

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

“ESTIMACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR EN LA CIUDAD DE JAÉN MEDIANTE EL MODELO MATEMÁTICO BRISTOW-CAMPBELL”

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO ELECTRICISTA**

Autor : Bach. Béker Obed Pariacurí Recalde.

Asesor : Mag. Jannier Alberto Montenegro Juárez.

Línea de Investigación : Energías alternativas.

Código : [LI_IME_02]

JAÉN – PERÚ, FEBRERO, 2024

NOMBRE DEL TRABAJO

**ESTIMACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR
EN LA CIUDAD DE JAÉN MEDIANTE EL M
ODELO MATEMÁTICO BRISTOW-CAMPB
ELL**

AUTOR

**Béker Obed Pariacurí Recalde Jannier Al
berto Montenegro Juárez**

RECuento DE PALABRAS

27403 Words

RECuento DE CARACTERES

120332 Characters

RECuento DE PÁGINAS

158 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

3.1MB

FECHA DE ENTREGA

Feb 5, 2024 11:10 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Feb 5, 2024 11:11 AM GMT-5

● **7% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base c

- 7% Base de datos de Internet
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossr
- 4% Base de datos de trabajos entregados

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)
- Fuentes excluidas manualmente


UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dr. Christian Zúñiga Parca
RESPONSABLE DE LA UNIDAD DE INVESTIGACION
DE LA FACULTAD DE INGENIERIA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-SUNEDU/CD

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 12 de febrero del año 2024, siendo las 15:00 horas, se reunieron de manera presencial los integrantes del Jurado:

Presidente : Mg. Walter Linder Cabrera Torres.....
Secretario : Mg. Lenin Franchescoleth Núñez Pintado.....
Vocal : Mg. Frans Fuentes Maza, para evaluar la Sustentación del Informe Final:

- () Trabajo de Investigación
(X) Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado:

ESTIMACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR EN LA CIUDAD DE JAÉN MEDIANTE EL MODELO MATEMÁTICO BRISTOW-CAMPBELL.

Presentado por el Bachiller, Béker Obed Pariacurí Recalde, de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(X) Aprobar () Desaprobar (X) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | (16) |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ò menos | () |

Siendo las 16:15 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.



Presidente



Secretario



Vocal

ÍNDICE

ÍNDICE	1
ÍNDICE DE TABLAS	3
ÍNDICE DE FIGURAS	5
ÍNDICE DE ANEXOS	6
RESUMEN.....	7
ABSTRACT	8
I. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Antecedentes	9
1.2. Problema	11
1.2.1. Realidad problemática	11
1.2.2. Formulación del problema	12
1.3. Justificación	12
1.3.1. Justificación Técnica	12
1.3.2. Justificación Económica	12
1.3.3. Justificación Social	12
1.4. Objetivos	13
1.4.1. Objetivo General	13
1.4.2. Objetivos Específicos	13
II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	14
2.1. Objeto de estudio	14
2.2. Ubicación geográfica	14
2.3. Población, muestra y muestreo.....	15
2.4. Metodología	16
2.4.1. Variables de estudio.	16
2.4.2. Conceptos básicos	17
2.4.3. Descripción del modelo matemático	21
2.4.4. Métodos, técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos	27
2.4.5. Análisis de datos	30

III. RESULTADOS	33
3.1. Comportamiento de la radiación solar en la ciudad de Jaén	33
A). Para datos de la <i>Nasa Power</i>	33
B). Para datos del <i>Senamhi</i>	35
3.2. Potencial solar en la ciudad de Jaén	36
A). Potencial solar para datos de la <i>Nasa Power</i>	36
B). Potencial solar para datos del <i>Senamhi</i>	41
3.3. Análisis estadístico para datos de la radiación solar en la ciudad de Jaén	44
A). Análisis estadístico para datos de la <i>Nasa Power</i>	44
B). Análisis estadístico para datos del <i>Senamhi</i>	55
3.4. Análisis gráfico del comportamiento de la radiación solar estimada y real (H_{g_est} vs H_{g_real})	61
A). Análisis gráfico para datos procesados de la “ <i>Nasa Power</i> ”.	62
B). Análisis gráfico para datos procesados del “ <i>Senamhi</i> ”.	63
IV. DISCUSIÓN	64
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
5.1. Conclusiones	66
5.2. Recomendaciones	68
VI. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS	69
AGRADECIMIENTO	71
DEDICATORIA	72
ANEXOS	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos geográficos.....	14
Tabla 2 Operacionalización de variables.....	16
Tabla 3 Constantes.....	17
Tabla 4 Valores aproximados de "a".....	25
Tabla 5 Día calendario y su correspondiente día juliano.....	27
Tabla 6 Tabla ANOVA.....	32
Tabla 7 Año 2015 - Nasa Power.....	39
Tabla 8 Potencial solar real y estimado en la ciudad de Jaén NP.....	40
Tabla 9 Año 2018 - Senamhi.....	42
Tabla 10 Potencial solar real y estimado en la ciudad de Jaén SH.....	43
Tabla 11 Resultados acumulados para MAD, MSD, MAPE y RMSE (2015) - Nasa Power.....	44
Tabla 12 Tabulación para "CC o r" (2015) - Nasa Power.....	46
Tabla 13 Tabla de datos iniciales (2015) - Nasa Power.....	48
Tabla 14 Tabla de cuadrados y sumatorias (2015) - Nasa Power.....	48
Tabla 15 Variables para el Análisis de Varianza.....	50
Tabla 16 Resultados parciales de Análisis de Varianza (2015) - Nasa Power.....	51
Tabla 17 Resultados ANOVA "Excel" para el año 2015 - Nasa Power.....	53
Tabla 18 Resultados Acumulados - Nasa Power (2015-2021).....	54
Tabla 19 Resultados acumulados para MAD, MSD, MAPE y RMSE (2018) - Senamhi.....	55
Tabla 20 Tabulación para "CC o r" (2018) - Senamhi.....	57
Tabla 21 Resultados ANOVA "Excel" para el año 2018 - Senamhi.....	59
Tabla 22 Resultados Acumulados - Senamhi (2018-2021).....	60
Tabla 23 Año 2016 - Nasa Power.....	73
Tabla 24 Año 2017 - Nasa Power.....	75
Tabla 25 Año 2018 - Nasa Power.....	77
Tabla 26 Año 2019 - Nasa Power.....	79
Tabla 27 Año 2020 - Nasa Power.....	81
Tabla 28 Año 2021 - Nasa Power.....	83
Tabla 29 Año 2019 - Senamhi.....	85
Tabla 30 Año 2020 - Senamhi.....	87
Tabla 31 Año 2021 - Senamhi.....	89
Tabla 32 Resultados acumulados para MAD, MSD, MAPE y RMSE (2016) - Nasa Power.....	91
Tabla 33 Tabulación para "CC o r" (2016) - Nasa Power.....	93
Tabla 34 Resultados ANOVA "Excel" para el año 2016 - Nasa Power.....	95
Tabla 35 Resultados acumulados para MAD, MSD, MAPE y RMSE (2017) - Nasa Power.....	97
Tabla 36 Tabulación para "CC o r" (2017) - Nasa Power.....	99

Tabla 37	<i>Resultados ANOVA "Excel" para el año 2017 - Nasa Power.</i>	101
Tabla 38	<i>Resultados acumulados para MAD, MSD, MAPE y RMSE (2018) - Nasa Power.</i>	103
Tabla 39	<i>Tabulación para "CC o r" (2018) - Nasa Power.</i>	105
Tabla 40	<i>Resultados ANOVA "Excel" para el año 2018 - Nasa Power.</i>	107
Tabla 41	<i>Resultados acumulados para MAD, MSD, MAPE y RMSE (2019) - Nasa Power.</i>	109
Tabla 42	<i>Tabulación para "CC o r" (2019) - Nasa Power.</i>	111
Tabla 43	<i>Resultados ANOVA "Excel" para el año 2019 - Nasa Power.</i>	113
Tabla 44	<i>Resultados acumulados para MAD, MSD, MAPE y RMSE (2020) - Nasa Power.</i>	115
Tabla 45	<i>Tabulación para "CC o r" (2020) - Nasa Power.</i>	117
Tabla 46	<i>Resultados ANOVA "Excel" para el año 2020 - Nasa Power.</i>	119
Tabla 47	<i>Resultados acumulados para MAD, MSD, MAPE y RMSE (2021) - Nasa Power.</i>	121
Tabla 48	<i>Tabulación para "CC o r" (2021) - Nasa Power.</i>	123
Tabla 49	<i>Resultados ANOVA "Excel" para el año 2021 - Nasa Power.</i>	125
Tabla 50	<i>Resultados acumulados para MAD, MSD, MAPE y RMSE (2019) - Senamhi.</i>	127
Tabla 51	<i>Tabulación para "CC o r" (2019) - Senamhi.</i>	129
Tabla 52	<i>Resultados ANOVA "Excel" para el año 2019 - Senamhi.</i>	131
Tabla 53	<i>Resultados acumulados para MAD, MSD, MAPE y RMSE (2020) - Senamhi.</i>	133
Tabla 54	<i>Tabulación para "CC o r" (2020) - Senamhi.</i>	135
Tabla 55	<i>Resultados ANOVA "Excel" para el año 2020 - Senamhi.</i>	137
Tabla 56	<i>Resultados acumulados para MAD, MSD, MAPE y RMSE (2021) - Senamhi.</i>	139
Tabla 57	<i>Tabulación para "CC o r" (2021) - Senamhi.</i>	141
Tabla 58	<i>Resultados ANOVA "Excel" para el año 2021 - Senamhi.</i>	143

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Energía solar total G_s que pasa a través de esferas concéntricas.</i>	18
Figura 2	<i>Radiación solar que llega a la atmósfera terrestre G_o y la irradiancia solar total G_s.</i>	18
Figura 3	<i>Distribución espectral de la radiación solar apenas afuera de la atmósfera.</i>	19
Figura 4	<i>Radiación solar que llega a la atmósfera terrestre G_o y la irradiancia solar total G_s.</i>	20
Figura 5	<i>Radiación directa y difusa sobre una superficie terrestre horizontal.</i>	21
Figura 6	<i>Trayectoria y orientación de la Tierra alrededor del Sol.</i>	23
Figura 7	<i>Ángulo de declinación Solar durante un año</i>	23
Figura 8	<i>Coordenadas celestes horarias</i>	24
Figura 9	<i>Esquema de cálculo.</i>	26
Figura 10	<i>Comportamiento de la radiación solar (2015-2021).</i>	33
Figura 11	<i>Comportamiento de la radiación solar (2018-2021).</i>	35
Figura 12	<i>Esquema de determinación de potencial solar para datos de la Nasa Power.</i>	36
Figura 13	<i>Esquema de determinación de potencial solar para datos del Senamhi.</i>	41
Figura 14	<i>Coefficiente de correlación en Excel (2015) - Nasa Power.</i>	47
Figura 15	<i>ANOVA en Excel.</i>	52
Figura 16	<i>Coefficiente de correlación "CC o r" (2018) - Senamhi.</i>	58
Figura 17	<i>Comportamiento de la radiación solar 2015 - Nasa Power.</i>	62
Figura 18	<i>Comportamiento de la radiación solar 2018 - Senamhi.</i>	63
Figura 19	<i>Coefficiente de correlación "CC o r" (2016) - Nasa Power.</i>	94
Figura 20	<i>Coefficiente de correlación "CC o r" (2017) - Nasa Power.</i>	100
Figura 21	<i>Coefficiente de correlación "CC o r" (2018) - Nasa Power.</i>	106
Figura 22	<i>Coefficiente de correlación "CC o r" (2019) - Nasa Power.</i>	112
Figura 23	<i>Coefficiente de correlación "CC o r" (2020) - Nasa Power.</i>	118
Figura 24	<i>Coefficiente de correlación "CC o r" (2021) - Nasa Power.</i>	124
Figura 25	<i>Coefficiente de correlación "CC o r" (2019) - Senamhi.</i>	130
Figura 26	<i>Coefficiente de correlación "CC o r" (2020) - Senamhi.</i>	136
Figura 27	<i>Coefficiente de correlación "CC o r" (2021) - Senamhi.</i>	142
Figura 28	<i>Comportamiento de la radiación solar 2016 - Nasa Power.</i>	145
Figura 29	<i>Comportamiento de la radiación solar 2017 - Nasa Power.</i>	146
Figura 30	<i>Comportamiento de la radiación solar 2018 - Nasa Power.</i>	147
Figura 31	<i>Comportamiento de la radiación solar 2019 - Nasa Power.</i>	148
Figura 32	<i>Comportamiento de la radiación solar 2020 - Nasa Power.</i>	149
Figura 33	<i>Comportamiento de la radiación solar 2021 - Nasa Power.</i>	150
Figura 34	<i>Comportamiento de la radiación solar 2019 - Senamhi.</i>	151
Figura 35	<i>Comportamiento de la radiación solar 2020 - Senamhi.</i>	152
Figura 36	<i>Comportamiento de la radiación solar 2021 - Senamhi.</i>	153

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Resultados para el año 2016 - Nasa Power.	73
Anexo 2 Resultados para el año 2017 - Nasa Power.	75
Anexo 3 Resultados para el año 2018 - Nasa Power.	77
Anexo 4 Resultados para el año 2019 - Nasa Power.	79
Anexo 5 Resultados para el año 2020 - Nasa Power.	81
Anexo 6 Resultados para el año 2021 - Nasa Power.	83
Anexo 7 Resultados para el año 2019 - Senamhi.	85
Anexo 8 Resultados para el año 2020 - Senamhi.	87
Anexo 9 Resultados para el año 2021 - Senamhi.	89
Anexo 10 Análisis estadístico 2016 - Nasa Power.	91
Anexo 11 Análisis estadístico 2017 - Nasa Power.	97
Anexo 12 Análisis estadístico 2018 - Nasa Power.	103
Anexo 13 Análisis estadístico 2019 - Nasa Power.	109
Anexo 14 Análisis estadístico 2020 - Nasa Power.	115
Anexo 15 Análisis estadístico 2021 - Nasa Power.	121
Anexo 16 Análisis estadístico 2019 - Senamhi.	127
Anexo 17 Análisis estadístico 2020 - Senamhi.	133
Anexo 18 Análisis estadístico 2021 - Senamhi.	139
Anexo 19 Resultado gráfico para el año 2016 - Nasa Power.....	145
Anexo 20 Resultado gráfico para el año 2017 - Nasa Power.....	146
Anexo 21 Resultado gráfico para el año 2018 - Nasa Power.....	147
Anexo 22 Resultado gráfico para el año 2019 - Nasa Power.....	148
Anexo 23 Resultado gráfico para el año 2020 - Nasa Power.....	149
Anexo 24 Resultado gráfico para el año 2021 - Nasa Power.....	150
Anexo 25 Resultado gráfico para el año 2019 – Senamhi.	151
Anexo 26 Resultado gráfico para el año 2020 - Senamhi.....	152
Anexo 27 Resultado gráfico para el año 2021 - Senamhi.....	153
Anexo 28 Cuadro de principales conversiones.....	154
Anexo 29 Valores críticos de distribución que se utilizan en el análisis ANOVA.	155
Anexo 30 Correo institucional del Senamhi.	156
Anexo 31 Link de resultados en Gogle Drive.	157

RESUMEN

La radiación solar es un parámetro esencial para determinar el potencial energético disponible de un lugar específico, sirve para el diseño fotovoltaico o termas solares que se deseen implementar. Sin embargo, existe un problema debido a que este parámetro es censado por un número limitado de estaciones meteorológicas. En Jaén la estación del “*Senamhi*” tiene datos disponibles solo desde el año 2017. En ese sentido, el siguiente estudio trata de dar una alternativa que garantice la correcta estimación de la radiación solar a partir de datos de temperaturas extremas que sean registradas; utilizando únicamente el modelo matemático *Bristow-Campbell* (1984). El estudio arrojó los siguientes resultados para la estación meteorológica del “*Senamhi*”, **MAD** entre (0.317 – 0.409), **MSD** entre (0.141 – 0.259), **MAPE** entre (6.823% - 8.934%), siendo aceptable cuando es menor a un 10%. También; **RMSE** entre (0.375 – 0.509), se desearía que fuera “0”; sin embargo, este se acerca y está por debajo de la unidad; el coeficiente de correlación obtenido “**CC o r**” está entre (0.150 – 0.462) demostrando que existe un nivel de correlación aceptable, aunque idealmente se anhela que fuera lo más cercano a “1”; sin embargo, este no es cercano “0”, por tanto, no se descarta. Finalmente, utilizando **ANOVA** se concluyó que: “*No existen diferencias significativas entre los medios aritméticos de los grupos de la radiación solar real y estimada*” y obteniendo una probabilidad de que las variables evaluadas sean similares con un “**p**” entre (86.937% - 98.277%). Estos resultados se obtuvieron con un “**a**” entre (0.620 – 0.650), para los años (2018 – 2021), cumpliéndose lo mostrado en la **Tabla 4**. Entonces, geográficamente nuestra ciudad se caracteriza por un clima “*Soleado*”; confirmando que el modelo matemático arroja valores significativos y es aceptable para la aplicación en esta zona geográfica.

Palabras clave: Estimación, Jaén - Perú, radiación solar, Bristow-Campbell, [BC].

ABSTRACT

Solar radiation is an essential parameter to determine the available energy potential of a specific place; it is used for the photovoltaic or solar thermal design that you wish to implement. However, there is a problem because this parameter is recorded by a limited number of weather stations. In Jaén, the “Senamhi” station has data available only since 2017. In that sense, the following study tries to provide an alternative that guarantees the correct estimation of solar radiation from extreme temperature data that are recorded; using only the Bristow-Campbell (1984) mathematical model. The study showed the following results for the “Senamhi” meteorological station: MAD between (0.317 – 0.409), MSD between (0.141 – 0.259), MAPE between (6.823% - 8.934%), being acceptable when it is less than 10%. Also; RMSE between (0.375 – 0.509), you would like it to be “0”; however, it is close and below unity; the correlation coefficient obtained "CC or r" is between (0.150 - 0.462) demonstrating that there is an acceptable level of correlation, although ideally it would be as close to "1" as possible; however, it is not close to “0”, therefore it is not discarded. Finally, using ANOVA it was concluded that: "There are no significant differences between the arithmetic means of the groups of real and estimated solar radiation" and obtaining a probability that the evaluated variables are similar with a "p" between (86.937% - 98.277 %). These results were obtained with an "a" between (0.620 - 0.650), for the years (2018 - 2021), fulfilling what is shown in (Table 4). So, geographically our city is characterized by a "Sunny" climate; confirming that the mathematical model yields significant values and is acceptable for application in this geographical area.

Keywords: Estimation, Jaén - Peru, solar radiation, Bristow-Campbell, [BC].

I. INTRODUCCIÓN

Estimar la radiación solar es vital porque nos ayuda a identificar el potencial energético solar con el que se puede contar, esto ayudará para múltiples estudios de aspecto multidisciplinario, validar este modelo servirá como antecedente en la provincia y su futura aplicación de este sin ningún sesgo de falta de confianza. También recordemos que “El Perú es un lugar ideal para iniciar proyectos de energía renovable, debido a su gran abundancia de recursos y fuentes de energía verde: como el sol, el agua, la energía geotérmica, la eólica o la biomasa. Explorar y desarrollar este potencial ayudará igualmente al país a satisfacer su creciente demanda de energía” (Konrad Adenauer Stiftung, 2014, p. 5). Esto ayudará a dar una mirada más objetiva a una de las fuentes inagotables de energía, el Sol. En consecuencia, nuestro estudio aporta conocimientos, métodos y técnicas esenciales de cómo aplicar este modelo matemático sin ningún problema.

1.1. Antecedentes

Internacional

El siguiente análisis se realizó en Córdoba, Argentina, donde reconoce que “La estimación de la radiación solar global constituye un procedimiento necesario cuando se carece de los registros observados en una región y existe la intención de evaluar los recursos de producción primaria de un cultivo” (De La Casa et al., 2003). Como se manifiesta, los datos de radiación solar llegan a ser un parámetro vital para la agricultura, que se puede obtener a partir de las temperaturas extremas.

En el siguiente artículo apunta que el “ R_s puede ser estimada a partir de otras variables meteorológicas (p.e. la temperatura del aire), aunque la precisión de estas estimaciones debe ser evaluada. En este trabajo se evalúan en 59 localizaciones de Andalucía (España) el modelo de Hargreaves-Samani, dos modificaciones de éste y un modelo modificado de la ecuación de Bristow-Campbell” (Gavilán, s. f.), y destaca que la radiación solar es “una importante variable meteorológica que, sin embargo, es medida en un número muy limitado de estaciones en todo el mundo”(Gavilán, s. f.).

Nacional

Este estudio se realizó en la Región de Junín, Perú concluye que “Al aplicar la prueba de t Student para muestras relacionadas se contrastó que no existen

diferencias entre los valores registrados y calculados con el modelo Bristow-Campbell de las radiaciones globales diarias promedias mensuales. Se muestran los valores obtenidos de las 19 estaciones meteorológicas que se encuentran en la Región Junín, encontrándose la mayor radiación solar global en la estación de Viques provincia de Huancayo en la Sierra con $6,2 \text{ kWh/m}^2 / \text{día}$. La Estación Pichanaki de la provincia de Chanchamayo, que pertenece a la Selva es la que cuenta con menor radiación solar global con $3,8 \text{ kWh/m}^2 / \text{día}$ (Camayo-Lapa et al., 2017). Entonces, determinándose que la rentabilidad es mayor en la Sierra que en la Selva.

La siguiente investigación se realizó en Pasco, Perú resuelve que “El modelo físico estimador de la radiación solar global es el Bristow - Campbell; esta radiación solar estimada es aplicable tanto en la sierra y selva además su aplicación contribuiría para la utilización en diferentes equipos tecnológicos y así reducir el CO_2 mejorando la calidad ambiental de la Región Pasco” (Sulca & Paulino, 2019, p. 116), recordemos que nuestro estudio a realizar se encuentra en la ceja de Selva, Jaén, intuyendo su posible aplicación exitosa.

La aplicación más cercana a sido en la provincia de Lambayeque, Perú, resalta que “estimar el valor de la irradiancia solar promedio diaria mensual en la provincia de Lambayeque aplicando el modelo empírico de Bristow-Campbell, teniendo como datos de entrada las temperaturas máximas y mínimas registradas en cuatro de las cinco estaciones meteorológicas convencionales instaladas por el SENAMHI; esto permitirá diseñar sistemas fotovoltaicos hechos a la medida, sin sobredimensionamiento, económicos y que satisfagan la necesidad energética de los usuarios” (Farfán, 2020); queda evidente que la radiación solar es una variable muy importante para distintos usos y que puede ser aprovechada de manera exitosa en distintos lugares de nuestra provincia.

Regional

El siguiente proyecto se realizó en Baños del Inca, Cajamarca, menciona la importancia de la energía solar como fuente de electricidad. Hace énfasis en la condición actual de los diferentes tipos de industria que recurren a los hidrocarburos, sin embargo, estos son agentes contaminantes para el medio ambiente. También, explica de manera precisa dos métodos matemáticos de estimación de la radiación solar (“Angstrom – Prescott” y “Bristow – Campbell”)

y del procedimiento de cálculo de las variables necesarias para la estimación. Y concluye que “la radiación solar promedio anual del distrito Baños del Inca es de $4.854 \text{ kWh m}^2 \cdot \text{día}/\text{y}$ el mes crítico junio $4.118 \text{ kWh m}^2 \cdot \text{día}$ ” (Jara, 2018, p. 97) logrando su objetivo que era calcular la potencia máxima requerida.

Otro estudio vinculado a las energías renovables se ejecutó en la comunidad Majanumia, provincia de Jaén, donde resalta la utilización de herramientas digitales para el dimensionamiento y utilización de paneles fotovoltaicos (Software SOLARIUS PLUS), esta herramienta ayuda a conocer la radiación solar para un lugar específico y a partir de esos datos realiza cálculos para poder determinar qué tipo de materiales se puede utilizar. Llegando a concluir de que es viable una instalación de un sistema solar fotovoltaico en la comunidad porque según el “Software Solarius PV, de donde se ha promediado y se ha obtenido $4,85 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ de radiación solar” (Chávez, 2019, p. 133).

Toda esta información evidencia que la radiación solar, es un parámetro primordial para poder hallar el potencial energético solar de un lugar específico. Además, si solo se tiene datos de temperaturas máximas y mínimas, ¿qué herramientas se puede utilizar?, es lo que busca responder nuestra investigación hallar y tratar de solucionar este problema mediante modelos matemáticos ya establecidos y conocer el grado de correlación con el parámetro real.

1.2. Problema

1.2.1. Realidad problemática

Los datos meteorológicos de radiación solar son casi nulos y la implementación de una Estación Meteorológica es muy costosa; además, la calibración de los equipos debe ser llevada de manera responsable y cada cierto periodo sin descuidarlo. Por eso, es importante determinar la radiación solar a partir de datos de fácil acceso, en este caso las temperaturas máximas y mínimas, “Los llamados modelos meteorológicos de estimación de la radiación solar global permiten evaluar el recurso solar incidente en superficie mediante correlaciones empíricas definidas respecto a distintas variables meteorológicas” (Raichijk & Lanson, 2011).

En la provincia de Jaén, existe una estación meteorológica; sin embargo, estimar la radiación solar ayudará a ver el potencial energético de este tipo de energía

renovable, que tranquilamente puede utilizarse en las zonas rurales. Es vital comprender que validar este modelo matemático llevaría a poder aplicarse a lugares que cuenten con similar geografía y solo tengan datos de temperaturas.

Una limitación para validar estos datos es que solo se cuenta con una estación meteorológica lo ideal sería contar con más de una, de esta forma obtenemos más datos para realizar un estudio más profundo. Recordemos, que nuestra provincia cuenta con una geografía accidentada y evaluar variables meteorológicas de la capital de la provincia, puede variar para estimaciones que se hagan fuera de ella.

1.2.2. Formulación del problema

En tal sentido y tomando en cuenta lo expuesto anteriormente, ¿es conveniente evaluar la fórmula matemática Bristow-Campbell, como herramienta para la estimación de radiación solar en nuestra provincia de Jaén?

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación Técnica

Determinar la radiación solar considerando datos como temperaturas máximas y mínimas es muy importante. De esta forma ayudará a reforzar los conocimientos en herramientas digitales como Excel, que sirve para procesar datos de manera eficiente y confiable. En tal sentido, será un precedente para futuras investigaciones que deseen realizar.

1.3.2. Justificación Económica

Hacer un análisis matemático solo con temperaturas máximas y mínimas y corroborar que el modelo matemático es verídico para la geografía de nuestra provincia, esto contribuirá a poder determinar la radiación solar en lugares donde no se cuenten con un Piranómetro, que es un instrumento muy costoso, según la página web (Proviento, 2022) su costo “oscila entre 890 a 4490 dólares” según la calidad del producto. En otras tiendas electrónicas como Alibaba también se registra un precio similar, se precisa que él envió es aparte. En consecuencia, solo utilizar datos de temperaturas que nos proveerían las estaciones meteorológicas ubicadas estratégicamente serían de gran ayuda para disminuir costos.

1.3.3. Justificación Social

La radiación solar es un parámetro vital para evaluar y conocer el potencial energético solar, esto ayudara a medir la viabilidad de futuros proyectos

energéticos solares en cualquier parte de nuestra provincia, fundamentándose en bases sólidas, en este caso el modelo matemático Bristow-Campbell. Además, recordemos que tiene aplicaciones diversas, como por ejemplo en la agricultura donde se puede hacer estudios a partir de este parámetro, en el análisis de evaporación e irrigación y el monitoreo de crecimiento de plantas; en salud donde se puede establecer potenciales enfermedades como cáncer a la piel, entre otros.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Estimar la radiación solar en la ciudad de Jaén mediante el modelo matemático Bristow-Campbell.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Describir el comportamiento de la radiación solar en la ciudad de Jaén.
- Determinar el potencial solar en la ciudad de Jaén.
- Utilizar estadísticos como (*MAD, MSD, MAPE, RMSE, CC* y *ANOVA*), de esta forma reconocer la relación que existe entre la radiación real y estimada.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Objeto de estudio





La estimación de la radiación solar en la ciudad de Jaén utilizando el modelo matemático Bristow-Campbell.

2.2. Ubicación geográfica

La investigación se ha llevado a cabo en la ciudad de Jaén, provincia de Jaén, departamento de Cajamarca. Fue fundada un 10 de abril de 1549 por el español Diego Palomino.

Tabla 1

Datos geográficos.

<i>Bandera</i>	<i>Escudo</i>
	
<i>Ubicación de Jaén con respecto a Perú</i>	
<i>Ubicación de Jaén con respecto a Cajamarca</i>	
<i>Coordenadas</i>	-5.69918 "S"; -78.8009 "N"
<i>Superficie Total</i>	537.25 km ²
<i>Altitud media</i>	729 m.s.n.m
<i>Población (2017)</i>	
- Total	80 553 hab.
- Densidad	1.5 hab/km ²

Fuente: Elaboración propia.

2.3. Población, muestra y muestreo

- Población

En este caso son las temperaturas máximas y mínimas registradas en la provincia de Jaén, en la Estación Meteorológica del SENAMHI N° 47269398 – JAEN, y los Datos de la *Nasa Power* debido a que el estudio se enfocó en determinar un parámetro esencial (Radiación Solar) que puede ser requerido en diferentes aplicaciones según se necesite.

- Muestra

Son las temperaturas extremas de los años, 2015 – 2021 (Nasa Power); 2018 – 2021 (Senamhi), donde se estimó la radiación solar a partir de modelo matemático [BC].

- Muestreo

Se excluyó de nuestra observación los días donde no se hayan registrado temperaturas, esto mejoró el análisis estadístico. En consecuencia, se obtuvo un resultado más fiable sin ningún sesgo que pueda afectar la investigación.

2.4. Metodología

La investigación es del tipo correlacional, porque nos permitió aplicar ciencia a un problema evidente que es la estimación de la radiación solar a partir de temperaturas extremas; además, se evaluó la relación entre dos variables diferentes (Radiación Real y Estimada), por eso se utilizó técnicas de análisis estadístico para determinar el grado de relación que existe. Para conseguirlo, nos apoyamos en diversas investigaciones realizadas en nuestro país y en diferentes partes del mundo; tomando los conocimientos plasmados en diferentes artículos y libros publicados. El proyecto, una vez aplicado, se encontró un parámetro esencial que es la radiación solar, vital para la proyección de energía fotovoltaica, como también en salud y agricultura, llegando a la conclusión de que funciona en nuestra provincia y se puede adecuar a zonas geográficas con las mismas características.

2.4.1. Variables de estudio.

Tabla 2

Operacionalización de variables.

Variables	Indicadores	Valores finales	Tipo de variable
<i>Variable dependiente</i>			
Radiación solar	Modelo Matemático Bristow-Campbell	kW.h/m ²	Continua
	Temperatura	°C	Continua

Fuente: Elaboración propia.

