatura más bajas del país se encuentran en los municipios de Yarula, Santa Elena y Yamaranguila con valores en el rango de 4,4 – 4,6 % mientras que municipios de Namasigüe, San Lorenzo y Santa Ana de Yusguare presentan las pérdidas por temperatura más altas con valores entre 9,6 – 9,7 %.

Las pérdidas más bajas se concentran en la zona suroccidental de Honduras, las pérdidas moderadamente altas (7,0 – 8,5 %) se ubican en la región noroccidental, en el norte de la zona central, en la zona atlántica y en la zona oriental del país. Por último, las pérdidas por temperatura alta (9,0 – 9,7 %) se ubican en la zona sur.

3.2.5 Temperatura promedio

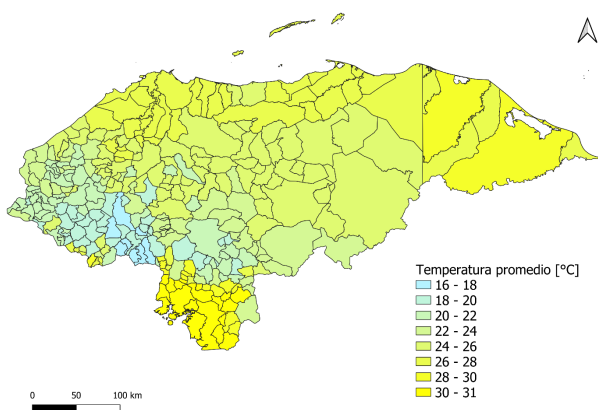


Figura 23: Temperatura promedio por municipio

Para la temperatura promedio, los municipios de Amapala, San Lorenzo y Nacaome poseen los valores más cálidos los cuáles se encuentran en el rango de 30 – 31 °C, por otro lado, los municipios de Yarula, Cabañas y Santa Elena mostraron tener las temperaturas promedios más frías, con valores entre 16 – 17 °C.

Las temperaturas promedio frías se concentran entre el occidente y suroccidente del país, las temperaturas promedio moderadamente cálidas (22 – 28 °C) están desde la región nororiental, norte, zona central y zona oriental de Honduras. Por último, las temperaturas promedio más cálidas se encuentran en el este y zona sur.

3.2.6 Temperatura máxima

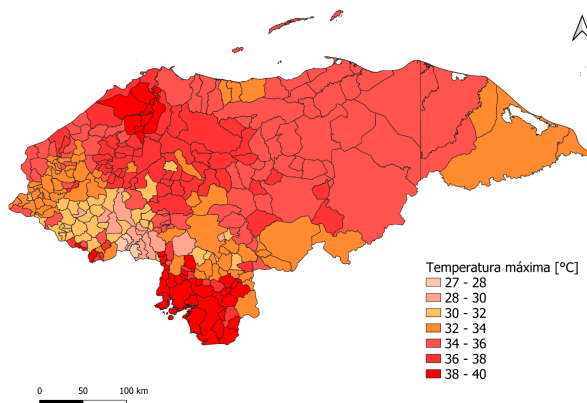


Figura 24: Temperatura máxima por municipio

Los municipios con las temperaturas máximas más altas corresponden a Choluteca, Santa Ana de Yusguare y Namasigüe con valores entre 39 – 40 °C mientras que Yarula, Santa Elena y Cabañas poseen las temperaturas máximas más bajas, con valores en el rango de 27 – 28 °C.

Las temperaturas máximas bajas (27 – 30 °C) se ubican en el suroccidente de Honduras y las más altas (36 – 40 °C) se encuentran en la zona sur del país y algunos en la zona norte, como ser Potrerillos, Choloma, Pimienta, San Pedro Sula, El Progreso, Villanueva, San Manuel y La Lima. Cabe mencionar que el municipio de San Marcos de Colón ubicado en el departamento de Choluteca es una excepción de esta zona debido a que ha alcanzado una temperatura máxima de 32,08 °C, el cual es bajo en comparación con los municipios aledaños a este.

3.2.7 Temperatura mínima

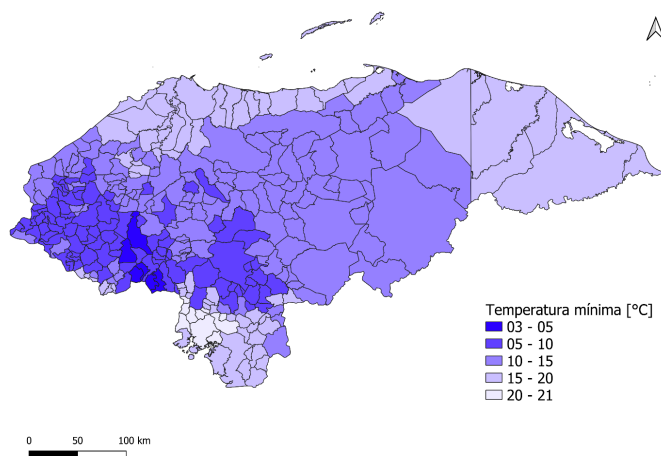


Figura 25: Temperatura mínima por municipio

Las temperaturas más frías pertenecen a los municipios de Yarula, Cabañas y Santa Elena los cuáles poseen valores entre 3 – 5 °C y las temperaturas mínimas más calientes se encuentran en Caridad, San Lorenzo y Nacaome con valores en el rango de 20 – 21 °C.

