

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONÍA PERUANA**  
**ESCUELA DE POST GRADO “JOSÉ TORRES VÁSQUEZ”**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL**



**TESIS**

**“EVALUACIÓN DEL SOFTWARE (SISA) PARA SIMULAR LA IRRADIACIÓN  
SOLAR EN LA AMAZONÍA PERUANA (ESTACIONES METEOROLÓGICAS  
EXPERIMENTALES DE IQUITOS, NAUTA Y TAMSHIYACU) 2014”**

**PRESENTADO POR:**

**ING. GILMER ROJAS PISCO**

**BLGO. JOSUÉ FLORES GARCÍA**

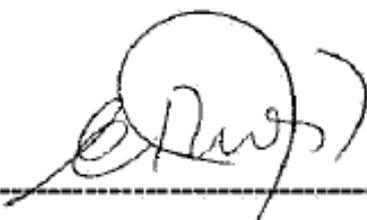
**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER EN  
CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**IQUITOS – PERÚ**

**2015**

**PAGINA DE JURADOS Y ASESOR**

**JURADOS:**



---

**Blgo. Enrique Ríos Isern; Dr.**



---

**Ing. Juan Manuel Rojas Amasifén; Dr.**



---

**Ing. Fernando Javier Salas Barrera; MSc.**

**ASESOR:**



---

**Ing. Juan Arturo Díaz Rengifo; Dr.**

## **DEDICATORIA**

Esta tesis la dedico a mi familia, en especial a mí amada Valeria Lozano y mi hijo Anderson Imanol quienes son mi motivación, inspiración y felicidad. Para mis padres que desde el cielo saben darme la valía para afrontar cada paso de mi vida y a mis hermanos por su cariño y unión que siempre les caracteriza.

Gilmer Rojas Pisco

Esta tesis la dedico a mi familia, en especial a mis padres Roberto y Lucia, que siempre me apoyaron y motivaron para superarme como persona y profesionalmente. Para mi hermana Ariana, que es mi motivación para esforzarme cada día más.

Josué Flores García

## AGRADECIMIENTO

A la Escuela de Postgrado de la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, por haber implementado el dictado de esta Maestría, muy valiosa para contribuir para el desarrollo sostenible de nuestra Región Amazónica.

A nuestros catedráticos que han sabido inculcar sus conocimientos en cada una de las asignaturas que conforman esta Maestría. Su dedicación y entrega se ve reflejada en la culminación de esta tesis.

*Gilmer Rojas Pisco y Josué Flores García*

## CONTENIDO

	Pág.
Resumen	1
Abstract	2
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>Introducción</b>	<b>3</b>
1.1. El problema	3
1.2. Justificación	5
1.3. Hipótesis	6
1.4. Objetivo general	6
1.5. Objetivos específicos	6
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>El marco teórico</b>	<b>7</b>
2.1. Antecedentes de estudios	7
2.1.1. Cambios en la composición de la atmósfera y el clima	7
2.1.2. Los efectos del cambio climático sobre la agricultura	8
2.1.3. La radiación solar y el clima en la Amazonía	9
2.1.4. El cambio climático y sus efectos en la Amazonía	10
2.1.5. Estudios de la irradiación solar	13
2.2. La teoría	16
2.2.1. Irradiación solar extraterrestre	23
2.2.2. Otros modelos matemáticos	23
El modelo de Hargreaves and Samani	24
El Modelo De Annandale	24
El Modelo De Bristow And Campell	24
2.2.3. Nubosidad	25
2.2.4. El clima en la Amazonía	26
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>La metodología</b>	<b>28</b>

3.1.	El tipo de investigación	28
3.2.	El diseño de la investigación	28
3.3.	Población y muestra	28
3.4.	Descripción general del área de estudio	29
3.4.1.	Clima	30
3.4.2.	Riesgos naturales	31
3.5.	Descripción específicas de las áreas de estudio	31
3.5.1.	Área de estudio de Iquitos	31
3.5.2.	Área de estudio de Nauta	34
3.5.3.	Área de estudio de Tamshiyacu	36
3.6.	El software de simulación de la Irradiación solar para la Amazonía	38
3.6.1.	La plataforma de LabVIEW	38
3.6.2.	Descripción del software elaborado (SISA)	39
3.6.3.	Registro de temperaturas mínimas y máximas 2003 – 2013 y cálculos para el proceso de evaluación del software SISA	42
3.6.4.	La plataforma de Excel	49
3.6.5.	La plataforma de Simulink de Matlab	50
3.7.	EL coeficiente de la transmitancia ( $a$ )	54
3.8.	Modelo matemático de Bristow-Campbell	55
3.9.	Los coeficientes ( $C_b$ ) y ( $B_b$ )	55
3.10.	Validación y confiabilidad del software SISA	55