2.4.2. Conceptos básicos

a). Radiación Solar

Es la energía que suministra el sol, que llega a nuestro ambiente en la forma de ondas electromagnéticas después de experimentar considerables interacciones con la atmósfera. La energía de radiación emitida o reflejada por los constituyentes de la atmósfera forma la radiación atmosférica (Çengel & Ghajar, 2011, p. 708).

b). Principales constantes

Tabla 3

Constantes.

<i>Constantes</i>	<i>Donde</i>
$D \approx 1.39 \times 10^9 m$	<i>D: diámetro esférico del Sol</i>
$m \approx 2 \times 10^{30} kg$	<i>m: masa del Sol</i>
$L = 1.50 \times 10^{11} m$	<i>L: distancia media entre el centro del Sol y la Tierra</i>
$E_{sol} \approx 3.8 \times 10^{26} W$	<i>E_{sol}: Radiación del sol en forma continua</i>
$r = 6.957 \times 10^8 m$	<i>r: radio solar</i>
$\sigma = 5.6704 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$	<i>σ: Constante de Stefan – Boltzmann</i>
$T_{sol} = 5780 K$	<i>T_{sol}: La temperatura superficial efectiva del Sol</i>

Fuente: Elaboración propia.

c). Estimación de la Irradiancia Solar Total (G_s)

Energía del sol que llega a nuestra atmosfera, representa “la tasa a la cual la energía solar incide sobre una superficie perpendicular a los rayos del Sol en el borde exterior de la atmósfera, cuando la Tierra se encuentra a su distancia media del Sol” (Çengel & Ghajar, 2011, p. 709). También, se la conoce como *constante solar*.

$$(4\pi L^2)G_s = (4\pi r^2)\sigma T_{sol}^4 \quad (1)$$

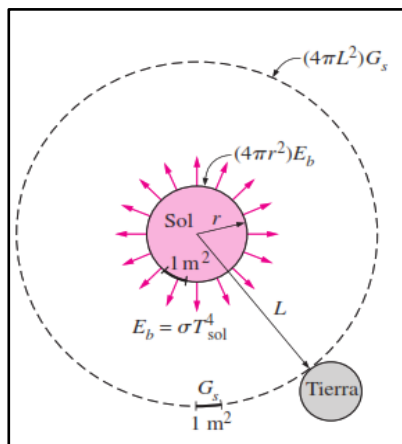
Remplazando en (1):

$$G_s = \left[\frac{r}{L}\right]^2 \sigma T_{sol}^4 = \left[\frac{6.957 \times 10^8}{1.50 \times 10^{11}}\right]^2 (5.6704 \times 10^{-8})(5780)^4 = 1361.402 \frac{W}{m^2} \approx 1361 \frac{W}{m^2}$$

Y, según (Iqbal, 1983, p. 53) la constante solar es: ($I_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2$)

Figura 1

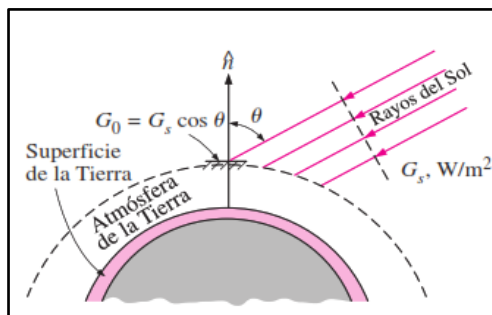
Energía solar total G_s que pasa a través de esferas concéntricas.



Fuente: Çengel & Ghajar, 2011 .

Figura 2

Radiación solar que llega a la atmósfera terrestre G_0 y la irradiancia solar total G_s .



Fuente: Çengel & Ghajar, 2011 .

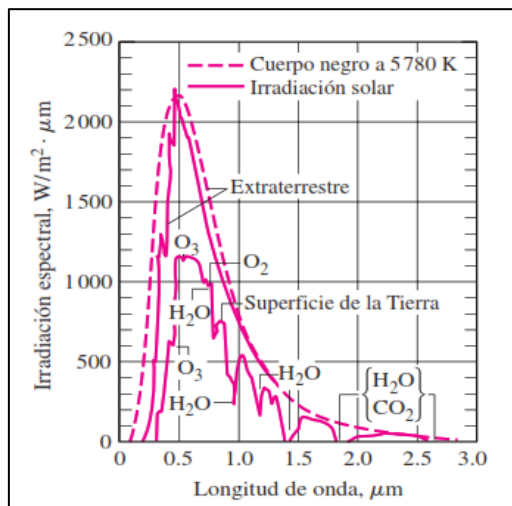
d). La distribución espectral de la radiación solar sobre el suelo

Es importante saber que “Al atravesar la atmósfera, la intensidad o irradiancia disminuye por absorción (interacción inelástica) y dispersión (interacción elástica) de la propia atmósfera, por el polvo, las nubes y las propias moléculas del aire, en definitiva, partículas” (Lecuona, 2017, p. 70).

Cerca del 99% de la atmósfera está contenida a menos de una distancia de 30 km de la superficie terrestre. Las varias caídas en la distribución espectral de la radiación sobre la superficie de la Tierra se deben a la absorción por los gases O₂, O₃ (ozono), H₂O y CO₂. La absorción por parte del oxígeno ocurre en una banda angosta alrededor de $\lambda = 0.76 \mu m$. El ozono absorbe casi por completo la radiación ultravioleta en las longitudes de onda por debajo de $0.3 \mu m$ y, de manera considerable, la radiación en el rango de $0.3-0.4 \mu m$ (Çengel & Ghajar, 2011, p. 709).

Figura 3

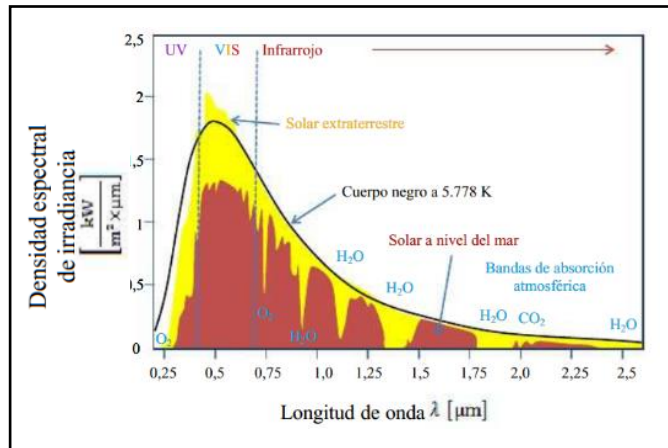
Distribución espectral de la radiación solar apenas afuera de la atmósfera.



Fuente: Çengel & Ghajar, 2011 .

Figura 4

Radiación solar que llega a la atmósfera terrestre G_0 y la irradiancia solar total G_s .



Fuente: Lecuona, 2017 .

e). Radiación directa y difusa

La energía solar que incide sobre una superficie de la Tierra se considera que consta de partes directa y difusa. La radiación difusa varía desde alrededor de 10% de la radiación total, en un día claro, hasta cerca de 100% en un día totalmente nublado (Çengel & Ghajar, 2011, p. 710).

Radiación solar directa (G_D)

Parte de la radiación solar que llega a la superficie terrestre sin ser dispersada ni absorbida por la atmósfera.

Radiación solar difusa (G_d)

Radiación dispersada que llega a la superficie terrestre de manera uniforme desde todas direcciones.

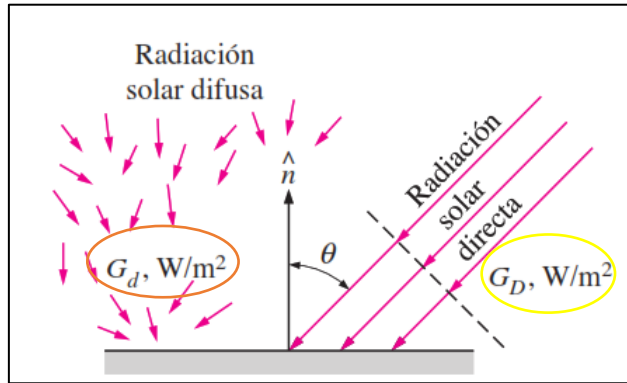
La *energía solar total* (G_{solar}) que incide sobre la unidad de área de una superficie horizontal sobre el piso es.

$$G_{solar} = G_D \cdot \cos(\theta) + G_d \quad \left(\frac{W}{m^2}\right) \quad (2)$$

Y, (θ) es el *ángulo de incidencia de la radiación solar directa* (el ángulo que forma el rayo de sol con la perpendicular a la superficie).

Figura 5

Radiación directa y difusa sobre una superficie terrestre horizontal.



Fuente: Çengel & Ghajar, 2011 .

2.4.3. Descripción del modelo matemático

a). Modelo Bristow-Campbell [BC] (1984)

Hace uso de las temperaturas máximas y mínimas; también, de constantes que son obtenidas de acuerdo a la región en que se encuentran.

$$\frac{H_g}{H_o} = a. (1 - e^{-b(T_{max}-T_{min})^c}) \quad (3)$$

Donde:

H_g : Radiación solar Global [$kW.h/m^2$]

H_o : Radiación solar extraterrestre [$kW.h/m^2$]

T_{max} : Temperatura máxima [$^{\circ}C$]

T_{min} : Temperatura mínima [$^{\circ}C$]

"a", "b" y "c": Constantes del Modelo Bristow-Campbell

a.1). Radiación solar Global (H_g)

Al combinar y operar las temperaturas extremas y las constantes determinadas por el modelo, se obtiene la radiación solar estimada (H_g), conocida como Radiación solar Global.

a.2). Irradiancia extraterrestre horizontal (H_o)

Se conoce como "Radiación solar extraterrestre". Si se asume que " E_o ", se mantiene constante durante un día y después de convertir el tiempo dt a un ángulo horario" (Iqbal, 1983, p. 64) se obtiene la irradiancia solar extraterrestre diaria sobre una superficie horizontal y se expresa de la siguiente forma.

$$H_o = \frac{24}{\pi} G_s. E_o \int_0^{+\omega_s} [\text{sen}(\delta). \text{sen}(\phi) + \text{cos}(\delta). \text{cos}(\phi). \text{sen}(\omega_s)] d\omega \quad (4)$$

o integrando

$$H_o = \frac{24}{\pi} G_s \cdot E_o \left[\left(\sin(\delta) \cdot \sin(\phi) \cdot \omega_s \cdot \left(\frac{\pi}{180} \right) \right) + (\cos(\delta) \cdot \cos(\phi) \cdot \sin(\omega_s)) \right] \quad (5)$$

Donde:

E_o : Factor de corrección de la excentricidad de la órbita terrestre.

G_s : Constante solar [Según Iqbal (1.367 kW/m²)].

Φ : Latitud [grados].

δ : Declinación solar [grados].

ω_s : Ángulo horario para una superficie horizontal [grados].

a.2.1.). Factor de corrección de la excentricidad de la órbita terrestre (E_o)

Relación entre la distancia del Sol a la Tierra de un día determinado “ r ” y el valor medio de esta distancia a lo largo del año “ r_o ”(Moreno, s. f., p. 9).

$$E_o = \left[\frac{r_o}{r} \right] = 1 + 0.033 \cos \left[\frac{2\pi \cdot d_n}{365} \right] = 1 + 0.033 \cos \left[\frac{2 * 3.1416 * d_n}{365} \right] \quad (6)$$

Donde:

d_n : día del año a partir del 1 de enero o día Juliano.

E_o : Es una Unidad Adimensional.

a.2.2.). Cálculo de Latitud en radianes (ϕ_r):

Sirve para localizar un lugar ya sea en dirección norte o sur con respecto a línea del ecuador.

- Latitud [ϕ]: grados sexagesimales.

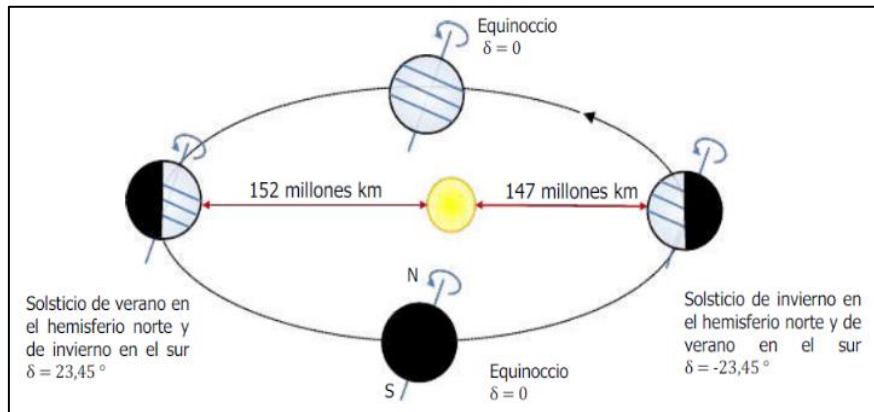
$$\phi_r [\text{radianes}] = \frac{\pi \cdot \phi}{180} \quad (7)$$

a.2.3). Cálculo de la declinación solar (δ)

Es el ángulo entre los rayos del sol y el plano del Ecuador de la tierra. Varía por un ángulo de hasta $\pm 23^\circ 27'$ (± 23.45), [...]. La declinación solar alcanza su valor máximo, ($+23.45^\circ$) en 21 de junio [...]. El valor mínimo, (-23.45°) se alcanza en el 20 de diciembre (Axaopoulos, s. f., p. 6). Esta fórmula fue obtenida por Perrin de Brichambaut.

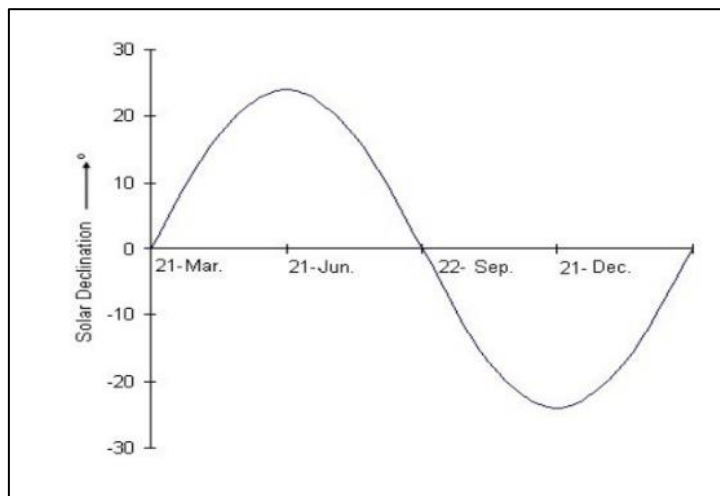
$$\delta [\text{grados}] = 23.45 \sin \left(\frac{360}{365} (d_n + 284) \right) \quad (8)$$

Figura 6
Trayectoria y orientación de la Tierra alrededor del Sol.



Fuente: Lecuona, 2017 .

Figura 7
Ángulo de declinación Solar durante un año



Fuente: Axaopoulos, s. f.

a.2.4). Ángulo horario para una superficie horizontal (ω_s)

Por definición, el arco del ecuador celeste (o el ángulo diedro correspondiente) comprendido entre el meridiano superior del lugar y el círculo horario que pasa por el astro. Se mide sobre el ecuador a partir del punto de intersección entre el meridiano superior del lugar y aquel, de 0° a $\pm 180^\circ$, positivamente hacia el Oeste y negativamente hacia el Este (Moreno, s. f., p. 13).

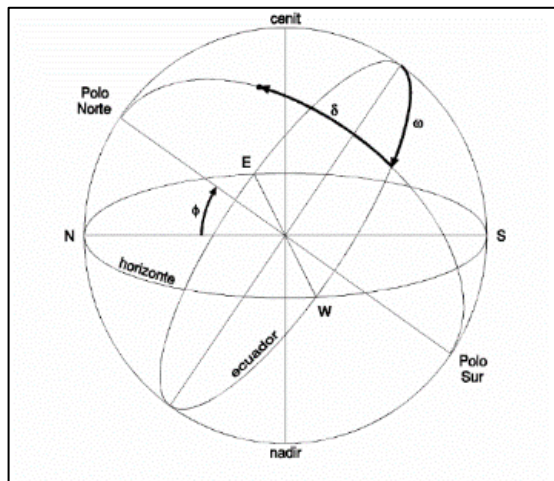
General

$$\omega_s = \pm \cos^{-1}(-\text{tg}(\phi) \cdot \text{tg}(\delta)) \quad (9)$$

Nuestra zona de estudio se encuentra en el Oeste (+)

$$\omega_s = +\cos^{-1}(-\text{tg}(\phi) \cdot \text{tg}(\delta)) \quad (10)$$

Figura 8
Coordenadas celestes horarias



Fuente: (Moreno, s. f.)

a.3). Principales constantes del Modelo Bristow-Campbell [BC]

Se afirma que “Aunque los coeficientes **A** (**a**), **B** (**b**) y **C** (**c**) son empíricos, tienen algún significado físico. El coeficiente **A** representa la radiación máxima que se puede esperar en un día claro. Los coeficientes **B** y **C** controlan la velocidad a la que **A** se aproxima a medida que aumenta la diferencia de temperatura. Valores informados con mayor frecuencia para estos coeficientes son 0,7 para **A**, el rango de 0,004 a 0,010 para **B** y 2,4 para **C**” (Meza & Varas, 2000, p. 233).

Además, para determinar “**a**” hay que tener en cuenta que “La interpretación física del índice de claridad K_t se refiere al grado de claridad del cielo o, en otras palabras, la disponibilidad de radiación solar en el punto de medición” (Yousif et al., 2013, p. 205).

Otro autor precisa que “representa el máximo valor de la transmisividad atmosférica (τ) que es característico de cada área de estudio y además depende de la contaminación atmosférica y de la altitud.” (Caceres et al., 2019, p. 2).

A partir de estos argumentos, se puede asumir que “a” equivale “Kt”; los valores posibles se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4

Valores aproximados de "a".

<i>Característica geográfica</i>	<i>Intervalos ($K_t = a$)</i>
<i>Nublado</i>	$\langle 0 - 0.2 \rangle$
<i>Parcialmente nublado</i>	$\langle 0.2 - 0.6 \rangle$
<i>Soleado</i>	$\langle 0.6 - 0.75 \rangle$
<i>Muy soleado</i>	$\langle 0.75 - 1 \rangle$

Fuente: Yousif et al., 2013 .

Para determinar “b” y “c”; se utilizan las siguientes expresiones:

$$c = 2.116 - 0.072(T_{max} - T_{min}) + 57.574e^{\phi} \quad (11)$$

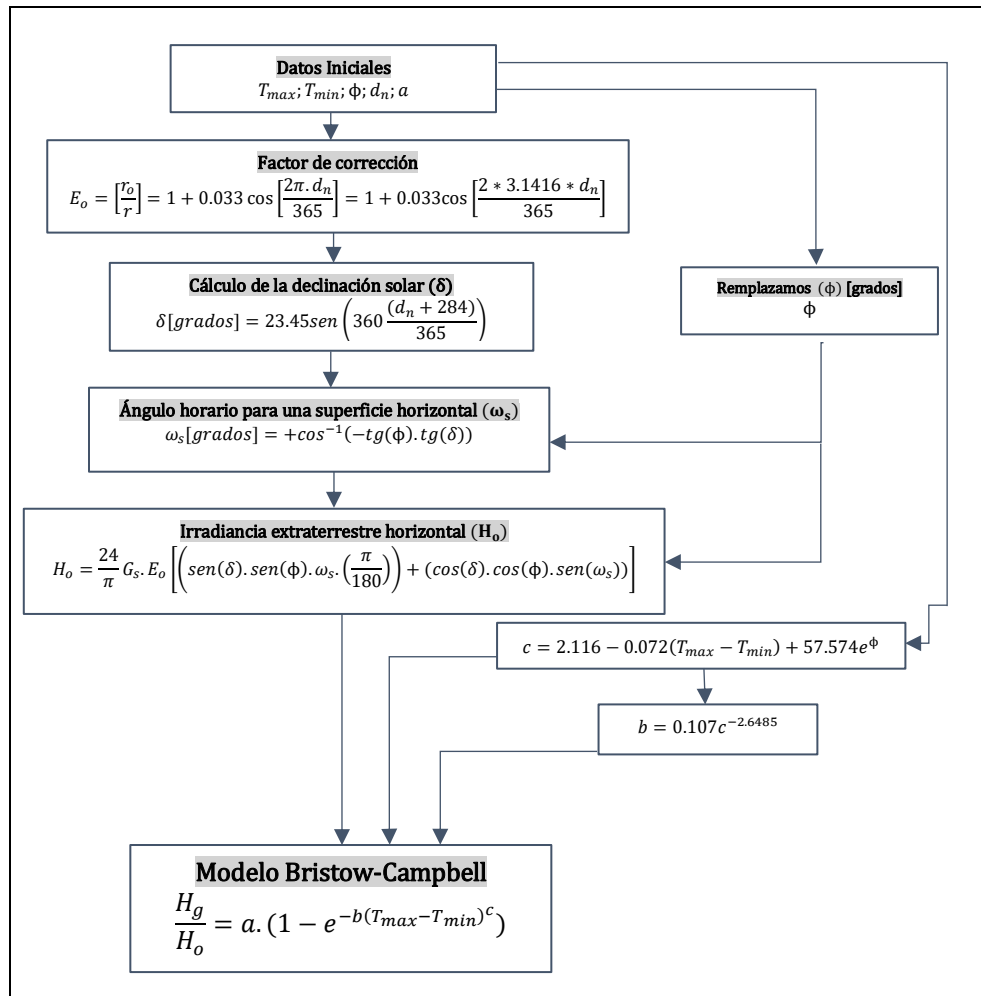
$$b = 0.107c^{-2.6485} \quad (12)$$

a.4). Esquema de cálculo del Modelo Matemático Bristow-Campbell

El siguiente esquema permite visualizar los pasos a seguir de manera sistemática y ordenada cuando se utilice el modelo [BC].

Figura 9

Esquema de cálculo.



Fuente: Elaboración propia.

2.4.4. Métodos, técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos

Métodos y técnicas

Su enfoque es del tipo inductivo porque se empleó datos particulares como la temperatura, día juliano, latitud, entre otros; que al momento de relacionarlo en el modelo matemático Bristow-Campbell nos dará un resultado general (radiación solar).

Procedimientos

a). Descripción del comportamiento de la radiación solar en la ciudad de Jaén.

Primero, se procedió a solicitar los datos necesarios para nuestra investigación del *Senamhi* y *Nasa Power*, con estos datos se procedió a describir el comportamiento de la radiación solar en la ciudad de Jaén utilizando el software Excel.

b). Determinación del potencial solar en la ciudad de Jaén.

Segundo, utilizando el modelo matemático se procedió a hallar un potencial energético solar real y estimado, tanto para los datos del *Senamhi* y *Nasa Power*, teniendo en cuenta el siguiente cuadro, se calcula el promedio mensual de irradiancia solar, para los días julianos propuestos.

Tabla 5

Día calendario y su correspondiente día juliano.

<i>Día/mes</i>	<i>J</i>	<i>Día/mes</i>	<i>J</i>
15/enero	15	15/julio	196
15/febrero	46	15/agosto	227
15/marzo	74	15/setiembre	258
15/abril	105	15/octubre	288
15/mayo	135	15/noviembre	319
15/junio	166	15/diciembre	349

Fuente: Farfán, 2020, p. 50 .

Se utilizará las siguientes fórmulas para datos de la Nasa Power.

$$PS_{realNP} = \sum_{i=1}^n H_{g_realNP} \quad (13)$$

$$Promedio_{realNP} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{g_realNP}}{n} \quad (14)$$

$$PS_{estNP} = \sum_{i=1}^n H_{g_estNP} \quad (15)$$

$$Promedio_{estNP} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{g_estNP}}{n} \quad (16)$$

Donde:

- PS_{realNP} : Potencial solar real para datos de la Nasa Power (kW.h/m²).
 H_{g_realNP} : Radiación solar real para datos de la Nasa Power (kW.h/m²/día).
 $Promedio_{realNP}$: Promedio del potencial solar real para datos de la Nasa Power (kW.h/m²/día)
 PS_{estNP} : Potencial solar estimado para datos de la Nasa Power (kW.h/m²).
 H_{g_estNP} : Radiación solar estimada para datos de la Nasa Power (kW.h/m²/día).
 $Promedio_{estNP}$: Promedio del potencial solar estimado para datos de la Nasa Power (kW.h/m²/día).

Y, las siguientes ecuaciones para datos proporcionados por el Senamhi.

$$PS_{realSH} = \sum_{i=1}^n H_{g_realSH} \quad (17)$$

$$Promedio_{realSH} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{g_realSH}}{n} \quad (18)$$

$$PS_{estSH} = \sum_{i=1}^n H_{g_estSH} \quad (19)$$

$$Promedio_{estSH} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{g_estSH}}{n} \quad (20)$$

Donde:

- PS_{realSH} : Potencial solar real para datos del Senamhi (kW.h/m²).
 H_{g_realSH} : Radiación solar real para datos del Senamhi (kW.h/m²/día).
 $Promedio_{realSH}$: Promedio del potencial solar real para datos del Senamhi (kW.h/m²/día)
 PS_{estSH} : Potencial solar estimado para datos del Senamhi (kW.h/m²).
 H_{g_estSH} : Radiación solar estimada para datos del Senamhi (kW.h/m²/día).
 $Promedio_{estSH}$: Promedio del potencial solar estimado para datos del Senamhi (kW.h/m²/día).

c). Análisis estadístico entre la radiación real y estimada en la ciudad de Jaén.

Tercero, se procedió a realizar un análisis estadístico de comparación, para reconocer la relación que existe entre la radiación real y estimada, utilizando:

- Desviación absoluta media (**MAD**).
- Error cuadrático medio o desviación cuadrática media (**MSD**).
- Error de porcentaje absoluto medio (**MAPE**).
- Error cuadrático medio (**RMSE**).

- Coeficiente de correlación (CC, r).
- Análisis de Varianza de un Factor ($ANOVA$).

- Instrumentos

En esta parte se reconoce los instrumentos utilizados para ejecutar esta investigación.

Datos de Nasa Power: se procedió a descargar del portal web <https://power.larc.nasa.gov/>, datos diarios de Temperaturas Máximas y Mínimas, Radiación solar y latitud, para los 2015 – 2021.

Datos del Senamhi: se solicitó los datos meteorológicos al siguiente correo atencionalciudadano@senamhi.gob.pe, datos diarios de Temperaturas Máximas y Mínimas, Radiación solar y latitud, para los años 2015 – 2021. Sin embargo, solo se obtuvo respuesta para datos entre los años 2017 – 2021.

Software Excel: esta aplicación de alcance global, sirve para análisis estadísticos diversos. Además; realiza gráficos de manera didáctica y ayuda ordenar la información de manera clara y concisa.

2.4.5. Análisis de datos

Para realizar el análisis estadístico se debe contar con los datos de la radiación solar global real y la estimada [Hg] para un determinado tiempo. Su uso es requerido debido a que miden confiabilidad y rendimiento de un modelo matemático. Además, si el valor de error es mínimo para el (*MAD*, *MSD*, *MAPE*, *RMSE*, *CC(r)* y *ANOVA*) nos demuestra que el modelo matemático se ajusta de manera satisfactoria.

- Desviación absoluta media (*MAD*).

Es el valor absoluto de la diferencia entre el parámetro real y estimado que se divide sobre el periodo. Este valor se desea que sea bajo (Bahel et al., 1987).

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |X_t - \hat{X}_t| \quad (21)$$

- Error cuadrático medio o desviación cuadrática media (*MSD*).

Es una medida de dispersión del error de pronóstico.

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2 \quad (22)$$

- Error de porcentaje absoluto medio (*MAPE*).

Nos da como resultado las desviaciones en términos porcentuales (%) y no en unidades. Para que el modelo sea admitido, no debe sobrepasar el 10%.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_t - \hat{X}_t}{X_t} \right| \quad (23)$$

- Error cuadrático medio (*RMSE*).

Por lo general, el *RMSE* es un número no negativo, es decir es positivo. También, si se obtiene un valor de “0”, significa que “existe un ajuste perfecto de los datos”; sin embargo, nunca se logra resultados de esta magnitud.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2}{n}} \quad (24)$$

- Coeficiente de correlación (CC, r).

Es una prueba de relación lineal entre los valores calculados y medidos se expresa de la siguiente forma. De manera ideal "CC" debería ser 1.

$$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (25)$$

Donde:

X_t : valor real para un periodo "t".

\bar{X}_t : valor medio (promedio) real.

\hat{X}_t : valor estimado para un periodo "t".

$\bar{\hat{X}}_t$: valor medio (promedio) estimado.

n: es el número total de periodos

Estos datos se procesarán en la aplicación Excel debido a que es una herramienta eficiente para el análisis de datos estadísticos y para graficar a partir de datos recopilados.

- Análisis de Varianza de un Factor (ANOVA).

La *suma de cuadrados del total o global* es:

$$SCT = \sum_{i=1}^n y_i - n\bar{Y}^2 \quad (26)$$

La *suma de cuadrados explicada o de la regresión* es:

$$SCR = \beta_0 \sum_{i=1}^n y_i + \beta_1 \sum_{i=1}^n y_i x_i - n\bar{Y}^2 \quad (27)$$

La *suma de cuadrados del error o residual* es:

$$SCE = \sum_{i=1}^n e_i^2 \quad (28)$$

Calculando " β_0 " y " β_1 "

$$\beta_1 = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{n}}{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{X})^2}{n}} \quad \beta_0 = \bar{Y} - \beta_1 \bar{X}$$

Si se cumple que:

$$SCT = SCR + SCE \quad (29)$$

Con todo esto se completa la siguiente tabla ANOVA:

Tabla 6

Tabla ANOVA.

Fuente	Grados de Libertad (GL)	Suma de Cuadrados (SC)	Cuadrado Medio (CM)	F
Regresión	1	SCR	CMR=SCR/1	CMR/CME
Error	n-2	SCE	CME=SCE/(n-2)	
Total	n-1	SCT		

Fuente: Elaboración propia.

El estadístico "F" sirve para probar la hipótesis:

$$H_0: \beta_1 = 0 \text{ "vs"}$$

$$H_1: \beta_1 \neq 0$$

De esta forma se rechaza la hipótesis nula si $CMR/CME > F_{(1, n-2, 1-\alpha)}$

Donde:

y_i : Valor estimado

x_i : Valor real

\bar{Y} : Promedio de los valores estimados

\bar{X} : Promedio de los valores reales

F : Valores críticos de la distribución ($\alpha = 0.05$) (**Anexo 29**).