Las temperaturas mínimas frías se encuentran en la zona occidental y central del país mientras que las temperaturas mínimas calientes están presentes en la zona atlántica, oriental y sur de Honduras.

4. CONCLUSIONES

Se elaboró un atlas geográfico que sea de ayuda para la etapa de diseño de un sistema fotovoltaico o por lo menos en una etapa preliminar en Honduras. El atlas se logró formar mediante el software QGIS el cual permitió crear dieciocho mapas a nivel departamental y siete mapas a nivel municipal los cuáles proporcionan información sobre la producción específica en el primer año y año veinticinco, irradiación horizontal anual, pérdidas por temperatura, temperatura promedio, temperatura máxima y mínima.

Para la recopilación de parámetros meteorológicos se utilizó la base de datos Meteonorm 8.0 y para las producciones específicas, así como también las pérdidas por temperatura se realizó una simulación en cada municipio con la siguiente configuración: instalación fotovoltaica conectada a red, sobre terreno con un ángulo de inclinación de 15° y un azimut de 0° (orientado al sur). El arreglo solar cuenta con 200 módulos fotovoltaicos monocristalinos de silicio de 400 W ordenados de la siguiente manera: 25 módulos en una cadena y 8 cadenas en paralelo dando como resultado una potencia nominal DC de 80 kW. El inversor posee una potencia nominal AC de 60 kW junto con 8 entradas MPPT y tanto el inversor como los módulos solares son genéricos. Las pérdidas definidas del sistema son las que establece PVsyst por defecto más las siguientes pérdidas: se consideraron los módulos con un montaje libre con circulación de aire, también se consideró las pérdidas óhmicas del circuito CA (corriente alterna) con una longitud del inversor hasta el punto de inyección de 50 m, una caída de voltaje a través del diodo en serie de 0,7 V, un factor de pérdidas LID de 2,0 %, un factor de pérdidas por suciedad anual de 3,0 %, se tomó en cuenta utilizar la corrección espectral en las simulaciones y se consideró utilizar la degradación por envejecimiento para el primer año.

El análisis proporcionó los siguientes resultados:

- Se definieron las siguientes variables en la investigación: la producción específica para el primer año, producción específica para el año veinticinco, irradiación horizontal anual, pérdidas por temperatura, temperatura promedio, temperatura máxima y temperatura mínima.
- Las simulaciones realizadas con la configuración definida demostraron que el departamento de Cholute-

ca posee la producción específica para el primer año más alta del país, con un valor de 1 711,69 kWh/kWp mientras que Gracias a Dios presentó tener la más baja con un valor de 1 480 kWh/kWp.

- Los datos de temperatura obtenidos de Meteonorm 8,0 revelaron que el departamento de Valle es el más caliente con una temperatura mínima de 20,16 °C, promedio de 30,19 °C y máxima de 38,65 °C mientras que La Paz posee las más frías con valores de temperatura mínima de 8, 65 °C, promedio de 20,76 °C y máxima de 31,72 °C.
- Las simulaciones a nivel municipal mostraron que los municipios de Marcovia, Amapala y Namasigüe tienen las producciones específicas para el primer año más altas del país con valores en el rango de 1 748 – 1 751 kWh/kWp mientras que Wampusipi, Dulce Nombre de Culmí y San Esteban poseen las más bajas con valores en el rango de 1 403 – 1 450 kWh/kWp.
- Los datos recopilados en Meteonorm 8,0 mostraron que, a nivel municipal, los municipios de Yarula, Cabañas y Santa Elena poseen las temperaturas promedio más frías del país, con valores en el rango de 16 – 17 °C mientras que Amapala, San Lorenzo y Nacaome presentaron tener las temperaturas promedio más calientes en el rango de 30 – 31 °C.
- Las simulaciones demostraron que las mejores zonas de Honduras para instalar un proyecto fotovoltaico es en la zona sur o suroccidente debido a las buenas producciones específicas obtenidas y más al suroccidente sí se desea tener bajas pérdidas por temperatura.