## **CAPÍTULO IV**

<b>Resultados</b>	<b>56</b>	
<b>4.1.</b>	Resultados de la irradiación solar extraterrestre	56
<b>4.2.</b>	Resultados de los coeficientes empíricos	64
<b>4.3.</b>	Resultados de la irradiación solar terrestre	66

<b>CAPÍTULO V</b>	
<b>Discusión</b>	<b>70</b>
<b>CAPÍTULO VI</b>	
<b>Conclusiones</b>	<b>72</b>
6.1. Conclusiones específicas	72
6.2. Conclusión general	73
<b>CAPÍTULO VII</b>	
<b>Recomendaciones</b>	<b>74</b>
<b>Anexo</b>	
Terminología	75
<b>Referencias bibliográficas</b>	<b>79</b>

---

## RESUMEN

En el presente trabajo se ha realizado la evaluación de un software elaborado para la simulación de la irradiación solar en la Amazonía Peruana (SISA). Para realizar dicha evaluación, de las 51 estaciones meteorológicas experimentales que tiene el SENAMHI en la Amazonía Peruana, se ha seleccionado tres: las estaciones meteorológicas de Iquitos, Nauta y Tamshiyacu, en el periodo 2014.

Se calculó para cada estación meteorológica la irradiación solar extraterrestre y la irradiación solar terrestre, para lo cual el software SISA necesitó como datos de entrada, la latitud y los datos diarios de máxima y mínima temperatura facilitados por el SENAMHI. Para la estación de Iquitos, el valor máximo alcanzado de la irradiación solar terrestre en el periodo 2003 a 2013, es de 15.69 MJ/día m<sup>2</sup> y el valor mínimo es 14.22 MJ/día m<sup>2</sup>, con una oscilación de  $\pm 0.5$  MJ/día m<sup>2</sup>. En la estación de Nauta, el valor máximo alcanzado de la irradiación solar terrestre en el periodo 2003 a 2013, es de 16.4 MJ/día m<sup>2</sup> y el valor mínimo es 14.81 MJ/día m<sup>2</sup>, con una oscilación de  $\pm 0.52$  MJ/día m<sup>2</sup>. Para la estación de Tamshiyacu, el valor máximo alcanzado de la irradiación solar terrestre en el periodo 2003 a 2013, es de 19.48 MJ/día m<sup>2</sup> y el valor mínimo es 15.70 MJ/día m<sup>2</sup>, con una oscilación de  $\pm 1.18$  MJ/día m<sup>2</sup>.

Los resultados obtenidos mediante el software SISA, se compararon con los resultados obtenidos mediante Excel y Matlab de Simulink, observándose que no existe diferencia entre los mismos, mediante lo cual se demostró la confiabilidad y la validez del software SISA.

Al terminar el presente trabajo, se concluye que el software SISA representa un instrumento de precisión para monitorear la irradiación solar diariamente y elaborar un mapa solar en la Amazonía Peruana que permita estudiar el cambio climático y sus efectos en el medio ambiente (especialmente en la flora y fauna, así como también en las diversas actividades económicas como la agricultura, la pesca, el transporte fluvial, etc).

---

## ABSTRACT

In the present I work the evaluation of a software elaborated for the simulation of the solar irradiation in the Peruvian Amazonia has come true (SISA). In order to accomplish said evaluation, of the 51 experimental meteorological stations that has the SENAMHI in the Peruvian Amazonia, three have been selected. The meteorological stations of Iquitos, Nauta and Tamshiyacu, in the period 2014.

The solar terrestrial and solar extraterrestrial irradiation were calculated for each meteorological station, for which the software (SISA) needed like input data, the latitude and the daily data of maximum and minimal temperature facilitated by the SENAMHI. For the station of Iquitos, than the maximum attained value of the irradiation in the period 2003 to 2013 is 15.69 MJ/día m<sup>2</sup> and the value it is minimal 14.22 MJ/día m<sup>2</sup>, with an oscillation of  $\pm 0.5$  MJ/día m<sup>2</sup>. In the station of Nauta, than the maximum attained value of the irradiation in the period 2003 to 2013 is 16.4 MJ/día m<sup>2</sup> and the value it is minimal 14.81 MJ/día m<sup>2</sup>, with an oscillation of  $\pm 0.52$  MJ/día m<sup>2</sup>. For the station of Tamshiyacu, than the maximum attained value of the irradiation in the period 2003 to 2013 is 19.48 MJ/día m<sup>2</sup> and the value it is minimal 15.7 MJ/día m<sup>2</sup>, with an oscillation of  $\pm 1.18$  MJ/día m<sup>2</sup>.