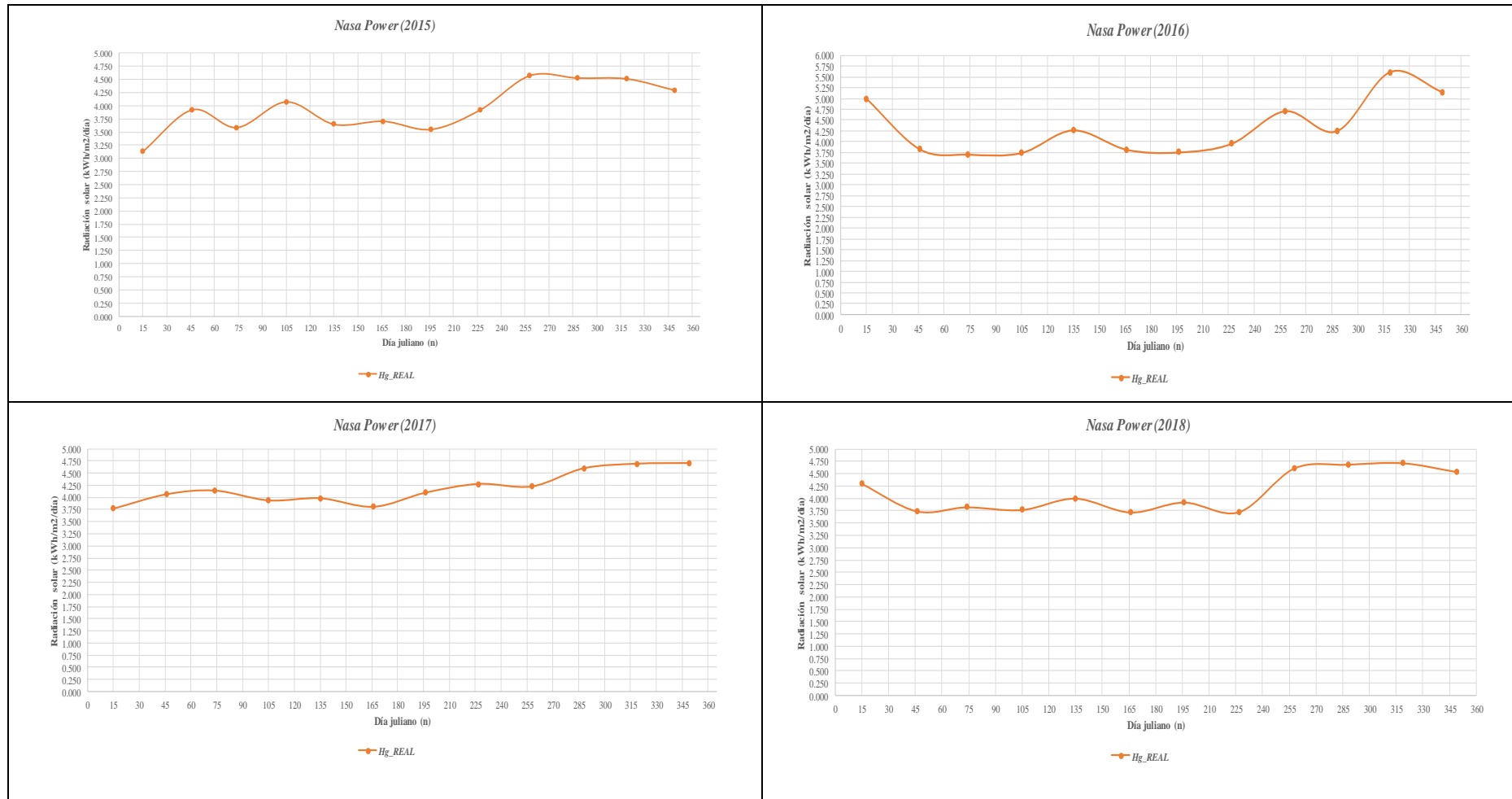
III. RESULTADOS

3.1. Comportamiento de la radiación solar en la ciudad de Jaén

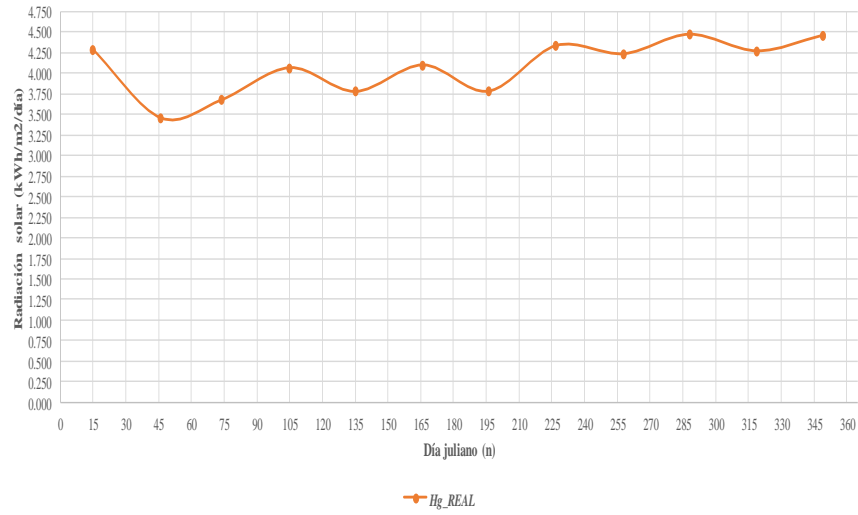
A). Para datos de la *Nasa Power*

Figura 10

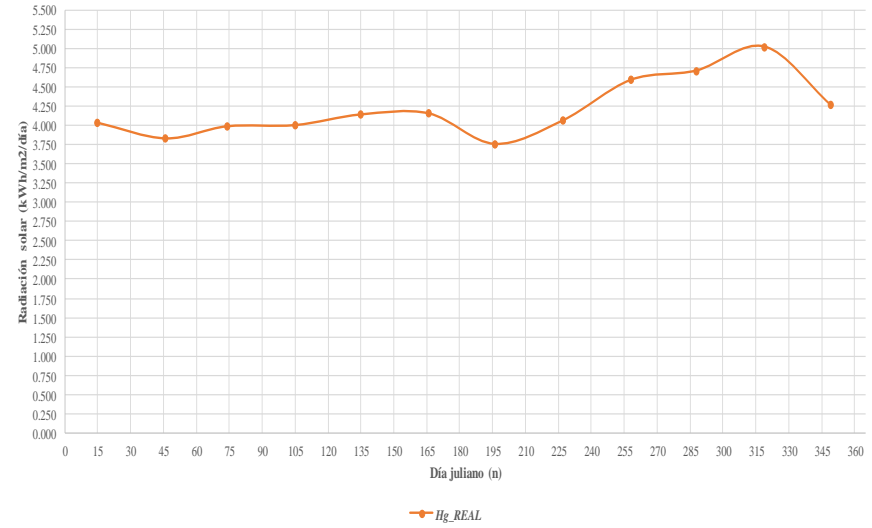
Comportamiento de la radiación solar (2015-2021).



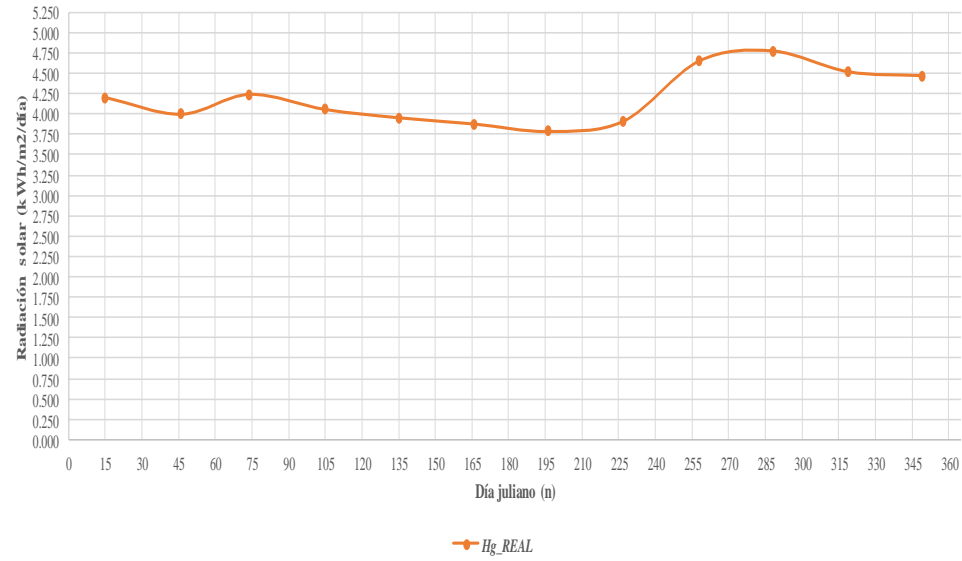
Nasa Power (2019)



Nasa Power (2020)



Nasa Power (2021)

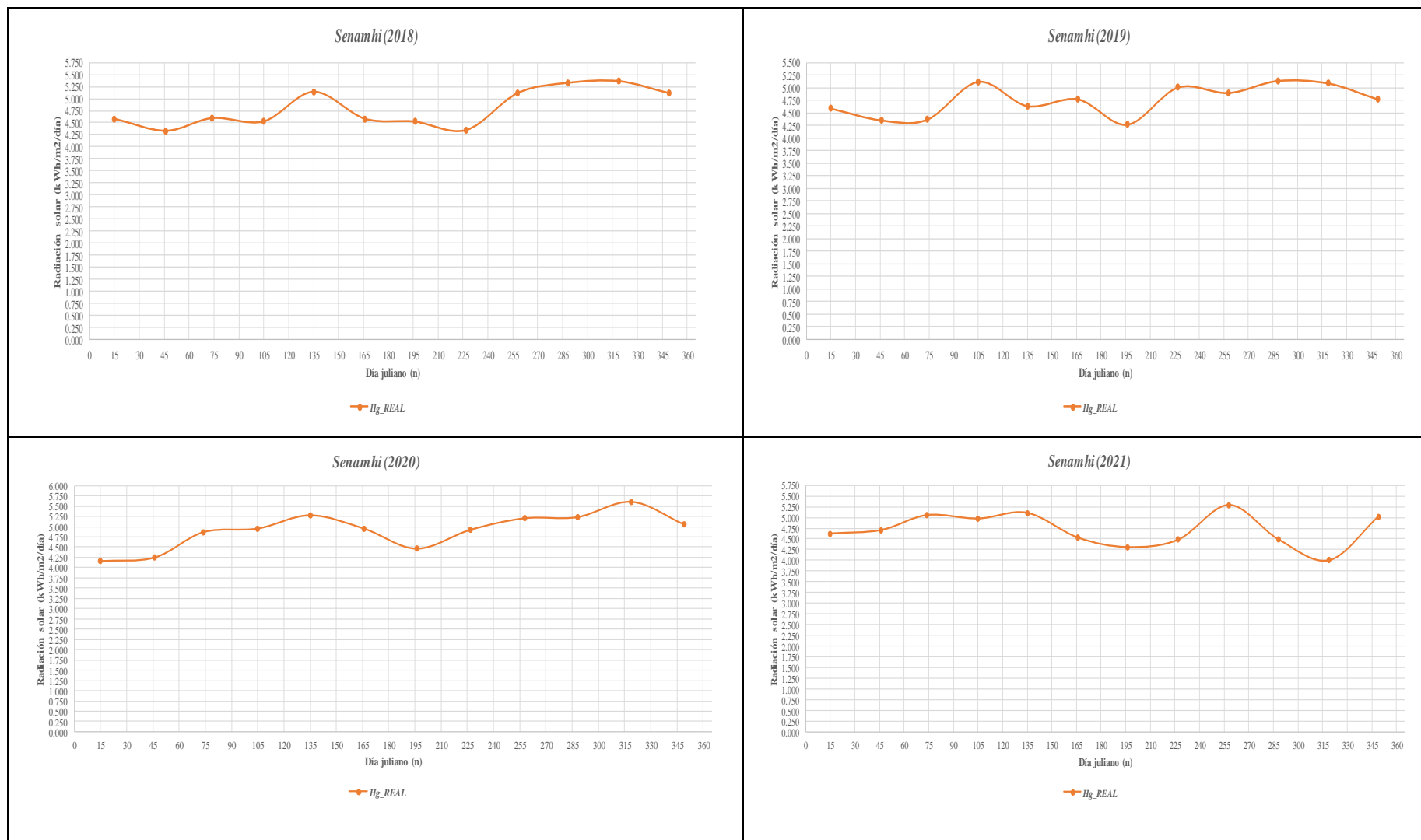


Fuente: Elaboración propia.

B). Para datos del Senamhi

Figura 11

Comportamiento de la radiación solar (2018-2021).



Fuente: Elaboración propia.

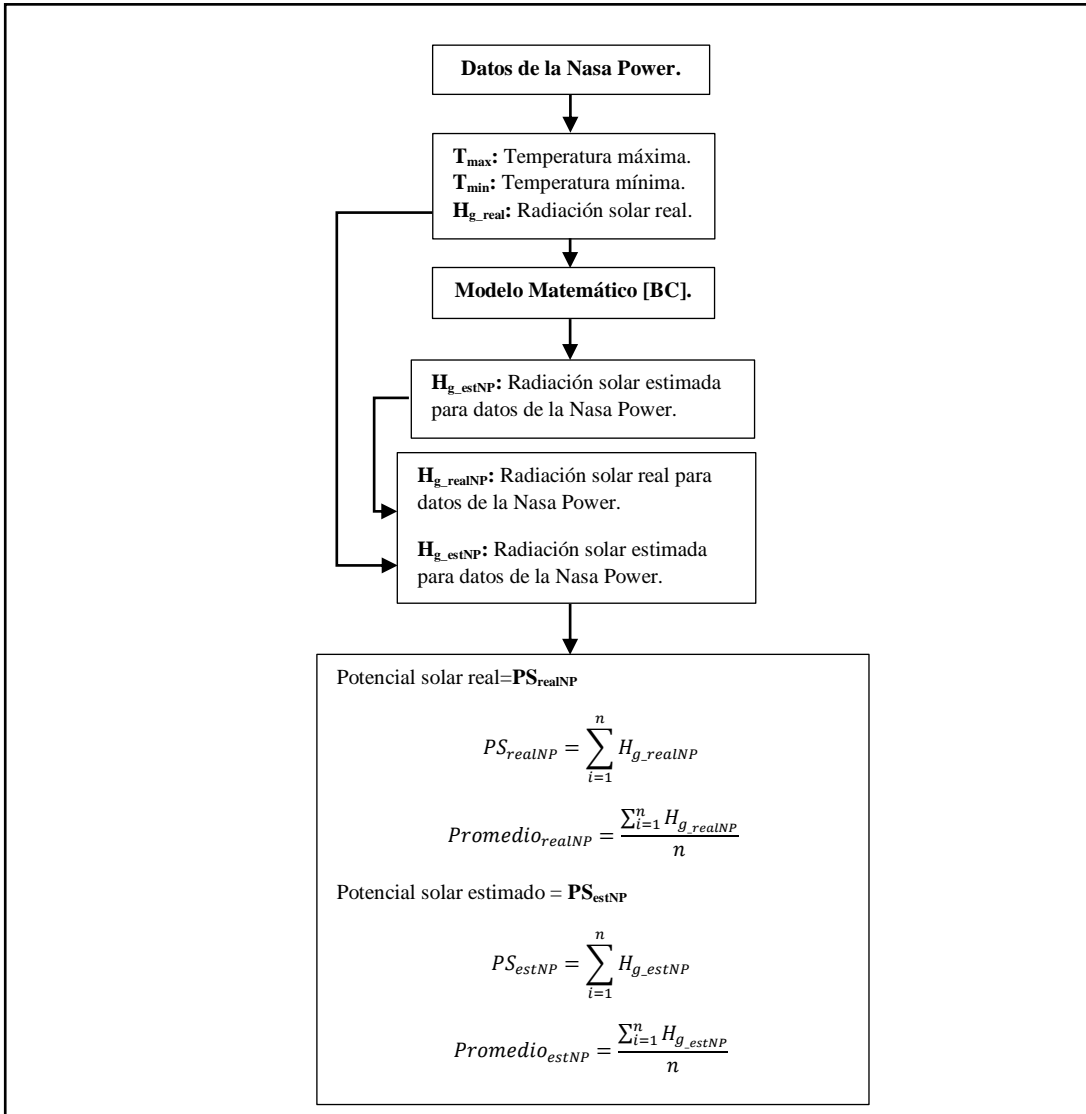
3.2. Potencial solar en la ciudad de Jaén

A). Potencial solar para datos de la *Nasa Power*

Teniendo en cuenta el siguiente esquema se procederá a determinar el potencial solar, para cada año estudiado, tanto el potencial solar real y estimado; además, con su respectivo promedio de potencial solar.

Figura 12

Esquema de determinación de potencial solar para datos de la Nasa Power.



Fuente: Elaboración propia.

- Ejemplo de cálculo para el año 2015 (Nasa Power).

Para obtener la tabla de datos acumulado se tiene que realizar los siguientes cálculos según la **(Figura 9)**.

Datos Iniciales

$$T_{max} = 28.661^{\circ}C \text{ (Nasa Power)}$$

$$T_{min} = 16.861^{\circ}C \text{ (Nasa Power)}$$

$$\phi = -5.7088 \text{ (Latitud)}$$

$$d_n = 15 \text{ (Día juliano)}$$

$$a = 0.530 \text{ (Tabla 1 "Valores aproximados de "a").}$$

$$G_s = 1.367 \text{ kWh/m}^2 \text{ (Constante Solar)}$$

Factor de corrección

$$E_o = \left[\frac{r_o}{r} \right] = 1 + 0.033 \cos \left[\frac{2\pi \cdot d_n}{365} \right] = 1 + 0.033 \cos \left[\frac{2 * 3.1416 * d_n}{365} \right]$$

$$E_o = 1 + 0.033 \cos \left[\frac{2\pi \cdot 15}{365} \right] = 1.032$$

Fórmula utilizada en Excel es:

$$=1+0.033*\text{COS}((2*\text{PI}()*110)/365)$$

Cálculo de la declinación solar (δ)

$$\delta[\text{grados}] = 23.45 \text{sen} \left(\frac{360}{365} (d_n + 284) \right) = 23.45 \text{sen} \left(\frac{360}{365} (15 + 284) \right) = -21.269^{\circ}$$

Fórmula utilizada en Excel es:

$$=(23.45*\text{SENO}((\text{PI}()/180)*360/365*(110+284)))$$

Ángulo horario para una superficie horizontal (ω_s)

$$\begin{aligned} \omega_s[\text{grados}] &= +\cos^{-1}(-\text{tg}(\phi) \cdot \text{tg}(\delta)) \\ &= +\cos^{-1}(-\text{tg}(-5.7088) \cdot \text{tg}(-21.269)) = 92.230^{\circ} \end{aligned}$$

Fórmula utilizada en Excel es:

$$=180/\text{PI}()*\text{ACOS}((- \text{TAN}(\$B\$3*\text{PI}()/180))*(\text{TAN}(M10*\text{PI}()/180)))$$

Irradiancia extraterrestre horizontal (H_o)

$$H_o = \frac{24}{\pi} G_s \cdot E_o \left[\left(\text{sen}(\delta) \cdot \text{sen}(\phi) \cdot \omega_s \cdot \left(\frac{\pi}{180} \right) \right) + (\text{cos}(\delta) \cdot \text{cos}(\phi) \cdot \text{sen}(\omega_s)) \right]$$

$$H_o = \frac{24}{\pi} (1.367)(1.032) \left[\left(\sin(-21.269) \cdot \sin(-5.7088) \cdot (92.230) \cdot \left(\frac{\pi}{180} \right) \right) + (\cos(-21.269) \cdot \cos(-5.7088) \cdot \sin(92.230)) \right]$$

$$H_o = 10.611 \text{ kWh/m}^2$$

Calculando las constantes ("b" y "c")

$$c = 2.116 - 0.072(T_{max} - T_{min}) + 57.574e^{\phi}$$

$$c = 2.116 - 0.072(28.661 - 16.861) + 57.574e^{-5.7088} = 1.457$$

Fórmula utilizada en Excel es:

$$=2.116-(0.072*(J10-K10))+(57.574*EXP(\$B\$3))$$

$$b = 0.107c^{-2.6485} = 0.107(1.457)^{-2.6485} = 0.039$$

Fórmula utilizada en Excel es:

$$=0.107*R10^{-2.6485}$$

Modelo Bristow-Campbell

$$H_{g_estNP} = H_o \cdot a \cdot (1 - e^{-b(T_{max}-T_{min})^c})$$

$$H_{g_estNP} = 10.611 * 0.530 * (1 - e^{-0.039(28.661-16.861)^{1.457}})$$

$$H_{g_estNP} = 4.291 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$$

Fórmula utilizada en Excel es:

$$=O10*P10*(1-(EXP(-Q10*(J10-K10)^R10)))$$

Tabla 7
Año 2015 - Nasa Power.

AÑO	DÍA_JULIANO	T2M_MAX	T2M_MIN	Eo	δ	ω_s	Ho	a	b	c	H_{g_estNP}	H_{g_realNP}
2015	15	28.661	16.861	1.032	-21.269	92.230	10.611	0.530	0.039	1.457	4.291	3.136
2015	46	28.026	17.370	1.023	-13.289	91.353	10.734	0.530	0.034	1.540	4.144	3.926
2015	74	29.765	17.911	1.010	-2.819	90.282	10.560	0.530	0.040	1.453	4.278	3.589
2015	105	27.440	17.483	0.992	9.415	89.050	9.909	0.530	0.031	1.590	3.687	4.076
2015	135	27.409	16.778	0.977	18.792	88.051	9.107	0.530	0.034	1.542	3.512	3.650
2015	166	27.767	16.398	0.968	23.314	87.531	8.624	0.530	0.037	1.488	3.433	3.708
2015	196	27.974	15.764	0.968	21.517	87.741	8.785	0.530	0.042	1.428	3.600	3.554
2015	227	28.801	16.176	0.976	13.784	88.595	9.476	0.530	0.044	1.398	3.930	3.927
2015	258	30.679	17.142	0.991	2.217	89.778	10.229	0.530	0.050	1.332	4.338	4.574
2015	288	30.950	18.019	1.008	-9.599	90.969	10.604	0.530	0.046	1.376	4.433	4.527
2015	319	30.908	17.664	1.023	-19.148	91.989	10.598	0.530	0.048	1.353	4.465	4.511
2015	349	31.064	18.429	1.032	-23.335	92.472	10.520	0.530	0.044	1.397	4.365	4.295
$\Sigma =$											48.476	47.471

Fuente: Elaboración propia.

$$PS_{realNP} = \sum_{i=1}^n H_{g_realNP} = 47.471 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^2$$

$$PS_{estNP} = \sum_{i=1}^n H_{g_estNP} = 48.476 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^2$$

$$Promedio_{realNP} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{g_realNP}}{n} = \frac{47.471}{12} = 3.956 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^2$$

$$Promedio_{estNP} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{g_estNP}}{n} = \frac{48.476}{12} = 4.040 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^2$$

Tabla 8*Potencial solar real y estimado en la ciudad de Jaén NP.*

Potencial solar para datos de la Nasa Power (2015 - 2021)							
<i>Año</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	PS_{realNP}	$Promedio_{realNP}$	PS_{estNP}	$Promedio_{estNP}$
2015	0.530	0.041	1.446	47.471	3.956	48.476	4.040
2016	0.550	0.043	1.421	51.798	4.317	50.948	4.246
2017	0.560	0.039	1.475	50.278	4.190	50.389	4.199
2018	0.560	0.039	1.475	49.576	4.131	50.366	4.197
2019	0.550	0.040	1.460	48.851	4.071	50.017	4.168
2020	0.550	0.040	1.460	50.530	4.211	49.744	4.145
2021	0.550	0.038	1.487	50.432	4.203	49.292	4.108
<i>Máximo</i>	0.560	0.043	1.487	51.798	4.317	50.948	4.246
<i>Mínimo</i>	0.530	0.038	1.421	47.471	3.956	48.476	4.040
<i>Promedio</i>	0.550	0.040	1.461	49.848		49.890	

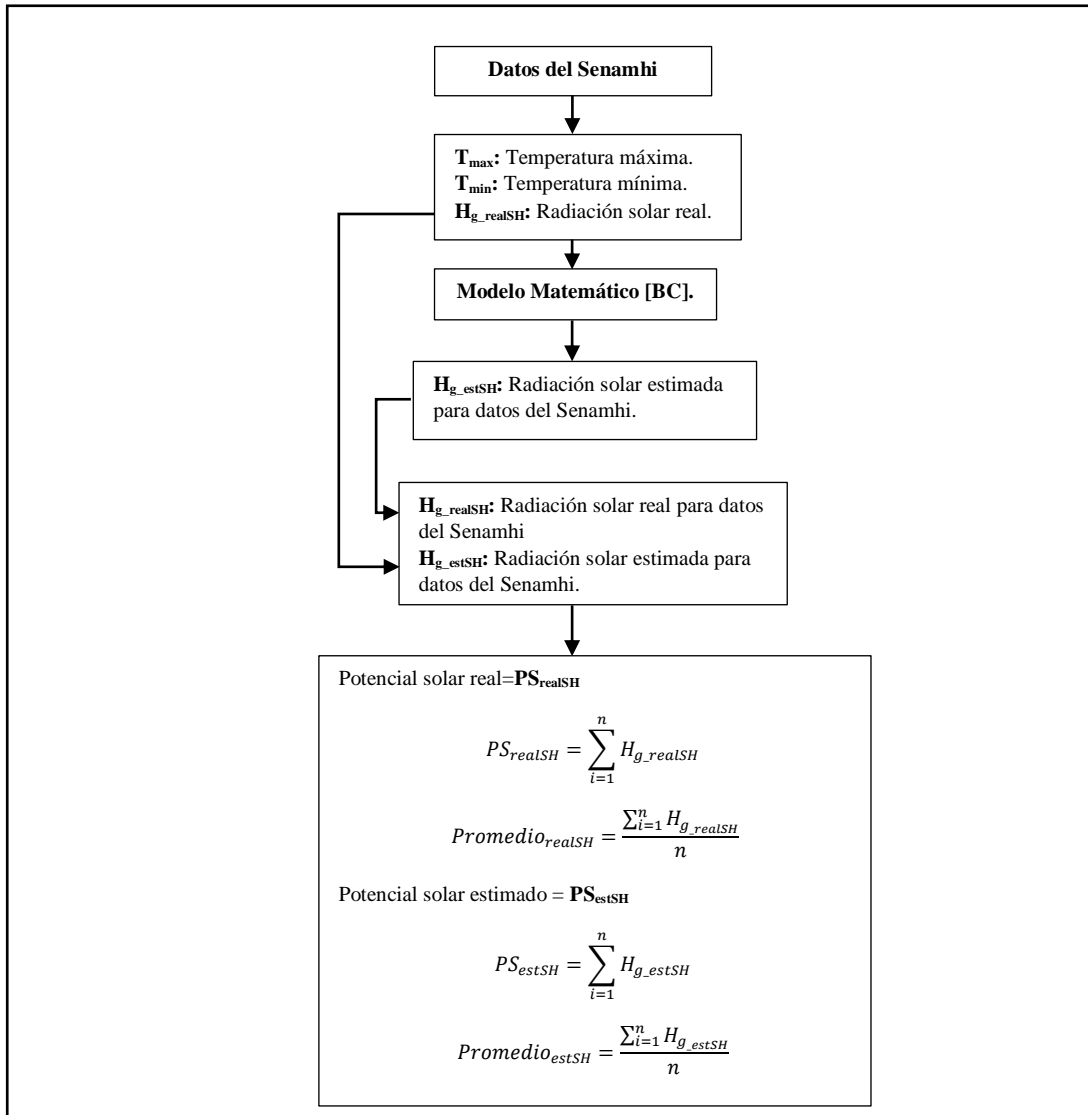
Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar que el resto de tablas, similares a la (**Tabla 7**), se mostraran en la sección de Anexos, que abarcaran entre (**Anexo 1 – Anexo 6**). De esta forma, se garantiza y corrobora los resultados de la (**Tabla 8**).

B). Potencial solar para datos del Senamhi

Figura 13

Esquema de determinación de potencial solar para datos del Senamhi.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9
Año 2018 - Senamhi.

AÑO	DÍA_JULIANO	T2M_MAX	T2M_MIN	Eo	δ	ω_s	Ho	a	b	c	H_{g_estSH}	H_{g_realSH}
2018	15	29.753	17.933	1.032	-21.269	92.230	10.611	0.620	0.040	1.456	5.023	4.581
2018	46	29.455	17.761	1.023	-13.289	91.353	10.734	0.620	0.039	1.465	5.059	4.331
2018	74	29.929	17.896	1.010	-2.819	90.282	10.560	0.620	0.041	1.441	5.034	4.597
2018	105	29.568	17.413	0.992	9.415	89.050	9.909	0.620	0.041	1.432	4.742	4.528
2018	135	30.777	17.787	0.977	18.792	88.051	9.107	0.620	0.046	1.372	4.461	5.143
2018	166	30.058	17.858	0.968	23.314	87.531	8.624	0.620	0.042	1.429	4.133	4.580
2018	196	29.110	16.800	0.968	21.517	87.741	8.785	0.620	0.042	1.421	4.224	4.522
2018	227	29.487	17.019	0.976	13.784	88.595	9.476	0.620	0.043	1.409	4.577	4.347
2018	258	31.003	17.355	0.991	2.217	89.778	10.229	0.620	0.051	1.324	5.087	5.118
2018	288	32.087	18.487	1.008	-9.599	90.969	10.604	0.620	0.051	1.328	5.268	5.329
2018	319	33.432	20.221	1.023	-19.148	91.989	10.598	0.620	0.048	1.356	5.219	5.365
2018	349	31.610	19.513	1.032	-23.335	92.472	10.520	0.620	0.041	1.436	5.026	5.117
$\Sigma =$											57.853	57.556

Fuente: Elaboración propia.

$$PS_{realSH} = \sum_{i=1}^n H_{g_realSH} = 57.556 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

$$PS_{estSH} = \sum_{i=1}^n H_{g_estSH} = 57.853 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

$$Promedio_{realSH} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{g_realSH}}{n} = \frac{57.556}{12} = 4.796 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

$$Promedio_{estSH} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{g_estSH}}{n} = \frac{57.853}{12} = 4.821 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

Tabla 10*Potencial solar real y estimado en la ciudad de Jaén SH.*

Potencial solar para datos del Senamhi (2018 - 2021)							
<i>Año</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	PS_{realSH}	$Promedio_{realSH}$	PS_{estSH}	$Promedio_{estSH}$
2018	0.620	0.044	1.406	57.556	4.796	57.853	4.821
2019	0.640	0.038	1.486	56.999	4.750	57.300	4.775
2020	0.650	0.040	1.464	58.900	4.908	58.855	4.905
2021	0.620	0.040	1.452	56.554	4.713	56.640	4.720
<i>Máximo</i>	0.650	0.044	1.486	58.900	4.908	58.855	4.905
<i>Mínimo</i>	0.620	0.038	1.406	56.554	4.713	56.640	4.720
<i>Promedio</i>	0.633	0.040	1.452	57.502		57.662	

Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar que el resto de tablas, similares a la (**Tabla 9**), se mostrarán en la sección de Anexos, que abarcarán entre (**Anexo 7 – Anexo 9**). De esta forma, se garantiza y corrobora los resultados de la (**Tabla 10**).