La mayor limitación que tuvo este trabajo fue que no se contó con una estación meteorológica para cada municipio de Honduras, tampoco se tuvo acceso a los historiales meteorológicos de todas las estaciones meteorológicas del país ni los fondos suficientes para utilizar una base de datos con registros meteorológicos más actualizados y debido a esto se decidió obtener la información meteorológica a través de una base de datos que crea un año meteorológico típico en Honduras basándose en la información que ellos tienen disponible (datos entre el año 2000 - 2009). En vista de que Meteonorm crea el año meteorológico típico a partir de un modelo estadístico, los valores de radiación pueden tener un margen de error 7,0% y para temperatura de 1,3 °C (AG, y otros, 2020). Además, por la falta de conocimiento sobre los proveedores de módulos fotovoltaicos e inversores más utilizados en el país se decidió utilizar un fabricante genérico y para simplicidad de la investigación solamente se consideró usar un inversor.

Pese a estas limitaciones, se cree que este trabajo puede servir como referencia a la hora de decidir en qué partes de Honduras conviene más instalar un sistema fotovoltaico, así como también poder conocer las zonas cálidas o frías del país. También se espera que el atlas pueda ayudar a los diseños preliminares de los sistemas fotovoltaicos conectados a red y montados sobre terreno.

5. RECOMENDACIONES

Se sugiere añadir más variables que sean *útiles* en la etapa de diseño para los proyectos fotovoltaicos con el propósito de incrementar la cantidad la información disponible en el país y así ampliar las opciones al momento de buscar información.

Se recomienda utilizar Meteonorm para obtener datos meteorológicos de localidades geográficas que no cuenten con estación meteorológica para tener un aproximado de los parámetros presentes en el lugar o si no dispone de una fuente que le proporcione información meteorológica.

Se recomienda utilizar la información de las producciones específicas solo si el sistema fotovoltaico cuenta solamente con un inversor y que su instalación sea sobre terreno.

Se sugiere utilizar una fuente de datos meteorológicos con información más actualizada o la instalación de piranómetros en cada cabecera municipal del país con el fin de aumentar la precisión de los datos.

Se recomienda realizar las mismas simulaciones utilizando el inversor y módulo fotovoltaico más utilizado en el sector comercial e industrial del país.

- [6] Rodríguez, L. (11 de agosto de 2020). Cara resultó cambiar la matriz energética en Honduras. Obtenido de [www.elheraldo.hn](https://www.elheraldo.hn/economia/1400324-466/cara-result%C3%B3-cambiar-la-matriz-energ%C3%A9tica-en-honduras): <https://www.elheraldo.hn/economia/1400324-466/cara-result%C3%B3-cambiar-la-matriz-energ%C3%A9tica-en-honduras>
- [7] PVsyst. (s.f.). Meteonote2_Meteorological data sources Obtenido de [www.pvsyst.com](https://www.pvsyst.com/help/meteo_notes_datasources.htm): https://www.pvsyst.com/help/meteo_notes_datasources.htm
- [8] Ediciones Ramsés. (1996). Atlas Geográfico de Honduras (2009-2010 ed.). Tegucigalpa: Ediciones Ramsés.
- [9] Marquito Webdesign & SEO. (s.f.). xplorhonduras. Obtenido de Clima de Honduras: <http://www.xplorhonduras.com/clima-de-honduras/>
- [10] Benavides, J. E., & Arias, R. (1995). Sistemas Tradicionales y Agroforestales de Producción Caprina en América Central y República Dominicana. Turrialba, Costa Rica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IEA. (2014). PVPS Report Snapshot of Global PV 1992-2013. Obtenido de [iea-pvps.org](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/PVPS_report_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2013_-_final_3.pdf): https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/PVPS_report_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2013_-_final_3.pdf
- [2] IEA. (Abril de 2020). Snapshot of Global PV Markets. Obtenido de [iea-pvps.org](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/04/IEA_PVPS_Snapshot_2020.pdf): https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/04/IEA_PVPS_Snapshot_2020.pdf
- [3] IEA. (2019). Trends in photovoltaic applications 2019. Obtenido de [iea-pvps.org](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/02/5319-iea-pvps-report-2019-08-lr.pdf): <https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/02/5319-iea-pvps-report-2019-08-lr.pdf>
- [4] Reyes, L., Ferrufino, J., & Álvarez, H. (2019). Situación de la Generación de la Energía Eléctrica a través de Energía Fotovoltaica en Honduras Julio 2015 - marzo 2018. Revista de la Escuela de Física Universidad Nacional Autónoma de Honduras.
- [5] Flores, M. A., Soto, R., Toledo, J. A., Ventura, H. V., Carvalho, R., & Sánchez, J. M. (2018). Informe Nacional de Monitoreo de la Eficiencia Energética de Honduras, 2018. Ciudad de México, México.