3.3. Análisis estadístico para datos de la radiación solar en la ciudad de Jaén

A). Análisis estadístico para datos de la *Nasa Power*

Para el año 2015

Se va a tener en cuenta la (Tabla 7), para determinar cada uno de los parámetros que sirven para medir el error de pronóstico.

- MAD, MSD y MAPE.

Se tendrá en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |X_t - \hat{X}_t|$$

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_t - \hat{X}_t}{X_t} \right|$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2}{n}}$$

Primero, se procedió a realizar las operaciones matemáticas de acuerdo al orden presentado en las ecuaciones:

Tabla 11

Resultados acumulados para MAD, MSD, MAPE y RMSE (2015) - Nasa Power.

2015 (NASAPOWER)				
H_{g_estNP}	H_{g_realNP}	$ X_t - \hat{X}_t $	$(X_t - \hat{X}_t)^2$	$ (X_t - \hat{X}_t)/X_t $
4.291	3.136	1.155	1.334	0.368
4.144	3.926	0.218	0.048	0.056
4.278	3.589	0.689	0.475	0.192
3.687	4.076	0.389	0.152	0.096
3.512	3.650	0.138	0.019	0.038
3.433	3.708	0.275	0.075	0.074
3.600	3.554	0.046	0.002	0.013
3.930	3.927	0.003	0.000	0.001
4.338	4.574	0.235	0.055	0.051
4.433	4.527	0.094	0.009	0.021
4.465	4.511	0.046	0.002	0.010
4.365	4.295	0.070	0.005	0.016
$\Sigma = 48.476$	$\Sigma = 47.471$	3.358	2.176	0.936

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta que “n=12”, se procede a remplazar:

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |X_t - \hat{X}_t| = \frac{1}{12} * 3.358 = 0.280$$

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2 = \frac{1}{12} * 2.176 = 0.181$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_t - \hat{X}_t}{X_t} \right| = \frac{1}{12} * 0.936 = 0.077974406 = 7.797\%$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2}{n}} = \sqrt{\frac{2.176}{12}} = 0.426$$

Coefficiente de correlación (CC, r).

Teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}}$$

Se procede a calcular los *promedios*:

Sí, se tiene en cuenta que: $\hat{X}_t = H_{g_estNP}$

El promedio de $\bar{\hat{X}}_t$ es:

$$\bar{\hat{X}}_t = \frac{4.291 + 4.144 + 4.278 + 3.687 + 3.512 + 3.433 + 3.600 + 3.930 + 4.338 + 4.433 + 4.465 + 4.365}{12}$$

$$\bar{\hat{X}}_t = 4.040$$

También, se reconoce que: $X_t = H_{g_realNP}$

El promedio de \bar{X}_t es:

$$\bar{X}_t = \frac{3.136 + 3.926 + 3.589 + 4.076 + 3.650 + 3.708 + 3.554 + 3.927 + 4.574 + 4.527 + 4.511 + 4.295}{12}$$

$$\bar{X}_t = 3.956$$

Ahora, se procede a tabular en una hoja de cálculo Excel de la siguiente forma:

Tabla 12

Tabulación para "CC o r" (2015) - Nasa Power.

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN (CC, r)

H_{g_estNP}	Promedio (Hg)	H_{g_realNP}	Promedio (Hg_REAL)	$(\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)$	$(\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2$	$(X_t - \bar{X}_t)^2$
4.291	4.040	3.136	3.956	-0.206	0.063	0.672
4.144	4.040	3.926	3.956	-0.003	0.011	0.001
4.278	4.040	3.589	3.956	-0.088	0.057	0.135
3.687	4.040	4.076	3.956	-0.042	0.125	0.014
3.512	4.040	3.650	3.956	0.162	0.279	0.094
3.433	4.040	3.708	3.956	0.151	0.368	0.062
3.600	4.040	3.554	3.956	0.177	0.193	0.162
3.930	4.040	3.927	3.956	0.003	0.012	0.001
4.338	4.040	4.574	3.956	0.184	0.089	0.381
4.433	4.040	4.527	3.956	0.225	0.155	0.326
4.465	4.040	4.511	3.956	0.236	0.181	0.308
4.365	4.040	4.295	3.956	0.110	0.106	0.115
$\Sigma =$				0.908	1.638	2.271

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente; se reemplaza en la ecuación dada:

$$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}} = \frac{0.908}{\{1.638 * 2.271\}^{1/2}}$$

$$CC = 0.471$$

Para corroborar este resultado, se procedió a utilizar el comando en Excel:

=COEF.DE.CORREL(matriz1;matriz2)

=COEF.DE.CORREL(T10:T21;S10:S21)

Opcionalmente, se utiliza el comando “Coeficiente de Correlación” en Excel:

>> Datos >>Análisis de datos >> Coeficiente de correlación

>> Rango de entrada.

Figura 14

Coeficiente de correlación en Excel (2015) - Nasa Power.

The screenshot shows the Excel interface with the 'Datos' (Data) tab selected. The 'Análisis de datos' (Data Analysis) task pane is open, and the 'Coeficiente de correlación' (Correlation Coefficient) tool is selected. The dialog box for this tool is displayed, showing the input range as '\$5:\$15\$21' and the output range as '\$A\$3:\$2'. The dialog box also shows the 'Aceptar' (OK) button and the 'Cancelar' (Cancel) button.

Below the dialog box, the following table shows the results of the correlation analysis:

Hg	Promedio (Hg)	$(x - \bar{x})^2$	$(y - \bar{y})^2$
4.291	4.040	0.063	0.672
4.144	4.040	0.011	0.001
4.278	4.040	0.057	0.135
3.687	4.040	0.125	0.014
3.512	4.040	0.279	0.094
3.433	4.040	0.368	0.062
3.600	4.040	0.193	0.162
3.930	4.040	0.012	0.001
4.338	4.040	0.896	0.381
4.433	4.040	0.225	0.326
4.465	4.040	0.236	0.308
4.365	4.040	0.110	0.115

The correlation coefficient (CC) is calculated as 0.471.

The formula for the correlation coefficient is shown as:

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x}_i - \bar{x}_i)(x_i - \bar{x}_i)}{\left[\left(\sum_{i=1}^n (\bar{x}_i - \bar{x}_i)^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2 \right) \right]^{1/2}}$$

Below the formula, the following table shows the correlation coefficient (CC) for the input and output ranges:

CC o r	
Hg	Hg REAL
Hg	1
Hg REAL	0.471

Fuente: Elaboración propia.

En ambos casos se obtiene un **CC=0.471**

- ANOVA.

Primero, se realiza una tabla de datos que concentre la radiación solar estimada y real.

Tabla 13

Tabla de datos iniciales (2015) - Nasa Power.

$H_{g_estNP} = X$	$H_{g_realNP} = X$
4.291	3.136
4.144	3.926
4.278	3.589
3.687	4.076
3.512	3.650
3.433	3.708
3.600	3.554
3.930	3.927
4.338	4.574
4.433	4.527
4.465	4.511
4.365	4.295

Fuente: Elaboración propia.

Segundo; se eleva al cuadrado de cada uno de los valores que conforman cada grupo de la siguiente forma:

Tabla 14

Tabla de cuadrados y sumatorias (2015) - Nasa Power.

$H_{g_estNP} = X$	X^2	$H_{g_realNP} = X$	X^2
4.291	18.413	3.136	9.834
4.144	17.175	3.926	15.412
4.278	18.304	3.589	12.880
3.687	13.590	4.076	16.612
3.512	12.333	3.650	13.320
3.433	11.786	3.708	13.747
3.600	12.960	3.554	12.631
3.930	15.445	3.927	15.420
4.338	18.820	4.574	20.917
4.433	19.656	4.527	20.494
4.465	19.935	4.511	20.349
4.365	19.050	4.295	18.447
Suma: $\Sigma =$	48.476	47.471	190.064

Fuente: Elaboración propia.

Tercero, se realiza la **Suma Total de los Cuadrados (STC)** para los dos grupos, como se muestra a continuación:

$$STC = \sum X^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}$$

$$STC = \sum X^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} = (197.467 + 190.064) - \frac{(48.476 + 47.471)^2}{24}$$

$$STC = 3.951$$

Para este caso “ $n = 12 + 12 = \# H_{g_estNP(datos)} + \# H_{g_realNP(datos)} = 24$ ”

Cuarto, **Suma de Cuadrados Dentro de los Grupos (SCD)**, se reemplaza en la misma fórmula, pero ahora referida a cada uno de los dos grupos.

$$SCD = \sum X^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}$$

Grupo (1):

$$SCD1 = \sum X^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} = 197.467 - \frac{(48.476)^2}{12} = 1.638$$

Grupo (2):

$$SCD2 = \sum X^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} = 190.064 - \frac{(47.471)^2}{12} = 2.271$$

“Suma de Cuadrados Dentro de los Grupos” es:

$$SCD = SCD1 + SCD2 \dots + SCDn$$

$$SCD = 1.638 + 2.271 = 3.909$$

Quinto; se realiza la **Suma de Cuadrados Entre los Grupos (SCE)**.

$$SCE = STC - SCD$$

$$SCE = 3.951 - 3.909 = 0.042$$

Sexto; **Grados de libertad**. Los grados de libertad para las diferentes sumas de cuadrados son:

Suma total = $n' - 1$; (n' = total de medidas = 24)

$$\text{Suma total} = 24 - 1 = 23$$

Es el total de datos de “ H_g ” y “ H_{g_REAL} ”.

Suma dentro = $k (n'' - 1)$

$$k = 2 = \text{número de grupos}$$

$$n'' = 12 = \text{tamaño de los grupos}$$

$$\text{Suma dentro} = 2 (12 - 1) = 22$$

Suma entre = $k - 1$

$$\text{Suma entre} = 2 - 1 = 1$$

Séptimo; **Estimaciones de la Varianza:**

$$\text{Estimación "entre"} = \frac{\text{Suma de cuadrados "entre" grupos}}{\text{Grados de libertad "entre" grupo}} = \frac{SCE}{\text{Suma entre}}$$

$$\text{Estimación "entre"} = \frac{0.042}{1} = 0.042$$

$$\text{Estimación "dentro"} = \frac{\text{Suma de cuadrados "dentro" de los grupos}}{\text{Grados de libertad "dentro" de los grupos}} = \frac{SCD}{\text{Suma dentro}}$$

$$\text{Estimación "dentro"} = \frac{3.909}{22} = 0.178$$

Estas estimaciones de la varianza poblacional reciben el nombre de “cuadrados medios”.

$$F = \frac{\text{Estimaciones "entre"}}{\text{Estimaciones "dentro"}}$$

$$F = \frac{0.042}{0.178} = 0.237$$

Tabla 15

Variables para el Análisis de Varianza.

<i>Cálculo de Análisis de Varianza</i>				
<i>Fuentes de variación</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Estimación</i>	<i>F</i>
Entre grupos	SCE	gl “entre”	SCE/gl “entre”	$\frac{SCE/gl \text{ entre}}{SCD/gl \text{ dentro}} = F$
Dentro de los grupos	SCD	gl “dentro”	SCD/gl “dentro”	
Total				

Tabla 16*Resultados parciales de Análisis de Varianza (2015) - Nasa Power.*

Cálculo de Análisis de Varianza

<i>Fuentes de variación</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Estimación</i>	<i>F_{calculado}</i>
Entre grupos	0.042	1	0.042	0.237 = F
Dentro de los grupos	3.909	22	0.178	
Total	3.951	23		

Fuente: Elaboración propia.

Octavo; se toma una decisión a partir de la siguiente afirmación:

$$F_{calculada} \geq F_{critica}$$

- “Existen diferencias significativas entre los medios aritméticos de los grupos estudiados”.

$$F_{critica} \geq F_{calculada}$$

- “No existen diferencias significativas entre los medios aritméticos de los grupos estudiados”.

En la *Tabla de “F” (Anexo 29)* se encuentran los valores de **grados de libertad** “entre grupos” y “dentro de los grupos” para el nivel de significación de 0.05 (5%).

Grados de libertad	
“entre grupos”= 1	F_{critica} = 4.301
“dentro de los grupos”= 22	

Entonces; para el año 2015 según ANOVA:

$$F_{critica} \geq F_{calculada}$$

$$4.301 \geq 0.237$$

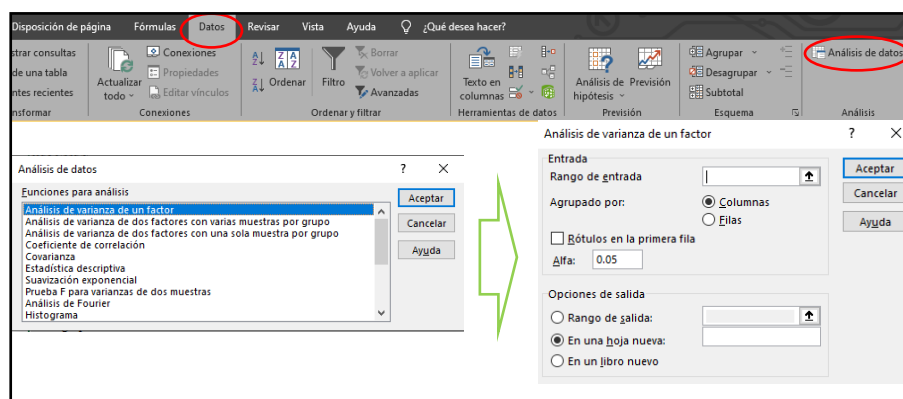
“No existen diferencias significativas entre los medios aritméticos de los grupos de la radiación solar real y estimada”.

Este cálculo se puede corroborar con el comando “Análisis de Varianza de un solo Factor” en Excel:

>> Datos >>Análisis de datos >> Análisis de varianza de un factor

>> Rango de entrada.

Figura 15
ANOVA en Excel.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17*Resultados ANOVA "Excel" para el año 2015 - Nasa Power.***Análisis de varianza de un factor - 2015**

RESUMEN				
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Hg	12	48.476	4.040	0.149
Hg_REAL	12	47.471	3.956	0.206

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.042	1	0.042	0.237	63.130%	4.301
Dentro de los grupos	3.909	22	0.178			
Total	3.951	23				

Fuente: Elaboración propia.

El resto de resultados se muestran en los (**Anexo 10 – Anexo 15**) para los datos procesados de la **Nasa Power** para los años (**2016 – 2021**).

- Resultados acumulados del análisis estadístico para datos de la Nasa Power

Tabla 18

Resultados Acumulados - Nasa Power (2015-2021).

<i>Nasa Power - "Portal Web"</i>									
<i>Año</i>	<i>a</i>	<i>MAD</i>	<i>MSD</i>	<i>MAPE</i>	<i>RMSE</i>	<i>"CC o r"</i>	<i>p</i>	<i>F crítico</i>	<i>F calculado</i>
<i>2015</i>	0.530	0.280	0.181	7.797%	0.426	0.471	63.130%	4.301	0.23686
<i>2016</i>	0.550	0.396	0.212	8.960%	0.461	0.689	74.362%	4.301	0.10970
<i>2017</i>	0.560	0.192	0.051	4.712%	0.226	0.770	94.816%	4.301	0.00432
<i>2018</i>	0.560	0.215	0.098	5.486%	0.314	0.663	68.025%	4.301	0.17443
<i>2019</i>	0.550	0.246	0.123	6.395%	0.351	0.406	46.852%	4.301	0.54414
<i>2020</i>	0.550	0.269	0.114	6.428%	0.338	0.554	66.533%	4.301	0.19224
<i>2021</i>	0.550	0.189	0.048	4.473%	0.220	0.777	45.113%	4.301	0.58858
<i>Máximo</i>	0.560	0.396	0.212	8.960%	0.461	0.777	94.816%	4.301	0.58858
<i>Mínimo</i>	0.530	0.189	0.048	4.473%	0.220	0.406	45.113%	4.301	0.00432
<i>Promedio</i>	0.550	0.255	0.118	6.322%	0.333	0.618	65.547%		

Fuente: Elaboración propia.

B). Análisis estadístico para datos del Senamhi

Para el año 2018

Se va a tener en cuenta la (Tabla 9), para determinar cada uno de los parámetros que sirven para medir el error de pronóstico.

- MAD, MSD, MAPE y RMSE.

Se tendrá en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |X_t - \hat{X}_t|$$

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_t - \hat{X}_t}{X_t} \right|$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2}{n}}$$

Primero, se procedió a realizar las operaciones matemáticas de acuerdo al orden presentado en las ecuaciones:

Tabla 19

Resultados acumulados para MAD, MSD, MAPE y RMSE (2018) - Senamhi.

2018 (SENAMHI)				
<i>H_{g_estSH}</i>	<i>H_{g_realSH}</i>	$ X_t - \hat{X}_t $	$(X_t - \hat{X}_t)^2$	$ (X_t - \hat{X}_t)/X_t $
5.023	4.581	0.442	0.196	0.097
5.059	4.331	0.728	0.530	0.168
5.034	4.597	0.438	0.192	0.095
4.742	4.528	0.214	0.046	0.047
4.461	5.143	0.682	0.465	0.133
4.133	4.580	0.448	0.200	0.098
4.224	4.522	0.298	0.089	0.066
4.577	4.347	0.231	0.053	0.053
5.087	5.118	0.031	0.001	0.006
5.268	5.329	0.061	0.004	0.011
5.219	5.365	0.146	0.021	0.027
5.026	5.117	0.091	0.008	0.018
$\Sigma = 57.853$	$\Sigma = 57.556$	3.809	1.804	0.819

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta que “n=12”, se procede a remplazar:

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |X_t - \hat{X}_t| = \frac{1}{12} * 3.809 = 0.317$$

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2 = \frac{1}{12} * 1.804 = 0.150$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_t - \hat{X}_t}{X_t} \right| = \frac{1}{12} * 0.819 = 0.068234 = 6.823\%$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2}{n}} = \sqrt{\frac{1.804}{12}} = 0.388$$

Coefficiente de correlación (CC, r).

Teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}}$$

Se procede a calcular los promedios:

$$\bar{\hat{X}}_t = 4.666$$

$$\bar{X}_t = 4.796$$

Tabla 20

Tabulación para "CC o r" (2018) - Senamhi.

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN (CC, r)

H_{g_estSH}	Promedio (Hg)	H_{g_realSH}	Promedio (Hg_REAL)	$(\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)$	$(\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2$	$(X_t - \bar{X}_t)^2$
5.023	4.821	4.581	4.796	-0.044	0.041	0.046
5.059	4.821	4.331	4.796	-0.111	0.057	0.216
5.034	4.821	4.597	4.796	-0.043	0.045	0.040
4.742	4.821	4.528	4.796	0.021	0.006	0.072
4.461	4.821	5.143	4.796	-0.125	0.130	0.120
4.133	4.821	4.580	4.796	0.149	0.474	0.047
4.224	4.821	4.522	4.796	0.164	0.356	0.075
4.577	4.821	4.347	4.796	0.110	0.059	0.202
5.087	4.821	5.118	4.796	0.085	0.071	0.103
5.268	4.821	5.329	4.796	0.238	0.199	0.283
5.219	4.821	5.365	4.796	0.226	0.158	0.323
5.026	4.821	5.117	4.796	0.066	0.042	0.103
$\Sigma =$				0.736	1.639	1.631

Fuente: Elaboración propia.

Se procede a remplazar.

$$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}} = \frac{0.736}{\{1.639 * 1.631\}^{\frac{1}{2}}}$$

$$CC = 0.450$$

Ahora se muestran los resultados aplicando los comandos de Excel, como se muestra en la imagen

Figura 16

Coficiente de correlación "CC o r" (2018) - Senamhi.

$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}}$	<p>CC= 0.450</p>									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th><i>Hg</i></th> <th><i>Hg_REAL</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>Hg</th> <td style="text-align: center;">1</td> <td></td> </tr> <tr> <th>Hg_REAL</th> <td style="text-align: center;">0.450</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> </tbody> </table>		<i>Hg</i>	<i>Hg_REAL</i>	Hg	1		Hg_REAL	0.450	1
	<i>Hg</i>	<i>Hg_REAL</i>								
Hg	1									
Hg_REAL	0.450	1								

Fuente: Elaboración propia.

ANOVA.

Ahora, se presenta los datos obtenidos a través de una hoja de cálculo, cabe resaltar, que operando manualmente se obtienen valores similares.

Tabla 21

Resultados ANOVA "Excel" para el año 2018 - Senamhi.

Análisis de varianza de un factor - 2018

RESUMEN				
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Hg	12	57.8533	4.8211	0.1490
Hg_REAL	12	57.5556	4.7963	0.1483

ANÁLISIS DE VARIANZA							
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	
Entre grupos	0.00369	1	0.00369	0.024845	87.619%	4.301	
Dentro de los grupos	3.26985	22	0.14863				
Total	3.27355	23					

Fuente: Elaboración propia.

Si, la es $F_{crítica}$ mayor a la $F_{calculada}$:

$$F_{crítica} \geq F_{calculada}$$

$$4.301 \geq 0.024845$$

“No existen diferencias significativas entre los medios aritméticos de los grupos de la radiación solar real y estimada”.

- El resto de resultados se muestran en los (**Anexo 16 – Anexo 18**) para datos del **Senamhi** que comprenden los años (**2019 – 2021**).

- Resultados acumulados del análisis estadístico para datos del Senamhi

Tabla 22

Resultados Acumulados - Senamhi (2018-2021).

<i>Senamhi - "Estación Jean Gore"</i>									
<i>Año</i>	<i>a</i>	<i>MAD</i>	<i>MSD</i>	<i>MAPE</i>	<i>RMSE</i>	<i>"CC o r"</i>	<i>p</i>	<i>F crítico</i>	<i>F calculado</i>
<i>2018</i>	0.620	0.317	0.150	6.823%	0.388	0.450	87.619%	4.301	0.02484
<i>2019</i>	0.640	0.334	0.141	7.059%	0.375	0.462	86.937%	4.301	0.02769
<i>2020</i>	0.650	0.333	0.196	7.116%	0.443	0.396	98.277%	4.301	0.00048
<i>2021</i>	0.620	0.409	0.259	8.934%	0.509	0.150	96.600%	4.301	0.00186
<i>Máximo</i>	0.650	0.409	0.259	8.934%	0.509	0.462	98.277%	4.301	0.02769
<i>Mínimo</i>	0.620	0.317	0.141	6.823%	0.375	0.150	86.937%	4.301	0.00048
<i>Promedio</i>	0.633	0.349	0.187	7.483%	0.429	0.364	92.358%		

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Análisis gráfico del comportamiento de la radiación solar estimada y real (H_{g_est} vs H_{g_real}).

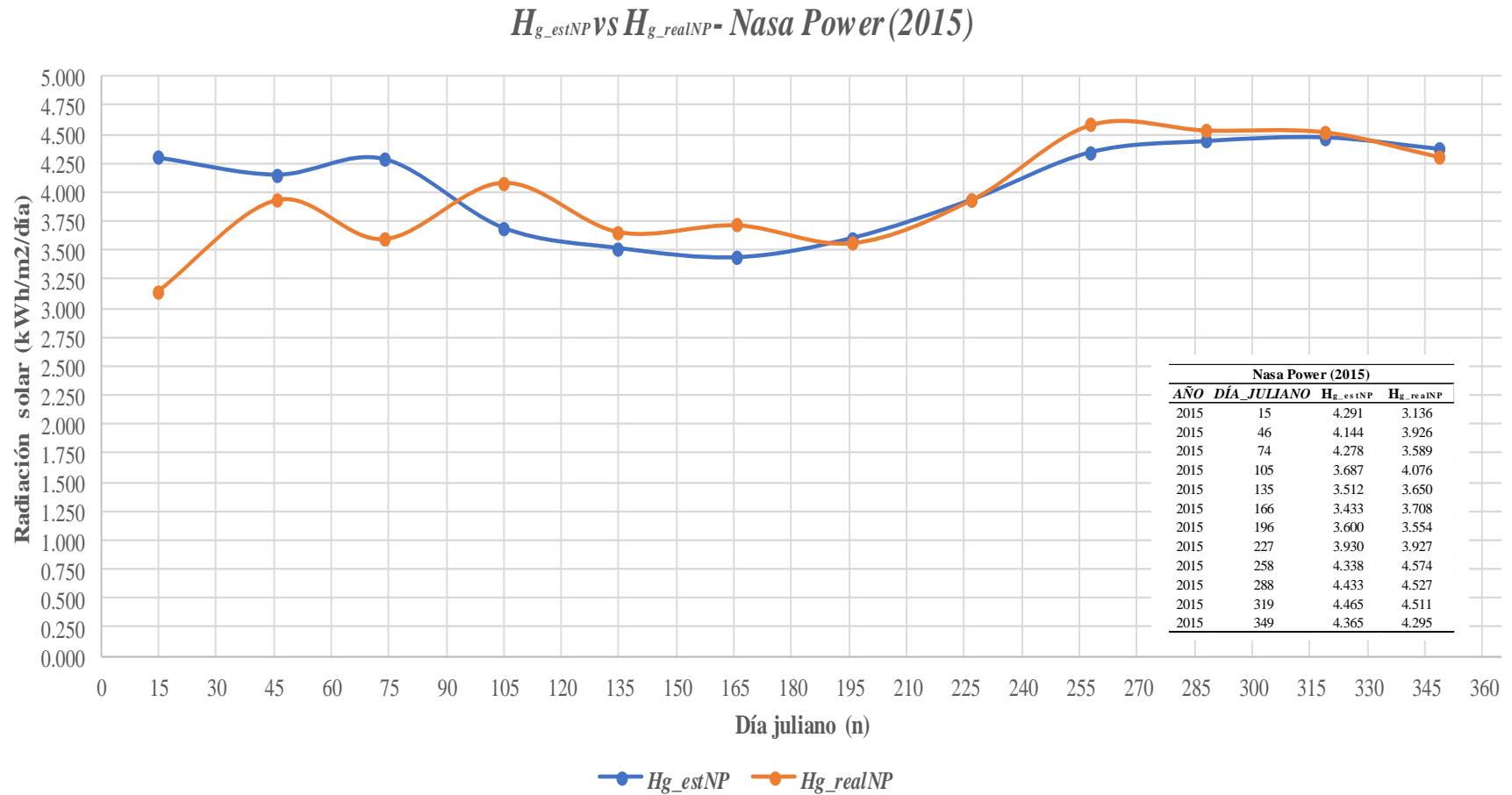
En esta sección se plasmó como la radiación solar se comportó en cada año estudiado, mostrando de forma dinámica, clara y comprensible los resultados estimados y los datos reales dados. A continuación, se muestra la (**Figura 17 y 18**), donde se puede observar que existe un comportamiento similar de ambas curvas para el año 2015 (**Nasa Power**) y 2018 (**Senamhi**).

Es necesario resaltar que el resto de gráficos realizados, tanto para datos de la Nasa Power y del Senamhi, se muestran en (**Anexo 19 – Anexo 27**).

A). Análisis gráfico para datos procesados de la “Nasa Power”.

Figura 17

Comportamiento de la radiación solar 2015 - Nasa Power.

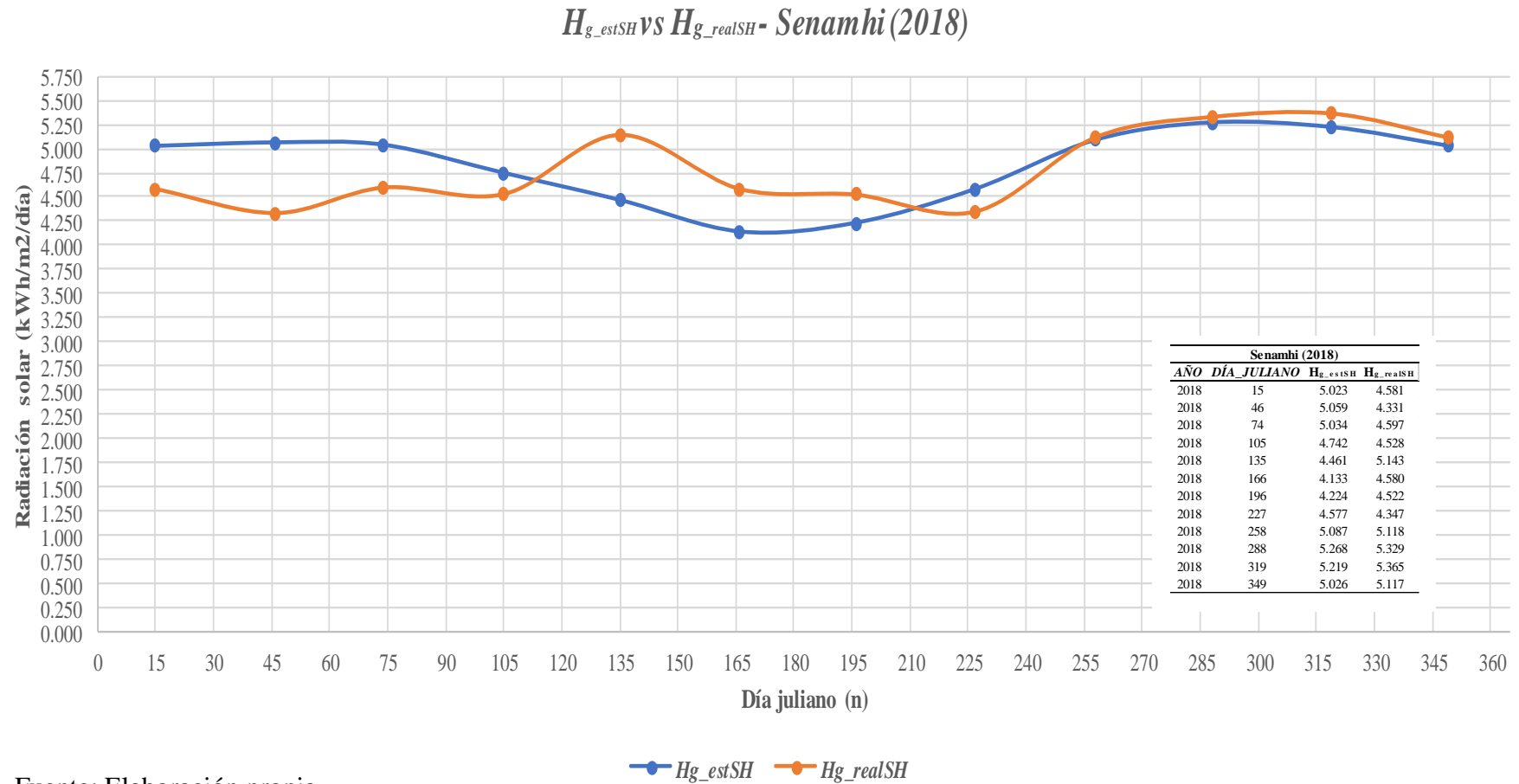


Fuente: Elaboración propia.

B). Análisis gráfico para datos procesados del “Senamhi”.

Figura 18

Comportamiento de la radiación solar 2018 - Senamhi.



Fuente: Elaboración propia.

IV. DISCUSIÓN

- En la investigación se halló un valor promedio de potencial solar entre $(3.956 \leq \text{Promedio}_{realNP} \leq 4.317) \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ y $(4.040 \leq \text{Promedio}_{estNP} \leq 4.246) \text{ kWh/m}^2/\text{día}$, para datos de la *Nasa Power*. Y, un valor entre $(4.713 \leq \text{Promedio}_{realSH} \leq 4.908) \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ y $(4.720 \leq \text{Promedio}_{estSH} \leq 4.905) \text{ kWh/m}^2/\text{día}$, para datos del *Senamhi*. En ese sentido, la siguiente investigación menciona que “Con los resultados obtenidos se puede diseñar sistemas que permitan aprovechar la energía solar disponible en la zona ya sea para colectores solares (calentamiento de un fluido) o sistemas fotovoltaicos para la generación de electricidad; sugiriendo utilizar el valor de **4.0 Kw-h/m²-día**, garantizando de esta manera la funcionabilidad del sistema solar diseñado.” (Farfán, 2020, p. 55). En consecuencia, los resultados del *Informe Final* se evidenciaron que es posible un aprovechamiento óptimo de este recurso renovable en nuestra ciudad de Jaén, garantizando un aprovechamiento energético de manera eficiente.

- Otro estudio acota lo siguiente “En la Sierra se alcanzó valores del orden de los **6 kWh/m²/día**, y en la **Selva de 4 kWh/m²/día**. Consideramos que ambos valores son rentables para aplicaciones térmicas y de generación de electricidad con energía solar.” (Camayo et al., 2017, pp. 14, 15). Comparando con los resultados obtenidos y reconociendo que la ciudad de Jaén se encuentra en “*Ceja de Selva*”, los datos obtenidos tanto para la radiación solar real y estimada, se encuentra dentro del intervalo mencionado.

- Aunque los datos de la “*Nasa Power*” son importantes al momento de dimensionar paneles fotovoltaicos; sin embargo, estos datos son procesados ya por métodos matemáticos europeos. Además; los datos son obtenidos por estaciones meteorológicas de aeropuertos. En la ciudad de Jaén, esta se encuentra en la localidad de *Shumba* que está muy alejada a nuestra zona de estudio; también, es importante mencionar que la estación, solo se encuentra en funcionamiento cuando hay flujo de vuelos de ida y vuelta. Por tanto, genera variaciones con las mediciones que se realiza.

- Los datos del “*Senamhi*” y el posterior procesamiento nos demuestra que “si se tiene valores no alterados mediante otros modelos matemáticos” estos se aproximan con mayor eficacia a los valores reales de radiación solar, tan solo utilizando temperaturas extremas. Pero, a decir verdad, contar con una estación meteorológica en cada ciudad de estudio

llega a ser demasiado costoso. Sin embargo, es una necesidad que debe implementarse en zonas estratégicas y de esta forma hacer estudios de potencial energético, para posteriormente implementar proyectos que involucren energías renovables.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se logró describir el comportamiento de la radiación solar en la ciudad de Jaén para datos reales de la Nasa Power y Senamhi, se plasmó de manera gráfica en la **Figura 10**, que abarca los años (2015 – 2021) para datos de la Nasa Power y la **Figura 11**, que abarca los años (2018 – 2021) para datos del Senamhi.

- Se determinó el potencial solar en la ciudad de Jaén, este potencial solar anual acumulado se encuentra entre $(47.471 \leq PS_{realNP} \leq 51.798) kWh/m^2$ y $(48.476 \leq PS_{estNP} \leq 50.948) kWh/m^2$, para datos de la Nasa Power (2015-2021). También, se halló $(56.554 \leq PS_{realSH} \leq 58.900) kWh/m^2$ y $(56.640 \leq PS_{estSH} \leq 58.855) kWh/m^2$, para datos del Senamhi (2018 – 2021). Y sus promedios anuales son los siguientes $(3.956 \leq Promedio_{realNP} \leq 4.317) kWh/m^2/día$ y $(4.040 \leq Promedio_{estNP} \leq 4.246) kWh/m^2/día$, para datos de la Nasa Power; $(4.713 \leq Promedio_{realSH} \leq 4.908) kWh/m^2/día$ y $(4.720 \leq Promedio_{estSH} \leq 4.905) kWh/m^2/día$, para datos del Senamhi. Es evidente que, tantos los resultados reales y estimados, guardan cierta similitud al momento de evaluarlos.

- En el análisis estadístico realizado para los datos de *Senamhi*, el estudio arrojó resultados muy positivos, cuando se ha evaluado los datos de la estación meteorológica del “*Senamhi*”. Se obtuvo un *MAD* entre (0.317 – 0.409), *MSD* entre (0.141 – 0.259), *MAPE* entre (6.823% - 8.934%), recordando que un modelo es aceptable cuando es menor a un 10%. También; arrojó un *RMSE* entre (0.375 – 0.509), idealmente se desearía que fuera “0”; sin embargo, este se acerca y está por debajo de la unidad. Otro estadístico esencial es el coeficiente de correlación, obteniendo un “*CC o r*” entre (0.150 – 0.462) demostrando que existe un nivel de correlación aceptable, aunque idealmente se desearía que fuera lo más cercano a “1”; sin embargo, este no es cercano “0”, por tanto, no se descarta. Finalmente, utilizando *ANOVA* se obtuvo un $F_{calculado}$ entre (0.00048 – 0.02769), teniendo en cuenta que el $F_{crítico} = 4.301$ es igual para todos los años evaluados, cumpliéndose el principal criterio $F_{crítica} \geq F_{calculada}$, concluyendo que: “*No existen diferencias significativas entre los medios aritméticos de los grupos de la radiación solar real y estimada*” y obteniéndose una probabilidad de que las variables evaluadas sean

similares con un “**p**” entre (86.937% - 98.277%). Estos resultados se obtuvieron con un “**a**” entre (0.620 – 0.650), para los años (2018 – 2021), cumpliéndose lo mostrado en la (Tabla 4), geográficamente nuestra ciudad se caracteriza por un clima “*Soleado*”; confirmando que el modelo matemático arroja valores significativos y es aceptable para la aplicación en esta zona geográfica.

- En cambio; en el análisis estadístico realizado para los datos del portal web *Nasa Power*, se obtuvo un *MAD* entre (0.189 – 0.396), *MSD* entre (0.048 – 0.212), *MAPE* entre (4.473% - 8.960%), recapitulando que un modelo es aceptable cuando es menor a un 10%. También; se reportó un *RMSE* entre (0.220 – 0.461), idealmente se pretendería que fuera “0”; en cambio, este se acerca y está por debajo de la unidad. Además; se ha determinado el coeficiente de correlación, obteniendo un “**CC o r**” entre (0.406 – 0.777), confirmando que existe un nivel de correlación aceptable, aunque idealmente se desearía que fuera lo más cercano a “1”; sin embargo, este no es cercano “0”, por tanto, no se descarta. Por último, utilizando *ANOVA* se obtuvo un $F_{\text{calculado}}$ (0.00432 – 0.58858), teniendo en cuenta que el $F_{\text{crítico}} = 4.301$ es igual para todos los años evaluados, cumpliéndose el principal criterio $F_{\text{crítica}} \geq F_{\text{calculada}}$, concluyendo que: “*No existen diferencias significativas entre los medios aritméticos de los grupos de la radiación solar real y estimada*” y obteniendo una probabilidad de que las variables evaluadas sean similares con un “**p**” entre (45.113% - 94.816%). Estos resultados se obtuvieron con un “**a**” entre (0.530 – 0.560), para los años (2015 – 2021), evidenciándose que no se cumple lo enunciado en la (Tabla 4), porque el rango de “**a**” se encuentra en “*Parcialmente nublado*”, y la ciudad de Jaén se caracteriza por poseer un clima “*Soleado*”.

- En general, el modelo matemático es ideal para utilizarlo con mediciones reales de temperatura que se hayan registrado en una estación meteorológica, utilizando sensores de temperatura, como mínimo. Sin embargo, si se utiliza datos ya estimados mediante otros modelos matemáticos, el modelo “*Bristow – Campbell*” se vería seriamente afectado al momento de realizar las estimaciones, porque la constante “**a**” no reflejaría la condición climática (Tabla 4) de la zona de estudio.

5.2. Recomendaciones

- Como es evidente, nuestra investigación necesitó datos de temperaturas extremas para hacer la estimación de radiación requerida, utilizando el modelo matemático [BC]. Sin embargo, estas son registradas por un número limitado de estaciones meteorológicas. Por tal motivo, se sugiere implementar una pequeña estación meteorológica haciendo uso los siguientes materiales:

- **Arduino Uno:** Microprocesador electrónico.
- **Sensor DHT11:** Capta parámetros como Temperaturas y Humedad Relativa.
- **Módulo lector de memoria Micro SD Card** (compatible con Arduino): Registrara los datos de temperaturas y humedad relativa; y los muestra en una hoja de cálculo.
- **Pantalla LCD 2004:** Permite observar la temperatura y humedad relativa en el momento que uno esta inspeccionando.

Una vez implementado, esta será transportado a las diferentes zonas donde se desee registrar temperaturas y luego se utilizará el modelo [BC] para estimar la radiación solar con las temperaturas registradas.

- Se debe utilizar el modelo [BC] con temperaturas reales, en este caso, si se lograra implementar este pequeño dispositivo, que registraría temperaturas (máximas y mínimas). Estos datos, se debería exportar a una hoja de cálculo “**xlsx**” las temperaturas registradas y posteriormente se aplicaría la fórmula matemática [BC], como resultado se obtendría la radiación estimada, sin la necesidad de un equipo sofisticado.

VI. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Axaopoulos, P. (s. f.). *Principios de la Geometría Solar*.
https://www.academia.edu/38630131/3_Principios_de_la_Geometr%C3%ADa_Solar_Petros_Axaopoulos_TEI_de_Atenas_Grecia
- Bahel, V., Bakhsh, H., & Srinivasan. (1987). A correlation for estimation of global solar radiation. *Energy, Vol. 12*, 131-135. [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(87\)90117-4](https://doi.org/10.1016/0360-5442(87)90117-4)
- Caceres, L., Torres, H., & Chavez, J. (2019). Aplicación del modelo Bristow-Campbell para estimar la irradiación solar gobal en la zona alto andina de la región de Tacna. *XXVI Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XXVI- SPES)*.
- Camayo, V., Bécquer, F., Condezo, H., David, E., Ramos, C., Adam, Y., Massipe, H., & Juan, R. (2017). *Estimación de la radiación solar global, mediante temperaturas extremas, aplicando el modelo Bristow–Campbell en la región Junín, Perú*.
- Camayo-Lapa, B. F., Pomachagua-Paucar, J. E., Massipe-Hernaández, J. R., Quispe-Flores, M. O., & Torres-Ten, A. (2017). Validación y aplicación del modelo Bristow Campbell para estimar la radiación solar global de la región de Junin. *Tecnología Química, Vol. 37(3)*, 574-590.
- Çengel, Y., & Ghajar, A. (2011). *Transferencia de calor y masa. Fundamentos y aplicaciones* (Cuarta edición). McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Chávez, E. (2019). “Evaluación de las energías renovables eólica y solar, para el suministro de energía eléctrica a la comunidad ecológica Majanumia de la provincia de Jaén, departamento Cajamarca” [Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo].
https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/9057/Ch%c3%a1vez_Castro_Ever.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- De La Casa, A., Ovando, G., & Rodríguez, A. (2003). Estimación de la radiación solar global en la provincia de Córdoba, Argentina, y su empleo en un modelo de rendimiento potencial de papa. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 32(2), 45-61.
- Farfán, J. (2020). “Evaluación del modelo empírico de Bristow-Campbell en el registro de la irradiancia solar diaria en las estaciones meteorológicas del Senamhi de

- la Provincia de Lambayeque*” [Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo].
<https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/8701>
- Gavilán, P. (s. f.). *Modelos de estimación de la radiación solar diaria a partir de medidas de la temperatura*.
- Iqbal, M. (1983). *An Introduction to Solar Radiation*. Academic Press.
- Jara, C. L. (2018). *Implementación de energía fotovoltaica para optimizar el costo por consumo de energía eléctrica en edificio multifamiliar del distrito Baños del Inca Cajamarca* [Universidad César Vallejo].
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/25027/jara_fc.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Konrad Adenauer Stiftung. (2014). *Energías renovables y cambio climático 7 proyectos demostrativos de un desarrollo sustentable* (Primera). Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2014-12082.
- Lecuona, A. (2017). *Cocinas Solares. Fundamentos y aplicaciones Herramientas de lucha contra la pobreza energética* (Primera edición). Marcombo, S.A.
- Meza, F., & Varas, E. (2000). Estimation of mean monthly solar global radiation as a function of temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 100, 231-241.
[https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(99\)00090-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(99)00090-8)
- Moreno, S. (s. f.). 3. *Radiación Solar*. Recuperado 25 de noviembre de 2019, de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4314/fichero/3.RADIACI%C3%93N+SO LAR.pdf>
- Proviento. (2022, abril 6). *Proviento Perú*. Sensores meteorológicos.
<https://www.proviento.com.pe/sensoresclimaticos.html>
- Raichijk, C., & Lanson, A. (2011). Evaluación de distintos modelos de estimación de la radiación solar global basados en datos de temperatura. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 15, 11-09.
- Sulca, L., & Paulino, C. (2019). *Estimación de la radiación solar global mediante temperaturas extremas, aplicando el modelo Bristow–Campbell en la región Pasco*.
- Yousif, C., Quecedo, G. O., & Santos, J. B. (2013). Comparison of solar radiation in Marsaxlokk, Malta and Valladolid, Spain. *Renewable Energy*, 49, 203-206.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.01.031>

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a la *Plana Docente de la Universidad Nacional de Jaén*, por haberme acompañado a lo largo de la carrera profesional, inculcándome sus saberes y experiencias, que me guía por el sendero del desarrollo profesional y humanístico.

Agradecer en especial a mi docente asesor que me ha guiado y monitoreado a lo largo de esta investigación, compartiendo sus puntos de vista y últimos alcances, que se subsanaron con esmero y dedicación.

Agradecer al *Senamhi* por proporcionarme los datos meteorológicos, porque sin ellos, sería imposible culminar la investigación proyectada.

DEDICATORIA

En primer a lugar a Dios Jehová por haberme dado la oportunidad de culminar esta investigación. A mis padres Laura Recalde Cajo y Remigio Pariacurí Mendoza que son mi fortaleza y por haberme dado ánimo para no desfallecer en este camino arduo y largo de culminar. También agradecer a mi hermana Abigail y Fredy por proporcionarme la ayuda necesaria y por haber estado junto a mí en este desafío.

ANEXOS

Anexo 1 Resultados para el año 2016 - Nasa Power.

- Datos acumulados.

Tabla 23

Año 2016 - Nasa Power.

AÑO	DÍA_JULIANO	T2M_MAX	T2M_MIN	Eo	δ	ω s	Ho	a	b	c	H_{g_estNP}	H_{g_realNP}
2016	15	32.011	19.551	1.032	-21.269	92.230	10.611	0.550	0.043	1.410	4.546	4.993
2016	46	30.285	18.679	1.023	-13.289	91.353	10.734	0.550	0.038	1.471	4.474	3.830
2016	74	29.654	19.030	1.010	-2.819	90.282	10.560	0.550	0.034	1.542	4.224	3.710
2016	105	29.812	18.423	0.992	9.415	89.050	9.909	0.550	0.037	1.487	4.097	3.747
2016	135	29.615	17.851	0.977	18.792	88.051	9.107	0.550	0.039	1.460	3.817	4.267
2016	166	28.619	16.739	0.968	23.314	87.531	8.624	0.550	0.040	1.452	3.629	3.821
2016	196	27.989	15.526	0.968	21.517	87.741	8.785	0.550	0.043	1.410	3.764	3.758
2016	227	29.121	16.303	0.976	13.784	88.595	9.476	0.550	0.045	1.384	4.099	3.960
2016	258	30.503	17.262	0.991	2.217	89.778	10.229	0.550	0.048	1.354	4.472	4.707
2016	288	29.866	17.387	1.008	-9.599	90.969	10.604	0.550	0.043	1.408	4.545	4.247
2016	319	32.140	18.119	1.023	-19.148	91.989	10.598	0.550	0.054	1.297	4.710	5.607
2016	349	30.729	17.753	1.032	-23.335	92.472	10.520	0.550	0.046	1.373	4.570	5.150
											$\Sigma = 50.948$	$\Sigma = 51.798$

Fuente: Elaboración propia.

$$PS_{realNP} = \sum_{i=1}^n H_{g_realNP} = 51.798 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

$$PS_{estNP} = \sum_{i=1}^n H_{g_estNP} = 50.948 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

$$Promedio_{realNP} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{g_realNP}}{n} = \frac{51.798}{12} = 4.317 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

$$Promedio_{estNP} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{g_estNP}}{n} = \frac{50.948}{12} = 4.246 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

Anexo 2
Resultados para el año 2017 - Nasa Power.

- Datos acumulados.

Tabla 24
Año 2017 - Nasa Power.

AÑO	DÍA_JULIANO	T2M_MAX	T2M_MIN	Eo	δ	ω_s	Ho	a	b	c	H_{g_estNP}	H_{g_realNP}
2017	15	27.157	17.168	1.032	-21.269	92.230	10.611	0.560	0.031	1.588	4.179	3.772
2017	46	28.094	17.254	1.023	-13.289	91.353	10.734	0.560	0.035	1.526	4.416	4.065
2017	74	27.592	17.409	1.010	-2.819	90.282	10.560	0.560	0.032	1.574	4.205	4.139
2017	105	27.202	17.212	0.992	9.415	89.050	9.909	0.560	0.031	1.588	3.903	3.940
2017	135	27.967	17.303	0.977	18.792	88.051	9.107	0.560	0.034	1.539	3.717	3.983
2017	166	27.945	16.856	0.968	23.314	87.531	8.624	0.560	0.036	1.509	3.587	3.810
2017	196	27.926	15.326	0.968	21.517	87.741	8.785	0.560	0.044	1.400	3.847	4.095
2017	227	29.188	15.899	0.976	13.784	88.595	9.476	0.560	0.048	1.350	4.222	4.275
2017	258	29.829	16.953	0.991	2.217	89.778	10.229	0.560	0.046	1.380	4.513	4.224
2017	288	30.476	17.510	1.008	-9.599	90.969	10.604	0.560	0.046	1.373	4.689	4.592
2017	319	30.024	17.807	1.023	-19.148	91.989	10.598	0.560	0.042	1.427	4.590	4.685
2017	349	29.450	17.475	1.032	-23.335	92.472	10.520	0.560	0.040	1.445	4.522	4.699
											$\Sigma = 50.389$	$\Sigma = 50.278$

Fuente: Elaboración propia.

$$PS_{realNP} = \sum_{i=1}^n H_{g_realNP} = 50.278 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

$$PS_{estNP} = \sum_{i=1}^n H_{g_estNP} = 50.389 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

$$Promedio_{realNP} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{g_realNP}}{n} = \frac{50.278}{12} = 4.190 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

$$Promedio_{estNP} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{g_estNP}}{n} = \frac{50.389}{12} = 4.199 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

Anexo 3
Resultados para el año 2018 - Nasa Power.

- Datos acumulados.

Tabla 25

Año 2018 - Nasa Power.

AÑO	DÍA_JULIANO	T2M_MAX	T2M_MIN	Eo	δ	ω_s	Ho	a	b	c	H_{g_estNP}	H_{g_realNP}
2018	15	26.885	17.132	1.032	-21.269	92.230	10.611	0.560	0.031	1.605	4.120	4.304
2018	46	29.339	17.627	1.023	-13.289	91.353	10.734	0.560	0.039	1.464	4.573	3.743
2018	74	27.567	17.084	1.010	-2.819	90.282	10.560	0.560	0.033	1.552	4.272	3.824
2018	105	26.653	17.385	0.992	9.415	89.050	9.909	0.560	0.029	1.640	3.724	3.770
2018	135	27.918	16.757	0.977	18.792	88.051	9.107	0.560	0.036	1.503	3.799	4.002
2018	166	28.086	16.360	0.968	23.314	87.531	8.624	0.560	0.039	1.463	3.675	3.720
2018	196	27.869	15.057	0.968	21.517	87.741	8.785	0.560	0.045	1.384	3.869	3.922
2018	227	28.523	16.032	0.976	13.784	88.595	9.476	0.560	0.043	1.408	4.137	3.727
2018	258	29.400	16.204	0.991	2.217	89.778	10.229	0.560	0.048	1.357	4.548	4.614
2018	288	30.114	17.595	1.008	-9.599	90.969	10.604	0.560	0.043	1.406	4.633	4.690
2018	319	30.273	18.333	1.023	-19.148	91.989	10.598	0.560	0.040	1.447	4.550	4.719
2018	349	28.956	17.341	1.032	-23.335	92.472	10.520	0.560	0.039	1.471	4.466	4.542
											$\Sigma = 50.366$	$\Sigma = 49.576$

Fuente: Elaboración propia.

$$PS_{realNP} = \sum_{i=1}^n H_{g_realNP} = 49.576 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^2$$

$$PS_{estNP} = \sum_{i=1}^n H_{g_estNP} = 50.366 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^2$$

$$Promedio_{realNP} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{g_realNP}}{n} = \frac{49.576}{12} = 4.131 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^2$$

$$Promedio_{estNP} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{g_estNP}}{n} = \frac{50.366}{12} = 4.197 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^2$$

Anexo 4
Resultados para el año 2019 - Nasa Power.

- Datos acumulados.

Tabla 26

Año 2019 - Nasa Power.

AÑO	DÍA_JULIANO	T2M_MAX	T2M_MIN	Eo	δ	ω s	Ho	a	b	c	H_{g_estNP}	H_{g_realNP}
2019	15	29.259	17.434	1.032	-21.269	92.230	10.611	0.550	0.040	1.456	4.457	4.279
2019	46	28.492	17.591	1.023	-13.289	91.353	10.734	0.550	0.035	1.522	4.349	3.451
2019	74	28.515	18.006	1.010	-2.819	90.282	10.560	0.550	0.034	1.550	4.201	3.672
2019	105	28.667	17.809	0.992	9.415	89.050	9.909	0.550	0.035	1.525	4.007	4.061
2019	135	29.102	17.553	0.977	18.792	88.051	9.107	0.550	0.038	1.475	3.788	3.772
2019	166	28.800	16.914	0.968	23.314	87.531	8.624	0.550	0.040	1.451	3.630	4.094
2019	196	28.146	16.205	0.968	21.517	87.741	8.785	0.550	0.040	1.447	3.704	3.775
2019	227	28.853	15.631	0.976	13.784	88.595	9.476	0.550	0.048	1.355	4.141	4.330
2019	258	29.821	16.547	0.991	2.217	89.778	10.229	0.550	0.048	1.351	4.475	4.231
2019	288	29.650	17.474	1.008	-9.599	90.969	10.604	0.550	0.041	1.430	4.505	4.467
2019	319	29.245	17.618	1.023	-19.148	91.989	10.598	0.550	0.039	1.470	4.420	4.265
2019	349	29.006	17.670	1.032	-23.335	92.472	10.520	0.550	0.037	1.491	4.341	4.454
											$\Sigma = 50.017$	$\Sigma = 48.851$

Fuente: Elaboración propia.

$$PS_{realNP} = \sum_{i=1}^n H_{g_realNP} = 48.851 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

$$PS_{estNP} = \sum_{i=1}^n H_{g_estNP} = 50.017 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

$$Promedio_{realNP} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{g_realNP}}{n} = \frac{48.851}{12} = 4.071 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

$$Promedio_{estNP} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{g_estNP}}{n} = \frac{50.017}{12} = 4.168 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

Anexo 5
Resultados para el año 2020 - Nasa Power.

- Datos acumulados.

Tabla 27

Año 2020 - Nasa Power.

AÑO	DÍA_JULIANO	T2M_MAX	T2M_MIN	Eo	δ	ω s	Ho	a	b	c	H_{g_estNP}	H_{g_realNP}
2020	15	26.254	16.493	1.032	-21.269	92.230	10.611	0.550	0.031	1.604	4.049	4.031
2020	46	28.646	17.081	1.023	-13.289	91.353	10.734	0.550	0.038	1.474	4.467	3.829
2020	74	27.108	16.468	1.010	-2.819	90.282	10.560	0.550	0.034	1.541	4.228	3.985
2020	105	26.000	16.813	0.992	9.415	89.050	9.909	0.550	0.029	1.646	3.636	4.000
2020	135	27.566	16.275	0.977	18.792	88.051	9.107	0.550	0.037	1.494	3.751	4.138
2020	166	27.833	15.885	0.968	23.314	87.531	8.624	0.550	0.040	1.447	3.637	4.151
2020	196	28.035	14.676	0.968	21.517	87.741	8.785	0.550	0.049	1.345	3.851	3.758
2020	227	28.640	15.545	0.976	13.784	88.595	9.476	0.550	0.047	1.364	4.128	4.061
2020	258	29.535	15.838	0.991	2.217	89.778	10.229	0.550	0.051	1.321	4.517	4.585
2020	288	29.692	16.998	1.008	-9.599	90.969	10.604	0.550	0.044	1.393	4.573	4.707
2020	319	29.606	17.603	1.023	-19.148	91.989	10.598	0.550	0.041	1.443	4.478	5.017
2020	349	28.652	16.744	1.032	-23.335	92.472	10.520	0.550	0.040	1.450	4.431	4.267
											$\Sigma = 49.744$	$\Sigma = 50.530$

Fuente: Elaboración propia.

$$PS_{realNP} = \sum_{i=1}^n H_{g_realNP} = 50.530 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

$$PS_{estNP} = \sum_{i=1}^n H_{g_estNP} = 49.744 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

$$Promedio_{realNP} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{g_realNP}}{n} = \frac{50.530}{12} = 4.211 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

$$Promedio_{estNP} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{g_estNP}}{n} = \frac{49.744}{12} = 4.145 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

Anexo 6
Resultados para el año 2021 - Nasa Power.

- Datos acumulados.

Tabla 28

Año 2021 - Nasa Power.

AÑO	DÍA_JULIANO	T2M_MAX	T2M_MIN	Eo	δ	os	Ho	a	b	c	H_{g_estNP}	H_{g_realNP}
2021	15	27.735	17.235	1.032	-21.269	92.230	10.611	0.550	0.033	1.551	4.219	4.203
2021	46	28.705	17.847	1.023	-13.289	91.353	10.734	0.550	0.035	1.525	4.341	3.998
2021	74	28.175	17.554	1.010	-2.819	90.282	10.560	0.550	0.034	1.542	4.224	4.240
2021	105	27.415	16.933	0.992	9.415	89.050	9.909	0.550	0.033	1.552	3.936	4.056
2021	135	28.197	17.161	0.977	18.792	88.051	9.107	0.550	0.036	1.512	3.712	3.955
2021	166	29.140	17.178	0.968	23.314	87.531	8.624	0.550	0.040	1.446	3.639	3.879
2021	196	27.774	15.392	0.968	21.517	87.741	8.785	0.550	0.043	1.415	3.755	3.788
2021	227	29.231	16.213	0.976	13.784	88.595	9.476	0.550	0.047	1.370	4.120	3.913
2021	258	29.782	17.580	0.991	2.217	89.778	10.229	0.550	0.042	1.428	4.349	4.647
2021	288	29.779	17.868	1.008	-9.599	90.969	10.604	0.550	0.040	1.449	4.467	4.770
2021	319	28.613	17.958	1.023	-19.148	91.989	10.598	0.550	0.034	1.540	4.246	4.515
2021	349	28.414	17.397	1.032	-23.335	92.472	10.520	0.550	0.036	1.514	4.284	4.468
											$\Sigma = 49.292$	$\Sigma = 50.432$

Fuente: Elaboración propia.

$$PS_{realNP} = \sum_{i=1}^n H_{g_realNP} = 50.432 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

$$PS_{estNP} = \sum_{i=1}^n H_{g_estNP} = 49.292 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

$$Promedio_{realNP} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{g_realNP}}{n} = \frac{50.432}{12} = 4.203 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

$$Promedio_{estNP} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{g_estNP}}{n} = \frac{49.292}{12} = 4.108 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

Anexo 7
Resultados para el año 2019 - Senamhi.

- Datos acumulados

Tabla 29
Año 2019 - Senamhi.

AÑO	DÍA_JULIANO	T2M_MAX	T2M_MIN	Eo	δ	ω_s	Ho	a	b	c	H_{g_estSH}	H_{g_realSH}
2019	15	31.000	19.600	1.032	-21.269	92.230	10.611	0.640	0.037	1.486	5.107	4.587
2019	46	29.542	19.923	1.023	-13.289	91.353	10.734	0.640	0.030	1.614	4.723	4.352
2019	74	29.854	19.983	1.010	-2.819	90.282	10.560	0.640	0.031	1.596	4.720	4.371
2019	105	30.523	19.748	0.992	9.415	89.050	9.909	0.640	0.035	1.531	4.645	5.119
2019	135	30.140	19.778	0.977	18.792	88.051	9.107	0.640	0.033	1.561	4.184	4.637
2019	166	30.845	19.548	0.968	23.314	87.531	8.624	0.640	0.037	1.494	4.134	4.770
2019	196	30.123	18.560	0.968	21.517	87.741	8.785	0.640	0.038	1.474	4.254	4.268
2019	227	30.665	18.194	0.976	13.784	88.595	9.476	0.640	0.043	1.409	4.725	5.005
2019	258	31.729	18.723	0.991	2.217	89.778	10.229	0.640	0.046	1.370	5.174	4.897
2019	288	32.510	19.293	1.008	-9.599	90.969	10.604	0.640	0.048	1.355	5.391	5.136
2019	319	31.355	19.652	1.023	-19.148	91.989	10.598	0.640	0.039	1.464	5.158	5.086
2019	349	31.414	19.907	1.032	-23.335	92.472	10.520	0.640	0.038	1.478	5.084	4.772
											$\Sigma = 57.300$	$\Sigma = 56.999$

Fuente: Elaboración propia.

$$PS_{realSH} = \sum_{i=1}^n H_{g_realSH} = 56.999 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

$$PS_{estSH} = \sum_{i=1}^n H_{g_estSH} = 57.300 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

$$Promedio_{realSH} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{g_realSH}}{n} = \frac{56.999}{12} = 4.750 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

$$Promedio_{estSH} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{g_estSH}}{n} = \frac{57.300}{12} = 4.775 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

Anexo 8
Resultados para el año 2020 - Senamhi.

- Datos acumulados

Tabla 30

Año 2020 - Senamhi.

AÑO	DÍA_JULIANO	T2M_MAX	T2M_MIN	Eo	δ	ω_s	Ho	a	b	c	H_{g_estSH}	H_{g_realSH}
2020	15	29.640	19.200	1.032	-21.269	92.230	10.611	0.650	0.033	1.555	4.971	4.166
2020	46	29.787	19.529	1.023	-13.289	91.353	10.734	0.650	0.032	1.568	4.982	4.252
2020	74	30.400	20.022	1.010	-2.819	90.282	10.560	0.650	0.033	1.560	4.932	4.864
2020	105	30.694	19.690	0.992	9.415	89.050	9.909	0.650	0.036	1.515	4.766	4.949
2020	135	31.633	19.815	0.977	18.792	88.051	9.107	0.650	0.040	1.456	4.520	5.269
2020	166	31.532	19.490	0.968	23.314	87.531	8.624	0.650	0.041	1.440	4.311	4.945
2020	196	30.407	18.913	0.968	21.517	87.741	8.785	0.650	0.038	1.479	4.309	4.465
2020	227	30.419	19.000	0.976	13.784	88.595	9.476	0.650	0.038	1.485	4.635	4.922
2020	258	31.635	18.361	0.991	2.217	89.778	10.229	0.650	0.048	1.351	5.289	5.198
2020	288	32.230	19.167	1.008	-9.599	90.969	10.604	0.650	0.047	1.366	5.455	5.224
2020	319	33.768	19.621	1.023	-19.148	91.989	10.598	0.650	0.055	1.288	5.580	5.594
2020	349	30.973	19.759	1.032	-23.335	92.472	10.520	0.650	0.037	1.500	5.105	5.052
											$\Sigma = 58.855$	$\Sigma = 58.900$

Fuente: Elaboración propia.

$$PS_{realSH} = \sum_{i=1}^n H_{g_realSH} = 58.900 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

$$PS_{estSH} = \sum_{i=1}^n H_{g_estSH} = 58.855 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

$$Promedio_{realSH} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{g_realSH}}{n} = \frac{58.900}{12} = 4.908 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

$$Promedio_{estSH} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{g_estSH}}{n} = \frac{58.855}{12} = 4.905 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

Anexo 9
Resultados para el año 2021 - Senamhi.

- Datos acumulados

Tabla 31

Año 2021 - Senamhi.

AÑO	DÍA JULIANO	T2M_MAX	T2M_MIN	Eo	δ	ω s	Ho	a	b	c	H_{g_estSH}	H_{g_realSH}
2021	15	29.880	19.080	1.032	-21.269	92.230	10.611	0.620	0.035	1.529	4.825	4.624
2021	46	31.135	19.400	1.023	-13.289	91.353	10.734	0.620	0.039	1.462	5.067	4.704
2021	74	31.082	19.400	1.010	-2.819	90.282	10.560	0.620	0.039	1.466	4.975	5.050
2021	105	29.681	19.110	0.992	9.415	89.050	9.909	0.620	0.034	1.546	4.457	4.969
2021	135	30.583	19.193	0.977	18.792	88.051	9.107	0.620	0.037	1.487	4.245	5.101
2021	166	30.177	19.281	0.968	23.314	87.531	8.624	0.620	0.035	1.522	3.938	4.527
2021	196	29.517	18.025	0.968	21.517	87.741	8.785	0.620	0.038	1.480	4.110	4.310
2021	227	30.855	18.127	0.976	13.784	88.595	9.476	0.620	0.045	1.391	4.610	4.480
2021	258	32.811	19.028	0.991	2.217	89.778	10.229	0.620	0.052	1.315	5.101	5.282
2021	288	32.396	19.260	1.008	-9.599	90.969	10.604	0.620	0.047	1.361	5.213	4.491
2021	319	31.145	19.471	1.023	-19.148	91.989	10.598	0.620	0.039	1.466	4.991	4.005
2021	349	32.110	19.457	1.032	-23.335	92.472	10.520	0.620	0.044	1.396	5.108	5.012
											$\Sigma = 56.640$	$\Sigma = 56.554$

Fuente: Elaboración propia.

$$PS_{realSH} = \sum_{i=1}^n H_{g_realSH} = 56.554 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

$$PS_{estSH} = \sum_{i=1}^n H_{g_estSH} = 56.640 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

$$Promedio_{realSH} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{g_realSH}}{n} = \frac{56.554}{12} = 4.713 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

$$Promedio_{estSH} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{g_estSH}}{n} = \frac{56.640}{12} = 4.720 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$$

Anexo 10

Análisis estadístico 2016 - Nasa Power.

MAD, MSD, MAPE y RMSE.

Se tendrá en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |X_t - \hat{X}_t|$$

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_t - \hat{X}_t}{X_t} \right|$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2}{n}}$$

Primero, se procedió a realizar las operaciones matemáticas de acuerdo al orden presentado en las ecuaciones:

Tabla 32

Resultados acumulados para MAD, MSD, MAPE y RMSE (2016) - Nasa Power.

2016 (NASAPOWER)				
<i>H_{g_estNP}</i>	<i>H_{g_realNP}</i>	$ x_t - \hat{x}_t $	$(x_t - \hat{x}_t)^2$	$ (x_t - \hat{x}_t)/x_t $
4.546	4.993	0.447	0.200	0.090
4.474	3.830	0.644	0.415	0.168
4.224	3.710	0.515	0.265	0.139
4.097	3.747	0.350	0.122	0.093
3.817	4.267	0.450	0.203	0.105
3.629	3.821	0.192	0.037	0.050
3.764	3.758	0.006	0.000	0.001
4.099	3.960	0.139	0.019	0.035
4.472	4.707	0.235	0.055	0.050
4.545	4.247	0.298	0.089	0.070
4.710	5.607	0.897	0.805	0.160
4.570	5.150	0.580	0.337	0.113
$\Sigma = 50.948$	$\Sigma = 51.798$	4.754	2.547	1.075

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta que “n=12”, se procede a remplazar:

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |X_t - \hat{X}_t| = \frac{1}{12} * 4.754 = 0.396$$

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2 = \frac{1}{12} * 2.547 = 0.212$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_t - \hat{X}_t}{X_t} \right| = \frac{1}{12} * 1.075 = 0.0895962181 = 8.960\%$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2}{n}} = \sqrt{\frac{2.547}{12}} = 0.461$$

-Coeficiente de correlación (CC, r).

Teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}}$$

Se procede a calcular los promedios:

$$\bar{\hat{X}}_t = 4.246$$

$$\bar{X}_t = 4.317$$

Tabla 33

Tabulación para "CC o r" (2016) - Nasa Power.

H_{g_estNP}	Promedio (Hg)	H_{g_realNP}	Promedio (Hg_REAL)	$(\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)$	$(\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2$	$(X_t - \bar{X}_t)^2$
4.546	4.246	4.993	4.317	0.203	0.090	0.458
4.474	4.246	3.830	4.317	-0.111	0.052	0.237
4.224	4.246	3.710	4.317	0.013	0.000	0.368
4.097	4.246	3.747	4.317	0.085	0.022	0.325
3.817	4.246	4.267	4.317	0.021	0.184	0.002
3.629	4.246	3.821	4.317	0.306	0.380	0.246
3.764	4.246	3.758	4.317	0.269	0.232	0.312
4.099	4.246	3.960	4.317	0.052	0.021	0.127
4.472	4.246	4.707	4.317	0.088	0.051	0.153
4.545	4.246	4.247	4.317	-0.021	0.090	0.005
4.710	4.246	5.607	4.317	0.600	0.216	1.666
4.570	4.246	5.150	4.317	0.270	0.105	0.695
$\Sigma =$				1.776	1.445	4.593

Fuente: Elaboración propia.

$$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}} = \frac{1.776}{\{1.445 * 4.593\}^{\frac{1}{2}}}$$

$$CC = 0.689$$

Ahora se muestran los resultados aplicando los comandos de Excel, como se muestra en la imagen.

Figura 19

Coefficiente de correlación "CC o r" (2016) - Nasa Power.

$$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}}$$

CC= 0.689

	<i>Hg</i>	<i>Hg_REAL</i>
Hg	1	
Hg_REAL	0.689	1

Fuente: Elaboración propia.

ANOVA.

A continuación, se presenta los datos obtenidos a través de una hoja de cálculo, sin embargo, manualmente se obtienen similares valores.

Tabla 34

Resultados ANOVA "Excel" para el año 2016 - Nasa Power.

Análisis de varianza de un factor - 2016

RESUMEN				
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Hg	12	50.948	4.246	0.131
Hg_REAL	12	51.798	4.317	0.418

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.030	1	0.030	0.110	74.362%	4.301
Dentro de los grupos	6.038	22	0.274			
Total	6.068	23				

Fuente: Elaboración propia.

Si, la es $F_{crítica}$ es mayor $F_{calculada}$:

$$F_{crítica} \geq F_{calculada}$$

$$4.301 \geq 0.110$$

“No existen diferencias significativas entre los medios aritméticos de los grupos de la radiación solar real y estimada”.

Anexo 11

Análisis estadístico 2017 - Nasa Power.

MAD, MSD, MAPE y RMSE.

Se tendrá en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |X_t - \hat{X}_t|$$

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_t - \hat{X}_t}{X_t} \right|$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2}{n}}$$

Primero, se procedió a realizar las operaciones matemáticas de acuerdo al orden presentado en las ecuaciones:

Tabla 35

Resultados acumulados para MAD, MSD, MAPE y RMSE (2017) - Nasa Power.

2017 (NASAPOWER)				
<i>H_{g_estNP}</i>	<i>H_{g_realNP}</i>	$ X_t - \hat{X}_t $	$(X_t - \hat{X}_t)^2$	$ (X_t - \hat{X}_t)/X_t $
4.179	3.772	0.407	0.166	0.108
4.416	4.065	0.352	0.124	0.086
4.205	4.139	0.067	0.004	0.016
3.903	3.940	0.037	0.001	0.009
3.717	3.983	0.266	0.071	0.067
3.587	3.810	0.223	0.050	0.059
3.847	4.095	0.248	0.062	0.061
4.222	4.275	0.052	0.003	0.012
4.513	4.224	0.289	0.083	0.068
4.689	4.592	0.096	0.009	0.021
4.590	4.685	0.095	0.009	0.020
4.522	4.699	0.177	0.031	0.038
$\Sigma = 50.389$	$\Sigma = 50.278$	2.309	0.613	0.565

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta que “n=12”, se procede a remplazar:

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |X_t - \hat{X}_t| = \frac{1}{12} * 2.309 = 0.192$$

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2 = \frac{1}{12} * 0.613 = 0.051$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_t - \hat{X}_t}{X_t} \right| = \frac{1}{12} * 0.565 = 0.047119 = 4.712\%$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2}{n}} = \sqrt{\frac{0.613}{12}} = 0.226$$

Coefficiente de correlación (CC, r).

Teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}}$$

Se procede a calcular los promedios:

$$\bar{\hat{X}}_t = 4.199$$

$$\bar{X}_t = 4.190$$

Tabla 36

Tabulación para "CC o r" (2017) - Nasa Power.

H_{g_estNP}	Promedio (Hg)	H_{g_realNP}	Promedio (Hg_REAL)	$(\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)$	$(\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2$	$(X_t - \bar{X}_t)^2$
4.179	4.199	3.772	4.190	0.008	0.000	0.175
4.416	4.199	4.065	4.190	-0.027	0.047	0.016
4.205	4.199	4.139	4.190	0.000	0.000	0.003
3.903	4.199	3.940	4.190	0.074	0.088	0.063
3.717	4.199	3.983	4.190	0.100	0.233	0.043
3.587	4.199	3.810	4.190	0.233	0.375	0.144
3.847	4.199	4.095	4.190	0.033	0.124	0.009
4.222	4.199	4.275	4.190	0.002	0.001	0.007
4.513	4.199	4.224	4.190	0.011	0.098	0.001
4.689	4.199	4.592	4.190	0.197	0.240	0.162
4.590	4.199	4.685	4.190	0.194	0.153	0.245
4.522	4.199	4.699	4.190	0.164	0.104	0.259
$\Sigma =$				0.988	1.462	1.126

Fuente: Elaboración propia.

Se procede a remplazar.

$$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}} = \frac{0.988}{\{1.462 * 1.126\}^{\frac{1}{2}}}$$

$$CC = 0.770$$

Ahora se muestran los resultados aplicando los comandos de Excel, como se muestra en la imagen.

Figura 20

Coefficiente de correlación "CC o r" (2017) - Nasa Power.

$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}}$	CC=	0.770									
<table style="border-collapse: collapse; margin-left: auto;"> <tr> <td style="border: none;"></td> <td style="border: none; text-align: center;"><i>Hg</i></td> <td style="border: none; text-align: center;"><i>Hg_REAL</i></td> </tr> <tr> <td style="border: none; text-align: center;">Hg</td> <td style="border: none; text-align: center;">1</td> <td style="border: none;"></td> </tr> <tr> <td style="border: none; text-align: center;">Hg_REAL</td> <td style="border: none; text-align: center;">0.770</td> <td style="border: none; text-align: center;">1</td> </tr> </table>				<i>Hg</i>	<i>Hg_REAL</i>	Hg	1		Hg_REAL	0.770	1
	<i>Hg</i>	<i>Hg_REAL</i>									
Hg	1										
Hg_REAL	0.770	1									

Fuente: Elaboración propia.

ANOVA.

Ahora, se presenta los datos obtenidos a través de una hoja de cálculo, cabe resaltar, que operando manualmente se obtienen similares valores.

Tabla 37

Resultados ANOVA "Excel" para el año 2017 - Nasa Power.

Análisis de varianza de un factor - 2017

RESUMEN				
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Hg	12	50.389	4.199	0.133
Hg_REAL	12	50.278	4.190	0.102

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.0005088	1	0.0005088	0.0043245	94.816%	4.301
Dentro de los grupos	2.5882945	22	0.1176497			
Total	2.588803	23				

Fuente: Elaboración propia.

Si, la $F_{crítica}$ es mayor a la $F_{calculada}$:

$$F_{crítica} \geq F_{calculada}$$

$$4.301 \geq 0.0043245$$

Se concluye que:

“No existen diferencias significativas entre los medios aritméticos de los grupos de la radiación solar real y estimada”.

Anexo 12

Análisis estadístico 2018 - Nasa Power.

MAD, MSD, MAPE y RMSE.

Se tendrá en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |X_t - \hat{X}_t|$$

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_t - \hat{X}_t}{X_t} \right|$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2}{n}}$$

Primero, se procedió a realizar las operaciones matemáticas de acuerdo al orden presentado en las ecuaciones:

Tabla 38

Resultados acumulados para MAD, MSD, MAPE y RMSE (2018) - Nasa Power.

2018 (NASAPOWER)					
H_{g_estNP}	H_{g_realNP}	$ X_t - \hat{X}_t $	$(X_t - \hat{X}_t)^2$	$ (X_t - \hat{X}_t)/X_t $	
4.120	4.304	0.184	0.034	0.043	
4.573	3.743	0.829	0.688	0.222	
4.272	3.824	0.448	0.200	0.117	
3.724	3.770	0.046	0.002	0.012	
3.799	4.002	0.203	0.041	0.051	
3.675	3.720	0.044	0.002	0.012	
3.869	3.922	0.053	0.003	0.014	
4.137	3.727	0.410	0.168	0.110	
4.548	4.614	0.065	0.004	0.014	
4.633	4.690	0.056	0.003	0.012	
4.550	4.719	0.169	0.029	0.036	
4.466	4.542	0.076	0.006	0.017	
$\Sigma = 50.366$	$\Sigma = 49.576$	2.584	1.180	0.658	

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta que “n=12”, se procede a remplazar:

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |X_t - \hat{X}_t| = \frac{1}{12} * 2.584 = 0.215$$

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2 = \frac{1}{12} * 1.180 = 0.098$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_t - \hat{X}_t}{X_t} \right| = \frac{1}{12} * 0.658 = 0.054864 = 5.486\%$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2}{n}} = \sqrt{\frac{1.180}{12}} = 0.314$$

Coefficiente de correlación (CC, r).

Teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}}$$

Se procede a calcular los promedios:

$$\bar{\hat{X}}_t = 4.197$$

$$\bar{X}_t = 4.131$$

Tabla 39

Tabulación para "CC o r" (2018) - Nasa Power.

H_{g_estNP}	Promedio (Hg)	H_{g_realNP}	Promedio (Hg_REAL)	$(\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)$	$(\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2$	$(X_t - \bar{X}_t)^2$
4.120	4.197	4.304	4.131	-0.013	0.006	0.030
4.573	4.197	3.743	4.131	-0.146	0.141	0.151
4.272	4.197	3.824	4.131	-0.023	0.006	0.094
3.724	4.197	3.770	4.131	0.171	0.224	0.131
3.799	4.197	4.002	4.131	0.052	0.158	0.017
3.675	4.197	3.720	4.131	0.215	0.272	0.169
3.869	4.197	3.922	4.131	0.069	0.108	0.044
4.137	4.197	3.727	4.131	0.024	0.004	0.164
4.548	4.197	4.614	4.131	0.170	0.123	0.233
4.633	4.197	4.690	4.131	0.243	0.190	0.312
4.550	4.197	4.719	4.131	0.207	0.124	0.345
4.466	4.197	4.542	4.131	0.111	0.072	0.169
$\Sigma =$				1.079	1.428	1.858

Fuente: Elaboración propia.

Se procede a remplazar.

$$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}} = \frac{1.079}{\{1.428 * 1.858\}^{\frac{1}{2}}}$$

$$CC = 0.663$$

Ahora se muestran los resultados aplicando los comandos de Excel, como se muestra en la imagen.

Figura 21

Coefficiente de correlación "CC o r" (2018) - Nasa Power.

$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}})(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}})^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}}$	CC= 0.663									
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th><i>Hg</i></th> <th><i>Hg_REAL</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hg</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hg_REAL</td> <td style="text-align: center;">0.663</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> </tbody> </table>			<i>Hg</i>	<i>Hg_REAL</i>	Hg	1		Hg_REAL	0.663	1
	<i>Hg</i>	<i>Hg_REAL</i>								
Hg	1									
Hg_REAL	0.663	1								

Fuente: Elaboración propia.

ANOVA.

Ahora, se presenta los datos obtenidos a través de una hoja de cálculo, cabe resaltar, que operando manualmente se obtienen similares valores.

Tabla 40

Resultados ANOVA "Excel" para el año 2018 - Nasa Power.

Análisis de varianza de un factor - 2018

RESUMEN				
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Hg	12	50.366	4.197	0.130
Hg_REAL	12	49.576	4.131	0.169

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.0261	1	0.0261	0.174	68.025%	4.301
Dentro de los grupos	3.2864	22	0.1494			
Total	3.3124	23				

Fuente: Elaboración propia.

Si, la $F_{crítica}$ es mayor a la $F_{calculada}$:

$$F_{crítica} \geq F_{calculada}$$

$$4.301 \geq 0.174$$

Se concluye que:

“No existen diferencias significativas entre los medios aritméticos de los grupos de la radiación solar real y estimada”.

Anexo 13

Análisis estadístico 2019 - Nasa Power.

MAD, MSD, MAPE y RMSE.

Se tendrá en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |X_t - \hat{X}_t|$$

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_t - \hat{X}_t}{X_t} \right|$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2}{n}}$$

Primero, se procedió a realizar las operaciones matemáticas de acuerdo al orden presentado en las ecuaciones:

Tabla 41

Resultados acumulados para MAD, MSD, MAPE y RMSE (2019) - Nasa Power.

2019 (NASAPOWEP)				
<i>H_{g_estNP}</i>	<i>H_{g_realNP}</i>	$ X_t - \hat{X}_t $	$(X_t - \hat{X}_t)^2$	$ (X_t - \hat{X}_t)/X_t $
4.457	4.279	0.177	0.031	0.041
4.349	3.451	0.898	0.807	0.260
4.201	3.672	0.529	0.279	0.144
4.007	4.061	0.054	0.003	0.013
3.788	3.772	0.016	0.000	0.004
3.630	4.094	0.465	0.216	0.113
3.704	3.775	0.071	0.005	0.019
4.141	4.330	0.189	0.036	0.044
4.475	4.231	0.245	0.060	0.058
4.505	4.467	0.038	0.001	0.009
4.420	4.265	0.155	0.024	0.036
4.341	4.454	0.113	0.013	0.025
$\Sigma = 50.017$	$\Sigma = 48.851$	2.950	1.476	0.767

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta que “n=12”, se procede a remplazar:

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |X_t - \hat{X}_t| = \frac{1}{12} * 2.950 = 0.246$$

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2 = \frac{1}{12} * 1.476 = 0.123$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_t - \hat{X}_t}{X_t} \right| = \frac{1}{12} * 0.767 = 0.0639507 = 6.395\%$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2}{n}} = \sqrt{\frac{1.476}{12}} = 0.351$$

Coefficiente de correlación (CC, r).

Teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}}$$

Se procede a calcular los promedios:

$$\bar{\hat{X}}_t = 4.168$$

$$\bar{X}_t = 4.071$$

Tabla 42

Tabulación para "CC o r" (2019) - Nasa Power.

$H_{g.estNP}$	Promedio (Hg)	$H_{g.realNP}$	Promedio (Hg_REAL)	$(\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)$	$(\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2$	$(X_t - \bar{X}_t)^2$
4.457	4.168	4.279	4.071	0.060	0.083	0.043
4.349	4.168	3.451	4.071	-0.112	0.033	0.384
4.201	4.168	3.672	4.071	-0.013	0.001	0.159
4.007	4.168	4.061	4.071	0.002	0.026	0.000
3.788	4.168	3.772	4.071	0.114	0.144	0.089
3.630	4.168	4.094	4.071	-0.013	0.290	0.001
3.704	4.168	3.775	4.071	0.137	0.215	0.087
4.141	4.168	4.330	4.071	-0.007	0.001	0.067
4.475	4.168	4.231	4.071	0.049	0.094	0.026
4.505	4.168	4.467	4.071	0.133	0.113	0.157
4.420	4.168	4.265	4.071	0.049	0.064	0.038
4.341	4.168	4.454	4.071	0.066	0.030	0.147
$\Sigma =$				0.465	1.095	1.198

Fuente: Elaboración propia.

Se procede a remplazar.

$$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}} = \frac{0.465}{\{1.095 * 1.198\}^{\frac{1}{2}}}$$

$$CC = 0.406$$

Ahora se muestran los resultados aplicando los comandos de Excel, como se muestra en la imagen.

Figura 22

Coeficiente de correlación "CC o r" (2019) - Nasa Power.

$$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}}$$

CC= 0.406

	<i>Hg</i>	<i>Hg_REAL</i>
Hg	1	
Hg_REAL	0.406	1

Fuente: Elaboración propia.

ANOVA.

Ahora, se presenta los datos obtenidos a través de una hoja de cálculo, cabe resaltar, que operando manualmente se obtienen similares valores.

Tabla 43

Resultados ANOVA "Excel" para el año 2019 - Nasa Power.

Análisis de varianza de un factor - 2019

RESUMEN				
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Hg	12	50.0173	4.1681	0.0995
Hg_REAL	12	48.8508	4.0709	0.1089

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.0567	1	0.0567	0.5441	46.852%	4.301
Dentro de los grupos	2.2926	22	0.1042			
Total	2.3493	23				

Fuente: Elaboración propia.

Si, la $F_{crítica}$ es mayor a la $F_{calculada}$:

$$F_{crítica} \geq F_{calculada}$$

$$4.301 \geq 0.5441$$

Se concluye que:

“No existen diferencias significativas entre los medios aritméticos de los grupos de la radiación solar real y estimada”.

Anexo 14

Análisis estadístico 2020 - Nasa Power.

MAD, MSD, MAPE y RMSE.

Se tendrá en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |X_t - \hat{X}_t|$$

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_t - \hat{X}_t}{X_t} \right|$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2}{n}}$$

Primero, se procedió a realizar las operaciones matemáticas de acuerdo al orden presentado en las ecuaciones:

Tabla 44

Resultados acumulados para MAD, MSD, MAPE y RMSE (2020) - Nasa Power.

2020 (NASAPOWER)				
H_{g_estNP}	H_{g_realNP}	$ X_t - \hat{X}_t $	$(X_t - \hat{X}_t)^2$	$ (X_t - \hat{X}_t)/X_t $
4.049	4.031	0.018	0.000	0.004
4.467	3.829	0.639	0.408	0.167
4.228	3.985	0.242	0.059	0.061
3.636	4.000	0.365	0.133	0.091
3.751	4.138	0.387	0.150	0.094
3.637	4.151	0.514	0.264	0.124
3.851	3.758	0.093	0.009	0.025
4.128	4.061	0.067	0.004	0.017
4.517	4.585	0.068	0.005	0.015
4.573	4.707	0.135	0.018	0.029
4.478	5.017	0.539	0.291	0.107
4.431	4.267	0.164	0.027	0.038
$\Sigma = 49.744$	$\Sigma = 50.530$	3.231	1.368	0.771

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta que “n=12”, se procede a remplazar:

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |X_t - \hat{X}_t| = \frac{1}{12} * 3.231 = 0.269$$

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2 = \frac{1}{12} * 1.368 = 0.114$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_t - \hat{X}_t}{X_t} \right| = \frac{1}{12} * 0.771 = 0.0642818 = 6.428\%$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2}{n}} = \sqrt{\frac{1.368}{12}} = 0.338$$

Coefficiente de correlación (CC, r).

Teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}}$$

Se procede a calcular los promedios:

$$\bar{\hat{X}}_t = 4.145$$

$$\bar{X}_t = 4.211$$

Tabla 45

Tabulación para "CC o r" (2020) - Nasa Power.

H_{g_estNP}	Promedio (Hg)	H_{g_realNP}	Promedio (Hg REAL)	$(\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)$	$(\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2$	$(X_t - \bar{X}_t)^2$
4.049	4.145	4.031	4.211	0.017	0.009	0.032
4.467	4.145	3.829	4.211	-0.123	0.104	0.146
4.228	4.145	3.985	4.211	-0.019	0.007	0.051
3.636	4.145	4.000	4.211	0.107	0.260	0.044
3.751	4.145	4.138	4.211	0.029	0.156	0.005
3.637	4.145	4.151	4.211	0.030	0.258	0.004
3.851	4.145	3.758	4.211	0.133	0.087	0.205
4.128	4.145	4.061	4.211	0.003	0.000	0.022
4.517	4.145	4.585	4.211	0.139	0.138	0.140
4.573	4.145	4.707	4.211	0.212	0.182	0.247
4.478	4.145	5.017	4.211	0.268	0.110	0.650
4.431	4.145	4.267	4.211	0.016	0.082	0.003
$\Sigma =$				0.813	1.393	1.550

Fuente: Elaboración propia.

Se procede a remplazar.

$$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}} = \frac{0.813}{\{1.393 * 1.550\}^{\frac{1}{2}}}$$

$$CC = 0.554$$

Ahora se muestran los resultados aplicando los comandos de Excel, como se muestra en la imagen:

Figura 23

Coefficiente de correlación "CC o r" (2020) - Nasa Power.

$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}}$	$\frac{1}{1}$	CC= 0.554									
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th><i>Hg</i></th> <th><i>Hg_REAL</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hg</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hg_REAL</td> <td style="text-align: center;">0.554</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> </tbody> </table>				<i>Hg</i>	<i>Hg_REAL</i>	Hg	1		Hg_REAL	0.554	1
	<i>Hg</i>	<i>Hg_REAL</i>									
Hg	1										
Hg_REAL	0.554	1									

Fuente: Elaboración propia.

ANOVA.

Ahora, se presenta los datos obtenidos a través de una hoja de cálculo, cabe resaltar, que operando manualmente se obtienen similares valores.

Tabla 46

Resultados ANOVA "Excel" para el año 2020 - Nasa Power.

Análisis de varianza de un factor - 2020

RESUMEN				
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Hg	12	49.7443	4.1454	0.1267
Hg_REAL	12	50.5299	4.2108	0.1409

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.0257	1	0.0257	0.1922	66.533%	4.301
Dentro de los grupos	2.9431	22	0.1338			
Total	2.9688	23				

Fuente: Elaboración propia.

Si, la $F_{crítica}$ es mayor a la $F_{calculada}$:

$$F_{crítica} \geq F_{calculada}$$

$$4.301 \geq 0.1922$$

Se concluye que:

“No existen diferencias significativas entre los medios aritméticos de los grupos de la radiación solar real y estimada”.

Anexo 15

Análisis estadístico 2021 - Nasa Power.

MAD, MSD, MAPE y RMSE.

Se tendrá en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |X_t - \hat{X}_t|$$

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_t - \hat{X}_t}{X_t} \right|$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2}{n}}$$

Primero, se procedió a realizar las operaciones matemáticas de acuerdo al orden presentado en las ecuaciones:

Tabla 47

Resultados acumulados para MAD, MSD, MAPE y RMSE (2021) - Nasa Power.

2021 (NASAPOWER)				
<i>H_{g_estNP}</i>	<i>H_{g_realNP}</i>	$ X_t - \hat{X}_t $	$(X_t - \hat{X}_t)^2$	$ (X_t - \hat{X}_t)/X_t $
4.219	4.203	0.016	0.000	0.004
4.341	3.998	0.343	0.118	0.086
4.224	4.240	0.016	0.000	0.004
3.936	4.056	0.119	0.014	0.029
3.712	3.955	0.243	0.059	0.061
3.639	3.879	0.240	0.058	0.062
3.755	3.788	0.033	0.001	0.009
4.120	3.913	0.208	0.043	0.053
4.349	4.647	0.298	0.089	0.064
4.467	4.770	0.303	0.092	0.064
4.246	4.515	0.270	0.073	0.060
4.284	4.468	0.184	0.034	0.041
$\Sigma = 49.292$	$\Sigma = 50.432$	2.274	0.581	0.537

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta que “n=12”, se procede a remplazar:

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |X_t - \hat{X}_t| = \frac{1}{12} * 2.274 = 0.189$$

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2 = \frac{1}{12} * 0.581 = 0.048$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_t - \hat{X}_t}{X_t} \right| = \frac{1}{12} * 0.537 = 0.04472511 = 4.473\%$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2}{n}} = \sqrt{\frac{0.581}{12}} = 0.220$$

Coefficiente de correlación (CC, r).

Teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}}$$

Se procede a calcular los promedios:

$$\bar{\hat{X}}_t = 4.108$$

$$\bar{X}_t = 4.203$$

Tabla 48

Tabulación para "CC o r" (2021) - Nasa Power.

H_{g_estNP}	Promedio (Hg)	H_{g_realNP}	Promedio (Hg_REAL)	$(\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)$	$(\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2$	$(X_t - \bar{X}_t)^2$
4.219	4.108	4.203	4.203	0.000	0.012	0.000
4.341	4.108	3.998	4.203	-0.048	0.055	0.042
4.224	4.108	4.240	4.203	0.004	0.014	0.001
3.936	4.108	4.056	4.203	0.025	0.029	0.022
3.712	4.108	3.955	4.203	0.098	0.157	0.061
3.639	4.108	3.879	4.203	0.152	0.220	0.105
3.755	4.108	3.788	4.203	0.146	0.124	0.172
4.120	4.108	3.913	4.203	-0.004	0.000	0.084
4.349	4.108	4.647	4.203	0.107	0.058	0.198
4.467	4.108	4.770	4.203	0.204	0.129	0.322
4.246	4.108	4.515	4.203	0.043	0.019	0.098
4.284	4.108	4.468	4.203	0.047	0.031	0.071
$\Sigma =$				0.775	0.848	1.175

Fuente: Elaboración propia.

Se procede a remplazar.

$$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}} = \frac{0.775}{\{0.848 * 1.175\}^{\frac{1}{2}}}$$

$$CC = 0.777$$

Ahora se muestran los resultados aplicando los comandos de Excel, como se muestra en la imagen:

Figura 24

Coeficiente de correlación "CC o r" (2021) - Nasa Power.

$$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}}$$

CC= 0.777

	<i>Hg</i>	<i>Hg_REAL</i>
Hg	1	
Hg_REAL	0.777	1

Fuente: Elaboración propia.

ANOVA.

Ahora, se presenta los datos obtenidos a través de una hoja de cálculo, cabe resaltar, que operando manualmente se obtienen similares valores.

Tabla 49

Resultados ANOVA "Excel" para el año 2021 - Nasa Power.

Análisis de varianza de un factor - 2021

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Hg	12	49.2921	4.1077	0.0771
Hg_REAL	12	50.4318	4.2026	0.1068

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.0541	1	0.0541	0.5886	45.113%	4.301
Dentro de los grupos	2.0230	22	0.0920			
Total	2.0771	23				

Fuente: Elaboración propia.

Si, la $F_{crítica}$ es mayor a la $F_{calculada}$:

$$F_{crítica} \geq F_{calculada}$$

$$4.301 \geq 0.5886$$

Se concluye que:

“No existen diferencias significativas entre los medios aritméticos de los grupos de la radiación solar real y estimada”.

Anexo 16

Análisis estadístico 2019 - Senamhi.

MAD, MSD, MAPE y RMSE.

Se tendrá en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |X_t - \hat{X}_t|$$

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_t - \hat{X}_t}{X_t} \right|$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2}{n}}$$

Primero, se procedió a realizar las operaciones matemáticas de acuerdo al orden presentado en las ecuaciones:

Tabla 50

Resultados acumulados para MAD, MSD, MAPE y RMSE (2019) - Senamhi.

2019 (SENAMHI)				
H_{g_estSH}	H_{g_realSH}	$ X_t - \hat{X}_t $	$(X_t - \hat{X}_t)^2$	$ (X_t - \hat{X}_t)/X_t $
5.107	4.587	0.520	0.271	0.113
4.723	4.352	0.371	0.138	0.085
4.720	4.371	0.349	0.122	0.080
4.645	5.119	0.474	0.224	0.093
4.184	4.637	0.453	0.205	0.098
4.134	4.770	0.636	0.405	0.133
4.254	4.268	0.014	0.000	0.003
4.725	5.005	0.280	0.078	0.056
5.174	4.897	0.277	0.077	0.057
5.391	5.136	0.255	0.065	0.050
5.158	5.086	0.072	0.005	0.014
5.084	4.772	0.312	0.098	0.065
$\Sigma = 57.300$	$\Sigma = 56.999$	4.013	1.687	0.847

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta que “n=12”, se procede a remplazar:

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |X_t - \hat{X}_t| = \frac{1}{12} * 4.013 = 0.334$$

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2 = \frac{1}{12} * 1.687 = 0.141$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_t - \hat{X}_t}{X_t} \right| = \frac{1}{12} * 0.847 = 0.0705949 = 7.059\%$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2}{n}} = \sqrt{\frac{1.687}{12}} = 0.375$$

Coefficiente de correlación (CC, r).

Teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}}$$

Se procede a calcular los promedios:

$$\bar{\hat{X}}_t = 4.775$$

$$\bar{X}_t = 4.750$$

Tabla 51

Tabulación para "CC o r" (2019) - Senamhi.

H_{g_estSH}	Promedio (Hg)	H_{g_realSH}	Promedio (Hg_REAL)	$(\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)$	$(\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2$	$(X_t - \bar{X}_t)^2$
5.107	4.775	4.587	4.750	-0.054	0.110	0.027
4.723	4.775	4.352	4.750	0.021	0.003	0.158
4.720	4.775	4.371	4.750	0.021	0.003	0.144
4.645	4.775	5.119	4.750	-0.048	0.017	0.136
4.184	4.775	4.637	4.750	0.067	0.349	0.013
4.134	4.775	4.770	4.750	-0.013	0.411	0.000
4.254	4.775	4.268	4.750	0.251	0.271	0.232
4.725	4.775	5.005	4.750	-0.013	0.002	0.065
5.174	4.775	4.897	4.750	0.059	0.160	0.022
5.391	4.775	5.136	4.750	0.238	0.380	0.149
5.158	4.775	5.086	4.750	0.129	0.147	0.113
5.084	4.775	4.772	4.750	0.007	0.095	0.000
$\Sigma =$				0.664	1.948	1.060

Fuente: Elaboración propia.

Se procede a remplazar.

$$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}} = \frac{0.664}{\{1.948 * 1.060\}^{\frac{1}{2}}}$$

$$CC = 0.462$$

Ahora se muestran los resultados aplicando los comandos de Excel, como se muestra en la imagen:

Figura 25

Coefficiente de correlación "CC o r" (2019) - Senamhi.

$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}}$	CC= 0.462									
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: 0;"> <thead> <tr> <th></th> <th><i>Hg</i></th> <th><i>Hg_REAL</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hg</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hg_REAL</td> <td style="text-align: center;">0.462</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> </tbody> </table>			<i>Hg</i>	<i>Hg_REAL</i>	Hg	1		Hg_REAL	0.462	1
	<i>Hg</i>	<i>Hg_REAL</i>								
Hg	1									
Hg_REAL	0.462	1								

Fuente: Elaboración propia.

ANOVA.

Ahora, se presenta los datos obtenidos a través de una hoja de cálculo, cabe resaltar, que operando manualmente se obtienen similares valores.

Tabla 52

Resultados ANOVA "Excel" para el año 2019 - Senamhi.

Análisis de varianza de un factor - 2019

RESUMEN				
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Hg	12	57.300	4.775	0.177
Hg_REAL	12	56.999	4.750	0.096

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.004	1	0.004	0.0277	86.937%	4.301
Dentro de los grupos	3.008	22	0.137			
Total	3.011	23				

Fuente: Elaboración propia.

Si, la es $F_{crítica}$ mayor a la $F_{calculada}$:

$$F_{crítica} \geq F_{calculada}$$

$$4.301 \geq 0.0277$$

“No existen diferencias significativas entre los medios aritméticos de los grupos de la radiación solar real y estimada”.

Anexo 17

Análisis estadístico 2020 - Senamhi.

MAD, MSD, MAPE y RMSE.

Se tendrá en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |X_t - \hat{X}_t|$$

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_t - \hat{X}_t}{X_t} \right|$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2}{n}}$$

Primero, se procedió a realizar las operaciones matemáticas de acuerdo al orden presentado en las ecuaciones:

Tabla 53

Resultados acumulados para MAD, MSD, MAPE y RMSE (2020) - Senamhi.

2020 (SENAMHI)				
<i>H_g estSH</i>	<i>H_g realSH</i>	$ X_t - \hat{X}_t $	$(X_t - \hat{X}_t)^2$	$ (X_t - \hat{X}_t)/X_t $
4.971	4.166	0.805	0.648	0.193
4.982	4.252	0.730	0.533	0.172
4.932	4.864	0.067	0.005	0.014
4.766	4.949	0.183	0.034	0.037
4.520	5.269	0.750	0.562	0.142
4.311	4.945	0.634	0.401	0.128
4.309	4.465	0.156	0.024	0.035
4.635	4.922	0.287	0.082	0.058
5.289	5.198	0.091	0.008	0.017
5.455	5.224	0.231	0.053	0.044
5.580	5.594	0.013	0.000	0.002
5.105	5.052	0.053	0.003	0.011
$\Sigma = 58.855$	$\Sigma = 58.900$	4.000	2.353	0.854

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta que “n=12”, se procede a remplazar:

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |X_t - \hat{X}_t| = \frac{1}{12} * 4.000 = 0.333$$

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2 = \frac{1}{12} * 2.353 = 0.196$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_t - \hat{X}_t}{X_t} \right| = \frac{1}{12} * 0.854 = 0.0711613 = 7.116\%$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2}{n}} = \sqrt{\frac{2.353}{12}} = 0.443$$

Coefficiente de correlación (CC, r).

Teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}}$$

Se procede a calcular los promedios:

$$\bar{\hat{X}}_t = 4.905$$

$$\bar{X}_t = 4.908$$

Tabla 54

Tabulación para "CC o r" (2020) - Senamhi.

H_{g_estSH}	Promedio (Hg)	H_{g_realSH}	Promedio (Hg_REAL)	$(\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)$	$(\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2$	$(X_t - \bar{X}_t)^2$
4.971	4.905	4.166	4.908	-0.049	0.004	0.551
4.982	4.905	4.252	4.908	-0.050	0.006	0.431
4.932	4.905	4.864	4.908	-0.001	0.001	0.002
4.766	4.905	4.949	4.908	-0.006	0.019	0.002
4.520	4.905	5.269	4.908	-0.139	0.148	0.130
4.311	4.905	4.945	4.908	-0.022	0.352	0.001
4.309	4.905	4.465	4.908	0.264	0.354	0.197
4.635	4.905	4.922	4.908	-0.004	0.073	0.000
5.289	4.905	5.198	4.908	0.111	0.148	0.084
5.455	4.905	5.224	4.908	0.174	0.303	0.100
5.580	4.905	5.594	4.908	0.463	0.456	0.470
5.105	4.905	5.052	4.908	0.029	0.040	0.021
$\Sigma =$				0.770	1.905	1.988

Fuente: Elaboración propia.

Se procede a remplazar.

$$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}} = \frac{0.770}{\{1.905 * 1.988\}^{\frac{1}{2}}}$$

$$CC = 0.396$$

Ahora se muestran los resultados aplicando los comandos de Excel, como se muestra en la imagen:

Figura 26

Coefficiente de correlación "CC o r" (2020) - Senamhi.

$$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}})(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}})^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}}$$

CC= 0.396

	<i>Hg</i>	<i>Hg_REAL</i>
Hg	1	
Hg_REAL	0.396	1

Fuente: Elaboración propia.

ANOVA.

Ahora, se presenta los datos obtenidos a través de una hoja de cálculo, cabe resaltar, que operando manualmente se obtienen similares valores.

Tabla 55

Resultados ANOVA "Excel" para el año 2020 - Senamhi.

Análisis de varianza de un factor - 2020

RESUMEN				
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Hg	12	58.855	4.905	0.173
Hg_REAL	12	58.900	4.908	0.181

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.00008441	1	0.00008441	0.000477	98.277%	4.301
Dentro de los grupos	3.893	22	0.177			
Total	3.89268183	23				

Fuente: Elaboración propia.

Si, la es $F_{crítica}$ mayor a la $F_{calculada}$:

$$F_{crítica} \geq F_{calculada}$$

$$4.301 \geq 0.000477$$

“No existen diferencias significativas entre los medios aritméticos de los grupos de la radiación solar real y estimada”.

Anexo 18

Análisis estadístico 2021 - Senamhi.

MAD, MSD, MAPE y RMSE.

Se tendrá en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |X_t - \hat{X}_t|$$

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_t - \hat{X}_t}{X_t} \right|$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2}{n}}$$

Primero, se procedió a realizar las operaciones matemáticas de acuerdo al orden presentado en las ecuaciones:

Tabla 56

Resultados acumulados para MAD, MSD, MAPE y RMSE (2021) - Senamhi.

2021 (SENAMHI)				
<i>H_{g_estSH}</i>	<i>H_{g_realSH}</i>	$ X_t - \hat{X}_t $	$(X_t - \hat{X}_t)^2$	$ (X_t - \hat{X}_t)/X_t $
4.825	4.624	0.200	0.040	0.043
5.067	4.704	0.363	0.132	0.077
4.975	5.050	0.075	0.006	0.015
4.457	4.969	0.512	0.262	0.103
4.245	5.101	0.856	0.733	0.168
3.938	4.527	0.589	0.347	0.130
4.110	4.310	0.200	0.040	0.046
4.610	4.480	0.130	0.017	0.029
5.101	5.282	0.181	0.033	0.034
5.213	4.491	0.721	0.520	0.161
4.991	4.005	0.987	0.974	0.246
5.108	5.012	0.096	0.009	0.019
$\Sigma = 56.640$	$\Sigma = 56.554$	4.910	3.113	1.072

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta que “n=12”, se procede a remplazar:

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |X_t - \hat{X}_t| = \frac{1}{12} * 4.910 = 0.409$$

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2 = \frac{1}{12} * 3.113 = 0.259$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_t - \hat{X}_t}{X_t} \right| = \frac{1}{12} * 1.072 = 0.08934391 = 8.934\%\%$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2}{n}} = \sqrt{\frac{3.113}{12}} = 0.509$$

Coefficiente de correlación (CC, r).

Teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$C = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}}$$

Se procede a calcular los promedios:

$$\bar{\hat{X}}_t = 4.720$$

$$\bar{X}_t = 4.713$$

Tabla 57

Tabulación para "CC o r" (2021) - Senamhi.

$H_{g.estSH}$	Promedio (Hg)	$H_{g.realSH}$	Promedio (Hg_REAL)	$(\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)$	$(\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2$	$(X_t - \bar{X}_t)^2$
4.825	4.720	4.624	4.713	-0.009	0.011	0.008
5.067	4.720	4.704	4.713	-0.003	0.120	0.000
4.975	4.720	5.050	4.713	0.086	0.065	0.114
4.457	4.720	4.969	4.713	-0.067	0.069	0.065
4.245	4.720	5.101	4.713	-0.185	0.226	0.151
3.938	4.720	4.527	4.713	0.145	0.611	0.035
4.110	4.720	4.310	4.713	0.246	0.372	0.163
4.610	4.720	4.480	4.713	0.026	0.012	0.054
5.101	4.720	5.282	4.713	0.217	0.145	0.324
5.213	4.720	4.491	4.713	-0.109	0.243	0.049
4.991	4.720	4.005	4.713	-0.192	0.074	0.502
5.108	4.720	5.012	4.713	0.116	0.151	0.090
$\Sigma =$				0.270	2.099	1.553

Fuente: Elaboración propia.

Se procede a remplazar.

$$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)(X_t - \bar{X}_t)}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}}_t)^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}} = \frac{0.270}{\{2.099 * 1.553\}^{\frac{1}{2}}}$$

$$CC = 0.150$$

Ahora se muestran los resultados aplicando los comandos de Excel, como se muestra en la imagen:

Figura 27

Coefficiente de correlación "CC o r" (2021) - Senamhi.

$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}})(X_t - \bar{X})}{\left\{ \left[\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - \bar{\hat{X}})^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X})^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}}$	<p>CC= 0.150</p>									
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th><i>Hg</i></th> <th><i>Hg_REAL</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>Hg</th> <td style="text-align: center;">1</td> <td></td> </tr> <tr> <th>Hg_REAL</th> <td style="text-align: center;">0.150</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> </tbody> </table>			<i>Hg</i>	<i>Hg_REAL</i>	Hg	1		Hg_REAL	0.150	1
	<i>Hg</i>	<i>Hg_REAL</i>								
Hg	1									
Hg_REAL	0.150	1								

Fuente: Elaboración propia.

ANOVA.

Ahora, se presenta los datos obtenidos a través de una hoja de cálculo, cabe resaltar, que operando manualmente se obtienen similares valores.

Tabla 58

Resultados ANOVA "Excel" para el año 2021 - Senamhi.

Análisis de varianza de un factor - 2021

RESUMEN				
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Hg	12	56.640	4.720	0.191
Hg_REAL	12	56.554	4.713	0.141

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.0003086	1	0.00031	0.0018587	96.600%	4.301
Dentro de los grupos	3.652	22	0.16601			
Total	3.652602	23				

Fuente: Elaboración propia.

Si, la es $F_{crítica}$ mayor a la $F_{calculada}$:

$$F_{crítica} \geq F_{calculada}$$

$$4.301 \geq 0.0018587$$

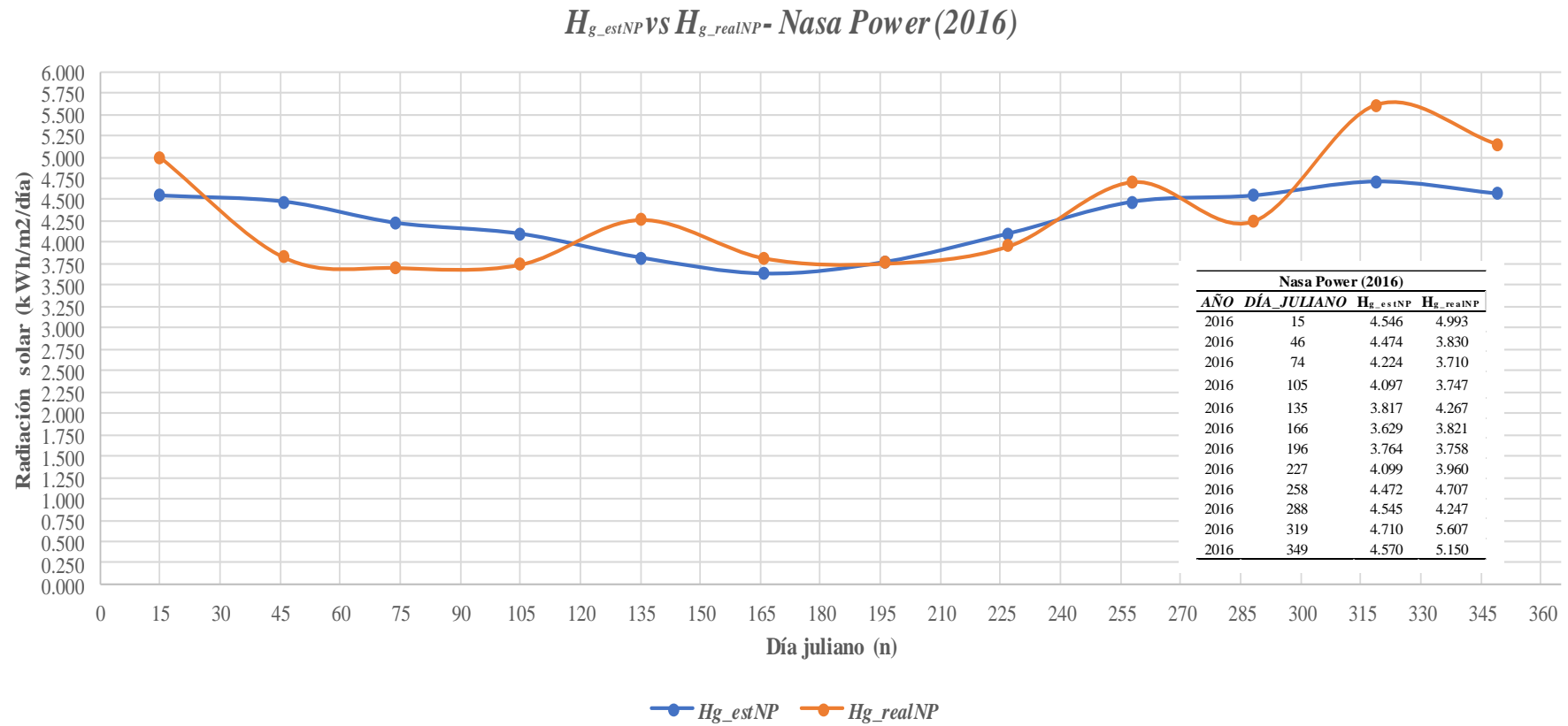
“No existen diferencias significativas entre los medios aritméticos de los grupos de la radiación solar real y estimada”.

Anexo 19

Resultado gráfico para el año 2016 - Nasa Power.

Figura 28

Comportamiento de la radiación solar 2016 - Nasa Power.



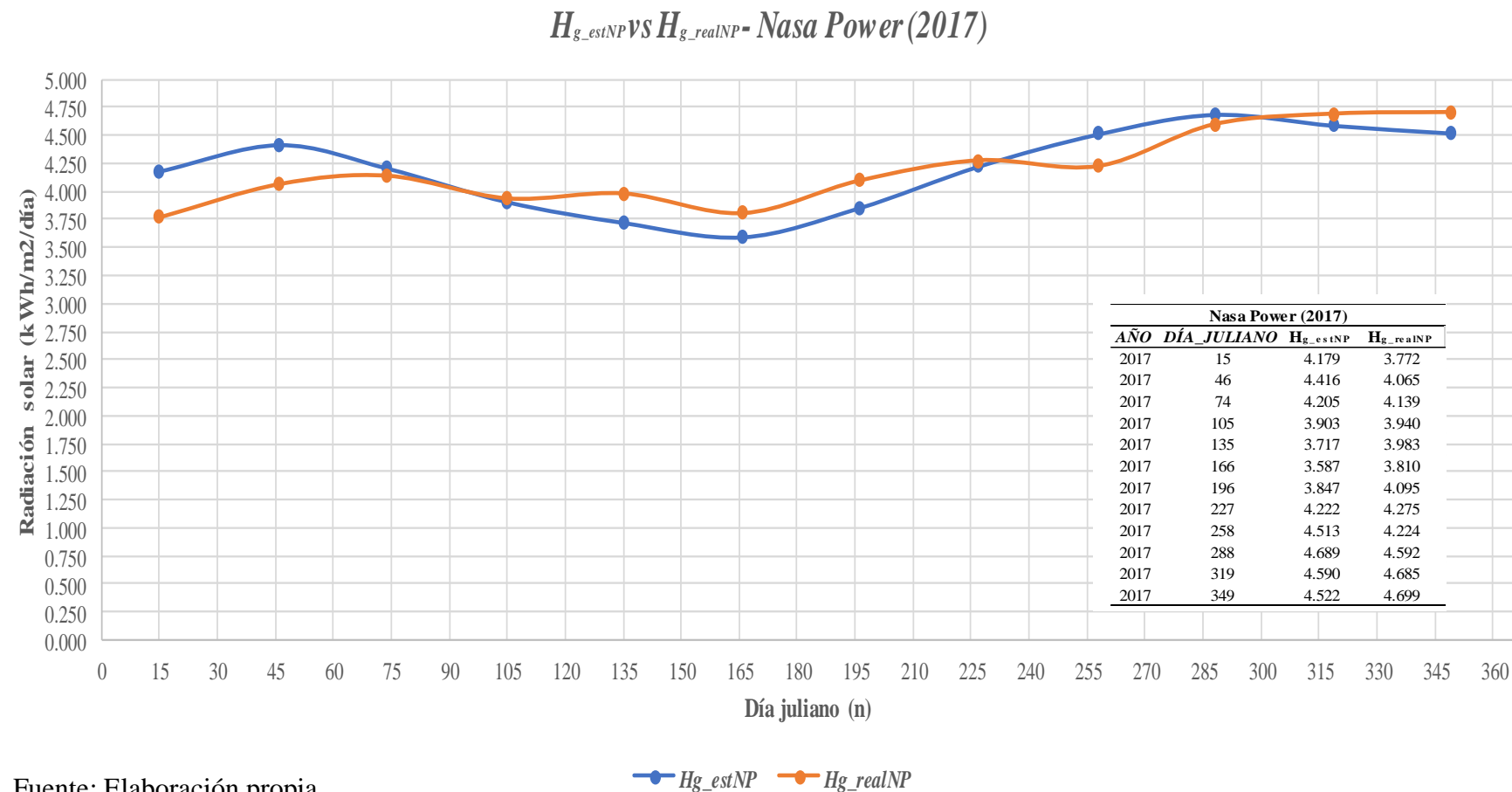
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 20

Resultado gráfico para el año 2017 - Nasa Power.

Figura 29

Comportamiento de la radiación solar 2017 - Nasa Power.



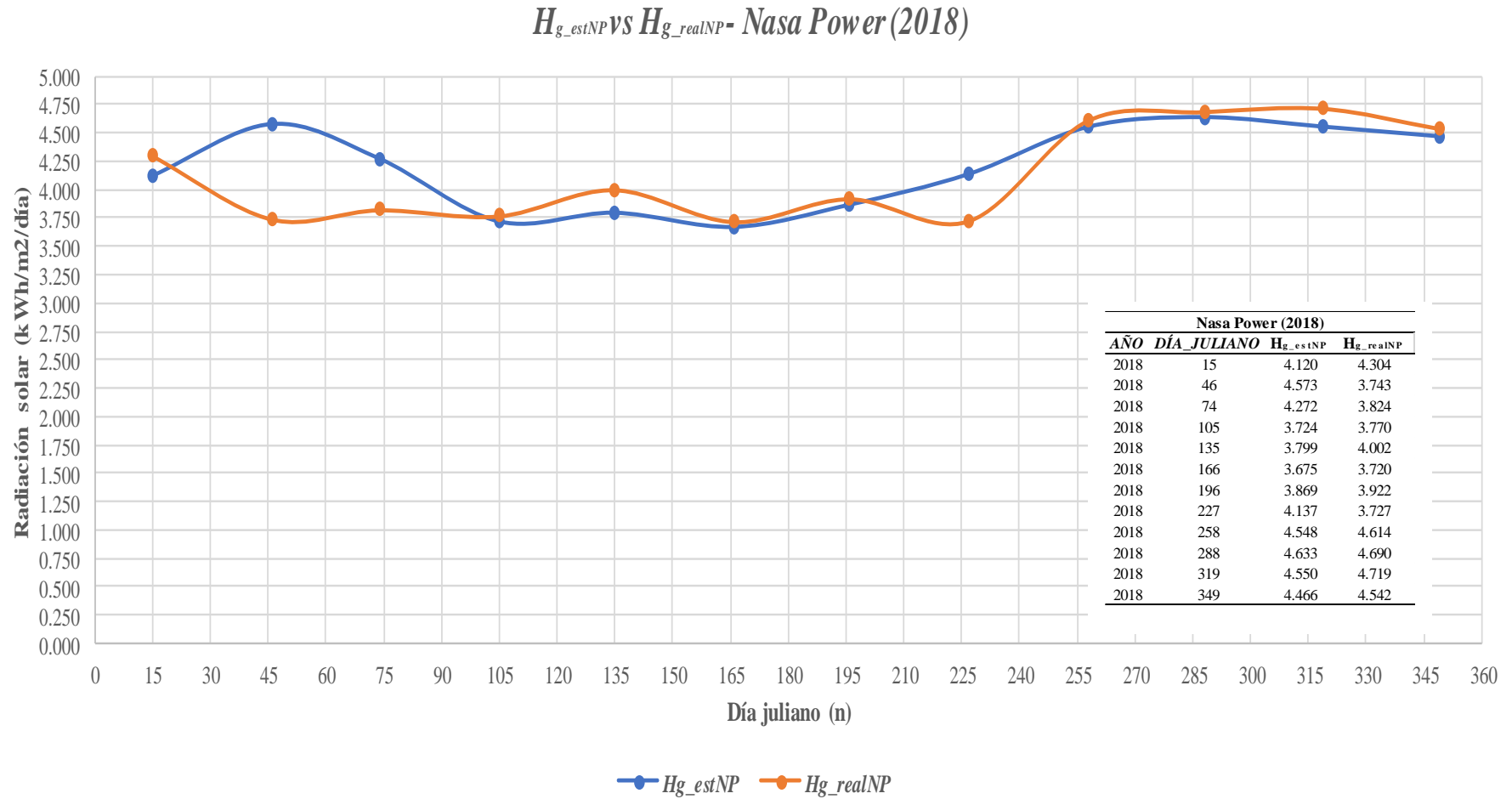
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 21

Resultado gráfico para el año 2018 - Nasa Power.

Figura 30

Comportamiento de la radiación solar 2018 - Nasa Power.



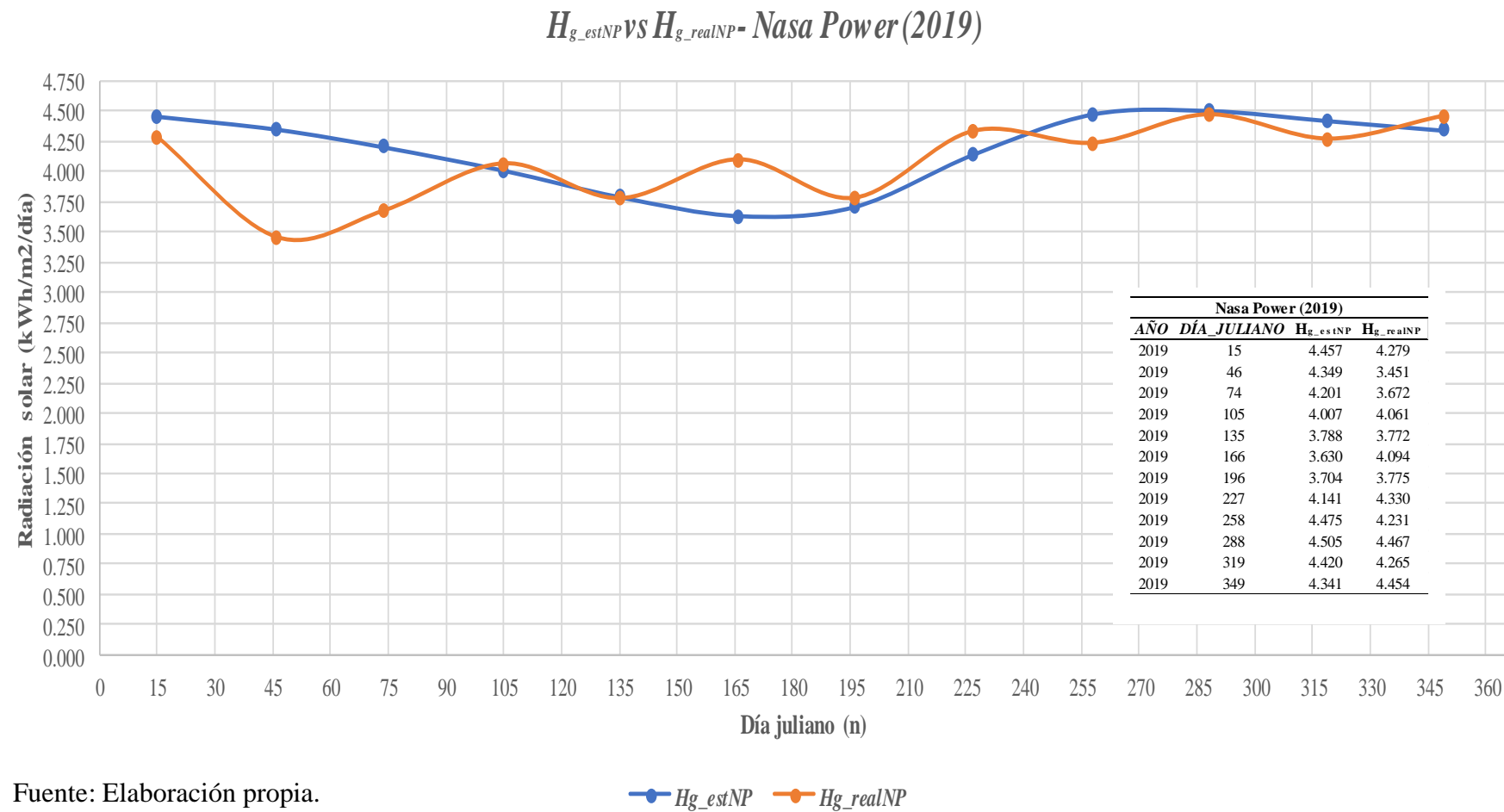
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 22

Resultado gráfico para el año 2019 - Nasa Power.

Figura 31

Comportamiento de la radiación solar 2019 - Nasa Power.



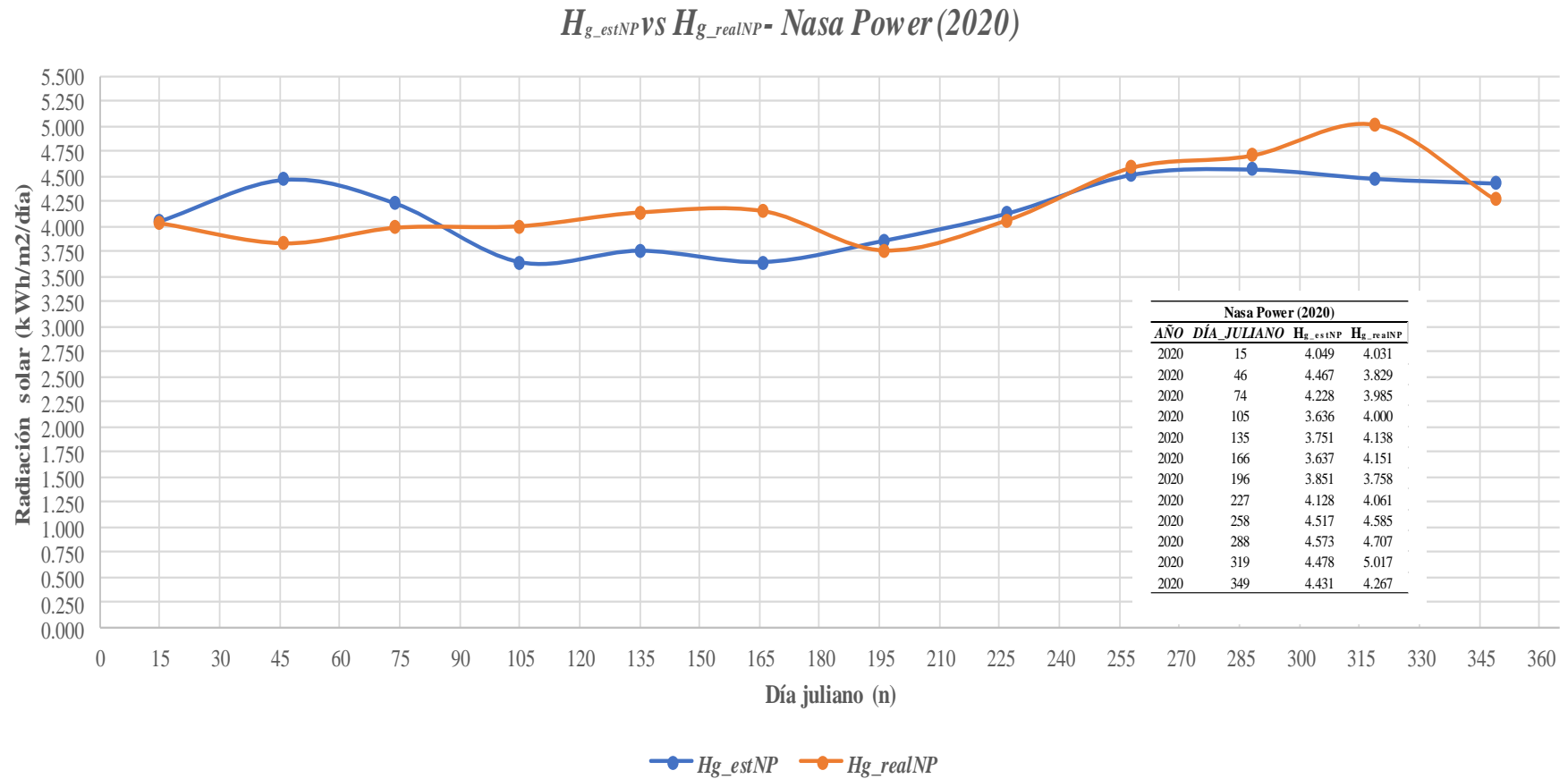
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 23

Resultado gráfico para el año 2020 - Nasa Power.

Figura 32

Comportamiento de la radiación solar 2020 - Nasa Power.



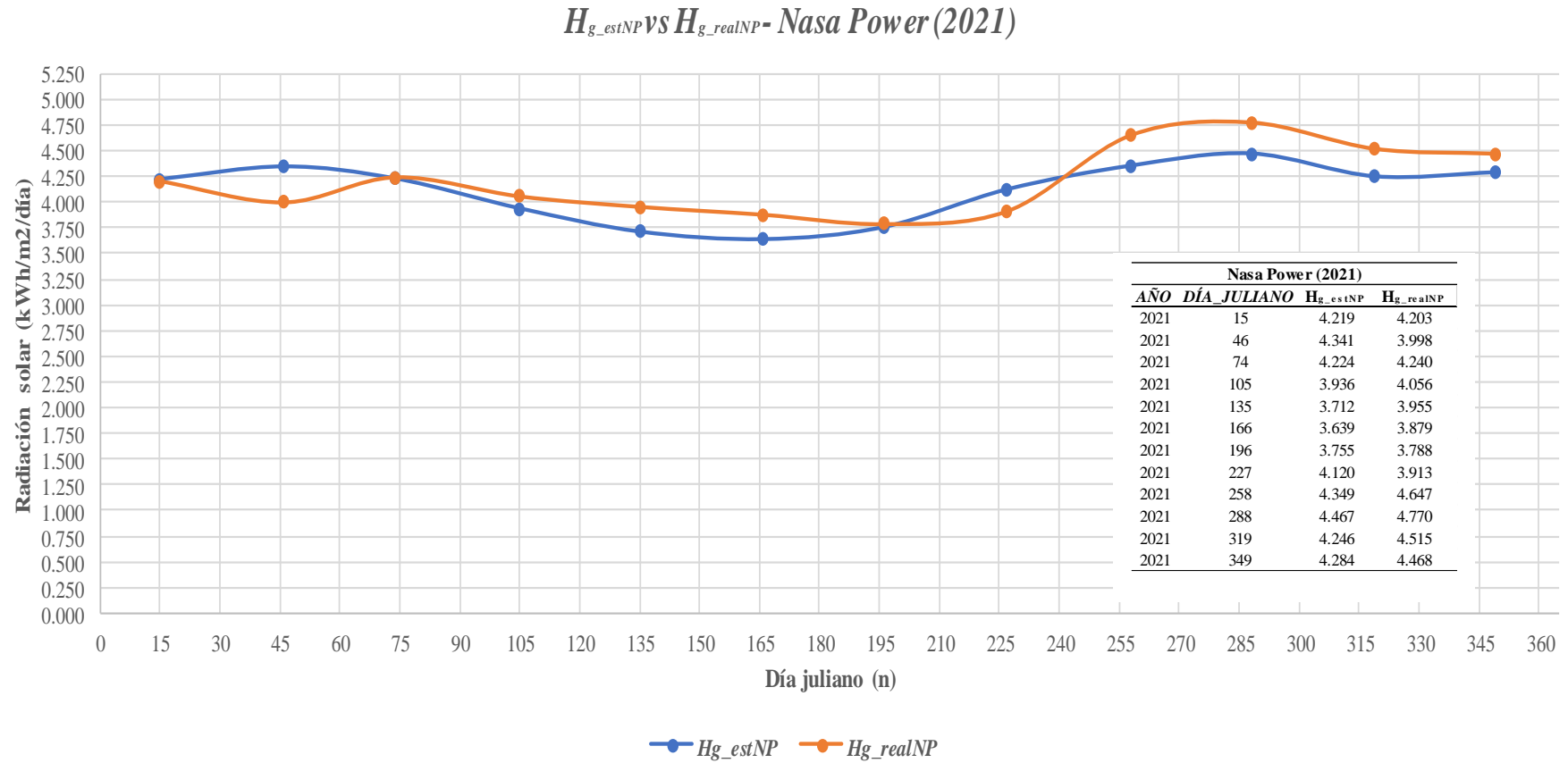
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 24

Resultado gráfico para el año 2021 - Nasa Power

Figura 33

Comportamiento de la radiación solar 2021 - Nasa Power.



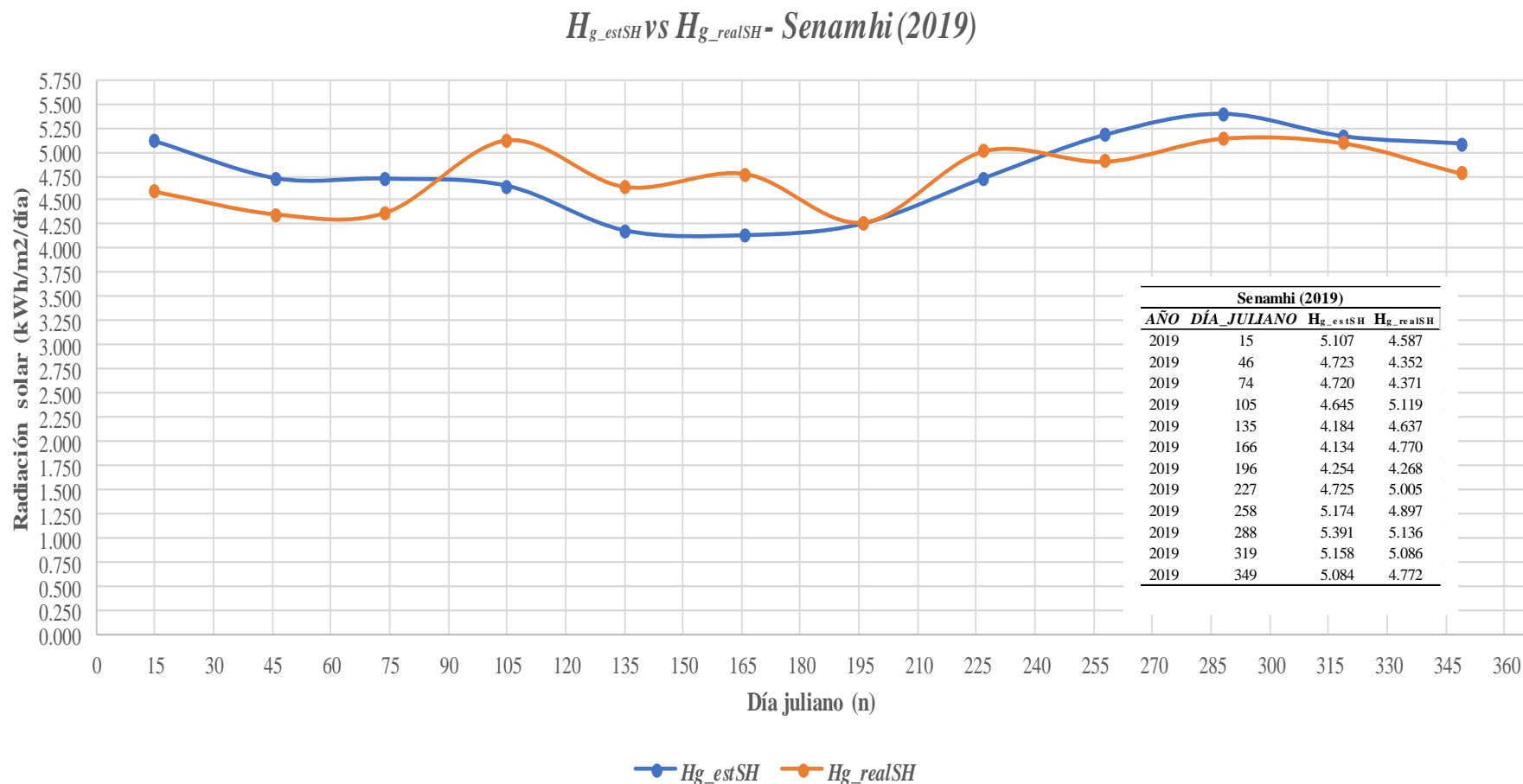
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 25

Resultado gráfico para el año 2019 – Senamhi.

Figura 34

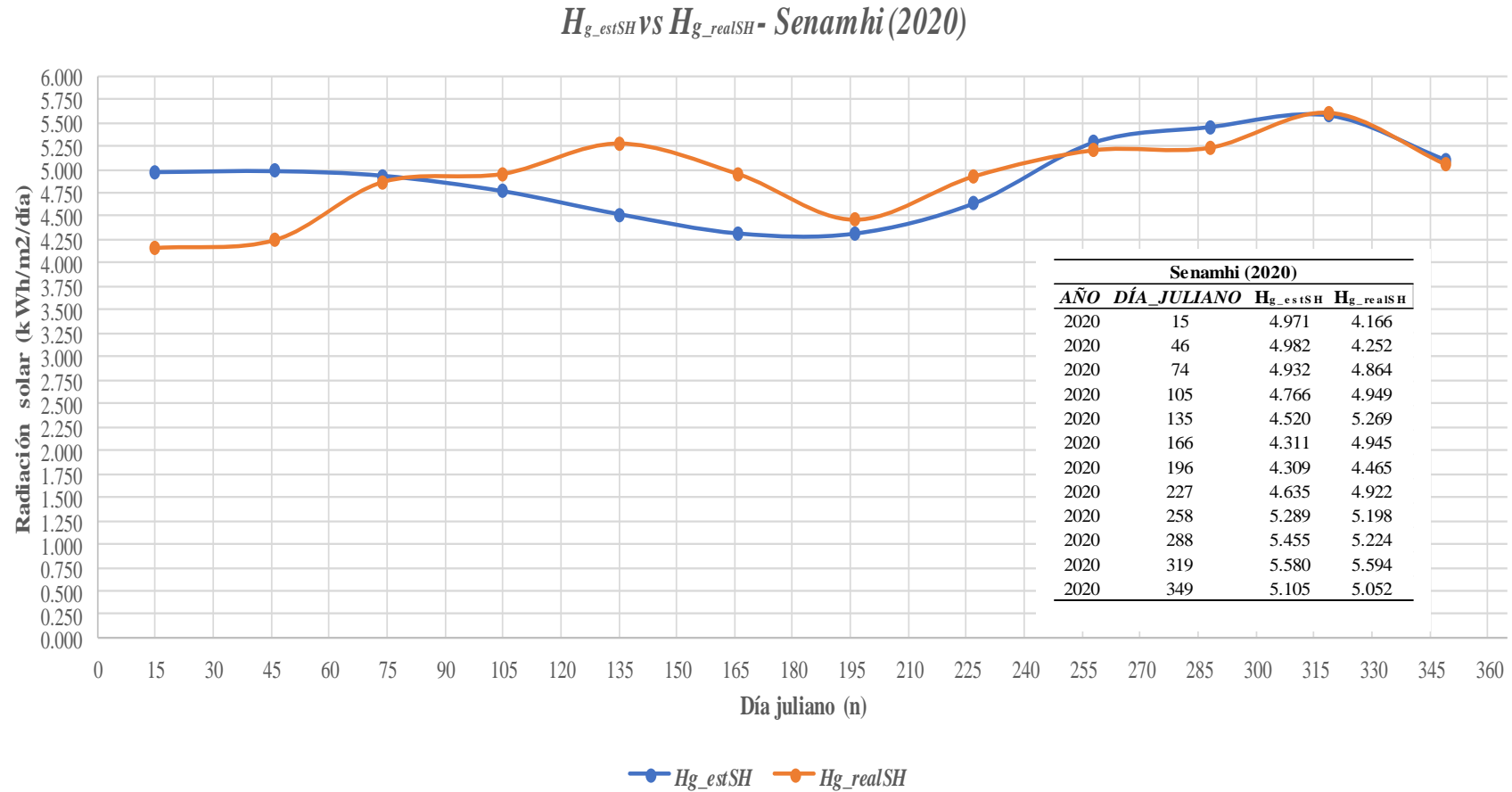
Comportamiento de la radiación solar 2019 - Senamhi.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 26
Resultado gráfico para el año 2020 - Senamhi.

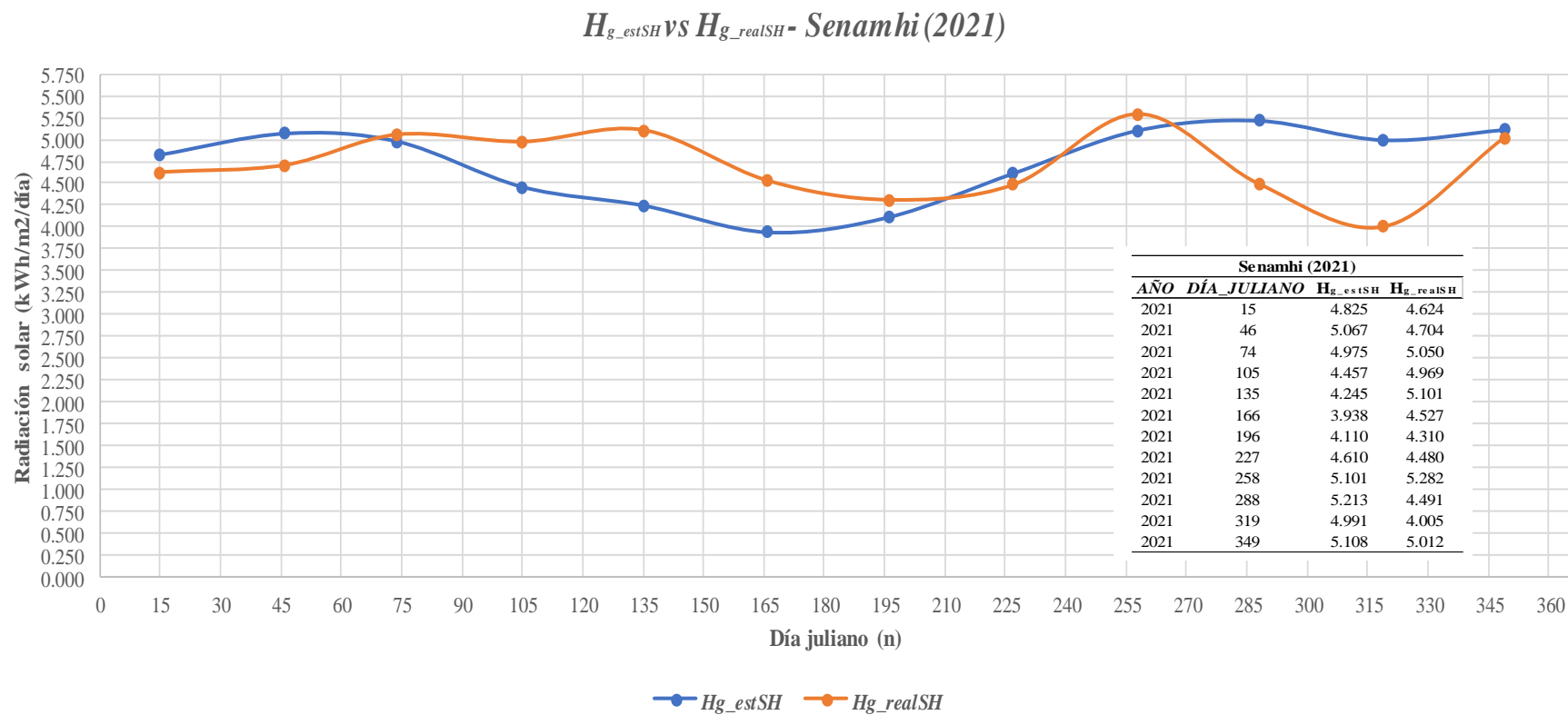
Figura 35
Comportamiento de la radiación solar 2020 - Senamhi.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 27
Resultado gráfico para el año 2021 - Senamhi.

Figura 36
Comportamiento de la radiación solar 2021 - Senamhi.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 28
Cuadro de principales conversiones.

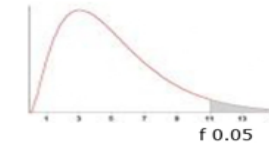
Unidad de Origen	Factor de corrección multiplicar por	Unidad de destino
kW h/m ²	85,984194	cal/cm ²
	3,6	MJ/m ²
MJ/m ²	277,777778	W h/m ²
J/cm ²	2,777778	W h/m ²
	0,238845	cal/cm ²
kJ/m ²	0,0238845	cal/cm ²
J/m ²	0,000277778	W h/m ²
Ly = cal/cm ²	11,622447	W h/m ²
	0,0418682	MJ/m ²

Anexo 29

Valores críticos de distribución que se utilizan en el análisis ANOVA.

Cátedra: Probabilidad y Estadística
Facultad Regional Mendoza
UTN

Tabla D.9: VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN F (0,05)



área a la derecha del valor crítico = 0,05

g.d.l	Grados de libertad del Numerador															g.d.l
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9	243,0	243,9	244,7	245,4	245,9	1
2	18,513	19,000	19,164	19,247	19,296	19,330	19,353	19,371	19,385	19,396	19,405	19,413	19,419	19,424	19,429	2
3	10,128	9,552	9,277	9,117	9,013	8,941	8,887	8,845	8,812	8,786	8,763	8,745	8,729	8,715	8,703	3
4	7,709	6,944	6,591	6,388	6,256	6,163	6,094	6,041	5,999	5,964	5,936	5,912	5,891	5,873	5,858	4
5	6,608	5,786	5,409	5,192	5,050	4,950	4,876	4,818	4,772	4,735	4,704	4,678	4,655	4,636	4,619	5
6	5,987	5,143	4,757	4,534	4,387	4,284	4,207	4,147	4,099	4,060	4,027	4,000	3,976	3,956	3,938	6
7	5,591	4,737	4,347	4,120	3,972	3,866	3,787	3,726	3,677	3,637	3,603	3,575	3,550	3,529	3,511	7
8	5,318	4,459	4,066	3,838	3,687	3,581	3,500	3,438	3,388	3,347	3,313	3,284	3,259	3,237	3,218	8
9	5,117	4,256	3,863	3,633	3,482	3,374	3,293	3,230	3,179	3,137	3,102	3,073	3,048	3,025	3,006	9
10	4,965	4,103	3,708	3,478	3,326	3,217	3,135	3,072	3,020	2,978	2,943	2,913	2,887	2,865	2,845	10
11	4,844	3,982	3,587	3,357	3,204	3,095	3,012	2,948	2,896	2,854	2,818	2,788	2,761	2,739	2,719	11
12	4,747	3,885	3,490	3,259	3,106	2,996	2,913	2,849	2,796	2,753	2,717	2,687	2,660	2,637	2,617	12
13	4,667	3,806	3,411	3,179	3,025	2,915	2,832	2,767	2,714	2,671	2,635	2,604	2,577	2,554	2,533	13
14	4,600	3,739	3,344	3,112	2,958	2,848	2,764	2,699	2,646	2,602	2,565	2,534	2,507	2,484	2,463	14
15	4,543	3,682	3,287	3,056	2,901	2,790	2,707	2,641	2,588	2,544	2,507	2,475	2,448	2,424	2,403	15
16	4,494	3,634	3,239	3,007	2,852	2,741	2,657	2,591	2,538	2,494	2,456	2,425	2,397	2,373	2,352	16
17	4,451	3,592	3,197	2,965	2,810	2,699	2,614	2,548	2,494	2,450	2,413	2,381	2,353	2,329	2,308	17
18	4,414	3,555	3,160	2,928	2,773	2,661	2,577	2,510	2,456	2,412	2,374	2,342	2,314	2,290	2,269	18
19	4,381	3,522	3,127	2,895	2,740	2,628	2,544	2,477	2,423	2,378	2,340	2,308	2,280	2,256	2,234	19
20	4,351	3,493	3,098	2,866	2,711	2,599	2,514	2,447	2,393	2,348	2,310	2,278	2,250	2,225	2,203	20
21	4,325	3,467	3,072	2,840	2,685	2,573	2,488	2,420	2,366	2,321	2,283	2,250	2,222	2,197	2,176	21
22	4,301	3,443	3,049	2,817	2,661	2,549	2,464	2,397	2,342	2,297	2,259	2,226	2,198	2,173	2,151	22
23	4,279	3,422	3,028	2,796	2,640	2,528	2,442	2,375	2,320	2,275	2,236	2,204	2,175	2,150	2,128	23
24	4,260	3,403	3,009	2,776	2,621	2,508	2,423	2,355	2,300	2,255	2,216	2,183	2,155	2,130	2,108	24
25	4,242	3,385	2,991	2,759	2,603	2,490	2,405	2,337	2,282	2,236	2,198	2,165	2,136	2,111	2,089	25
26	4,225	3,369	2,975	2,743	2,587	2,474	2,388	2,321	2,265	2,220	2,181	2,148	2,119	2,094	2,072	26
27	4,210	3,354	2,960	2,728	2,572	2,459	2,373	2,305	2,250	2,204	2,166	2,132	2,103	2,078	2,056	27
28	4,196	3,340	2,947	2,714	2,558	2,445	2,359	2,291	2,236	2,190	2,151	2,118	2,089	2,064	2,041	28
29	4,183	3,328	2,934	2,701	2,545	2,432	2,346	2,278	2,223	2,177	2,138	2,104	2,075	2,050	2,027	29
30	4,171	3,316	2,922	2,690	2,534	2,421	2,334	2,266	2,211	2,165	2,126	2,092	2,063	2,037	2,015	30
31	4,160	3,305	2,911	2,679	2,523	2,409	2,323	2,255	2,199	2,153	2,114	2,080	2,051	2,026	2,003	31
32	4,149	3,295	2,901	2,668	2,512	2,399	2,313	2,244	2,189	2,142	2,103	2,070	2,040	2,015	1,992	32
33	4,139	3,285	2,892	2,659	2,503	2,389	2,303	2,235	2,179	2,133	2,093	2,060	2,030	2,004	1,982	33
34	4,130	3,276	2,883	2,650	2,494	2,380	2,294	2,225	2,170	2,123	2,084	2,050	2,021	1,995	1,972	34
35	4,121	3,267	2,874	2,641	2,485	2,372	2,285	2,217	2,161	2,114	2,075	2,041	2,012	1,986	1,963	35
40	4,085	3,232	2,839	2,606	2,449	2,336	2,249	2,180	2,124	2,077	2,038	2,003	1,974	1,948	1,924	40
60	4,001	3,150	2,758	2,525	2,368	2,254	2,167	2,097	2,040	1,993	1,952	1,917	1,887	1,860	1,836	60
80	3,960	3,111	2,719	2,486	2,329	2,214	2,126	2,056	1,999	1,951	1,910	1,875	1,845	1,817	1,793	80
90	3,947	3,098	2,706	2,473	2,316	2,201	2,113	2,043	1,986	1,938	1,897	1,861	1,830	1,803	1,779	90
100	3,936	3,087	2,696	2,463	2,305	2,191	2,103	2,032	1,975	1,927	1,886	1,850	1,819	1,792	1,768	100
120	3,920	3,072	2,680	2,447	2,290	2,175	2,087	2,016	1,959	1,910	1,869	1,834	1,803	1,775	1,750	120
inf.	3,841	2,996	2,605	2,372	2,214	2,099	2,010	1,938	1,880	1,831	1,789	1,752	1,720	1,692	1,666	inf.

Anexo 30
Correo institucional del Senamhi.



BEKER OBED PARIACURI RECALDE <beker.pariacuri@est.unj.edu.pe>

TESISTA BEKER OBED PARIACURI RECALDI

1 mensaje

Luis Felipe Gamarra Chávarry (UACGD) <lgamarra@senamhi.gob.pe> 6 de junio de 2022, 17
Para: "beker.pariacuri@est.unj.edu.pe" <beker.pariacuri@est.unj.edu.pe>, "Manuel Jesus Valverde Bocanegra (UACGD)" <mvalverde@senamhi.gob.pe>, "Milagros Del Pilar Martinez Tabraj (UACGD)" <mmartinez@senamhi.gob.pe>, "Carmen Rosa Sulca Guzman (UACGD)" <csulca@senamhi.gob.pe>

TESISTA BEKER OBED PARIACURI RECALDI:

Reciba el cordial saludo del SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGIA DEL PERU - SENAMHI, a fin de remitirle los datos disponibles de la estación meteorológica JAEN comprendida en el expediente N° 3390, escala DIARIA - HORARIA, periodo (2015-2021); cabe indicar que bajo la modalidad de servicio gratuito es por única vez. A la espera de su confirmación en cuanto a la recepción del presente y hacerle recordar que una vez concluida y aprobada su TESIS/INVESTIGACIÓN hacer llegar un ejemplar para nuestra biblioteca especializada, saludos.

Cabe indicar que de acuerdo a los procedimientos establecidos en la Directiva N° 003-2016-SENAMHI-SG-OPP-UM, para la atención a estudiantes, tesisistas e investigadores bajo la modalidad de servicio gratuito, dichos usuarios firman una DECLARACIÓN JURADA, que tiene un firme compromiso LEGAL de entregar un ejemplar de su tesis para nuestra biblioteca. En ese sentido la Srta. Carmen Sulca (csulca@senamhi.gob.pe), estará atenta al cumplimiento de dicho acuerdo, saludos.

Nota: Sólo se envía lo disponible en nuestra base de datos.

Expediente: 3390

--



Luis Felipe Gamarra Chavarry
DIRECTOR DE PLANEAMIENTO, COORDINACION Y CONTROL
GERENCIA GENERAL
SENAMHI - PERÚ

D: Jr. Cahuide 785, Jesús María - Lima
T: 01 6141414 Anexo -
C: -
E: lgamarra@senamhi.gob.pe
W: www.senamhi.gob.pe

SENAMHI es una institución responsable con el medio ambiente. Le pedimos no imprimir este correo a menos que sea absolutamente necesario. Reduzca - Reuse - Recicle

INF EXC - BEKER PARIACURI.xlsx
1241K

Anexo 31

Link de resultados en Gogle Drive.

<https://drive.google.com/drive/folders/1Zszp3-QjTmsURr5iwkt6Mgcwx1h3atfS?usp=sharing>