The results obtained by means of the software (SISA), compared with the results obtained by means of Excel and Simulink's Matlab, being observed that does not exist tells between the same, intervening which demostraste reliability and the validity of the software itself (SISA).

When the present finish work, one comes to an end that the software represents a precision instrument to monitor the solar irradiation daily and to elaborate a solar map in the Peruvian Amazon that she allows studying the climatic change and its environmental effects (mainly in the flora and fauna, as well as in the various economic activities like agriculture, the fishing, river transportation, etc).

---

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. EL PROBLEMA

El cambio climático, en particular el calentamiento del planeta, está afectando gradualmente las actividades económicas y la biota en sus diversas formas. Al aumentar la variabilidad del clima, ejerce más presión en los sistemas naturales frágiles. Los extremos climáticos que son casi imposibles de prever, podrían hacerse más frecuentes, debido a las precipitaciones pluviales en las cabeceras de los ríos Marañón y Ucayali. Los cambios de temperatura, humedad y precipitación pluvial, así como, el aumento del nivel de los ríos, es hoy en día una amenaza para la salud ambiental, la producción agrícola en suelos aluviales, el desborde de las aguas litorales en la ciudad de Iquitos e inundaciones de las comunidades asentadas al borde de los ríos, afecta la diversidad biológica de la selva amazónica y como consecuencia la calidad de vida de las personas.

Los microclimas y los espacios agroecológicos se vienen modificando, obligando a los agricultores de la región de Loreto, a adaptarse, poniendo en peligro la vegetación y la fauna, el cual empeoraría el actual desequilibrio que hay en la producción de alimentos de nuestra región. El cambio climático, viene modificando significativamente la distribución y las cantidades de productos alimenticios, creando un caos en las actividades agrícolas, pecuarias, piscícolas, que conduce a una escasez de alimentos y a un elevado costo social.

Las elevadas temperaturas evaporan el agua de los espejos de agua y por evapotranspiración en los bosques, para devolver a la atmósfera en forma de nubes, así como, la persistente pérdida importante de la humedad de los suelos en tiempos de verano.

Al producirse el ciclo del agua a través de los mecanismos de evapotranspiración y precipitación, se incrementa la humedad y el calor afectando a los bosques en su interior para desarrollar una sobrepoblación de plagas e insectos que se desplazan hacia zonas donde antes no era habitual y que es necesario que el agricultor proteja sus cultivos así como peligra

---

la salud de la población con la sobrepoblación de los zancudos (*Aedes Aegypti*) que produce la enfermedad del dengue y la fiebre amarilla.

Por otro lado, la Amazonía Peruana, está siendo amenazada, debido a diversos procesos físicos, químicos y biológicos, afectando la floración, la fructificación, la deforestación de las coberturas boscosas, la erosión de los suelos por las intensas lluvias, inundaciones, sequías y el desequilibrio biológico de varias especies de importancia económica como el apareamiento, el desove, la migración de aves, el engusamiento de productos de pan llevar que pone en riesgo la seguridad alimentaria en la Amazonía.

En el 2012, las inundaciones fueron un evento climático que afectó a la región Loreto durante enero hasta abril de ese mismo año. Febrero y marzo fueron los meses más lluviosos a lo largo de la Amazonía Peruana. Las áreas más afectadas en Loreto fueron caseríos, pueblos, las zonas periurbanas de Iquitos y las costas de la capital de la región. Fue la primera y la más fuerte inundación de la historia de Loreto, precediendo a las inundaciones más ligeras ocurridas en 1986.<sup>1</sup>

El clima húmedo en Loreto llevó intensos aguaceros y persistentes lloviznas, causando daños e inundaciones a la región desde noviembre de 2011. El clima lluvioso continuó hasta inicios de 2012 y aumentó el nivel de agua en el río Amazonas (extensa corriente de agua que alimenta la mayoría de los afluentes loretanos hasta 117 msnm).<sup>2</sup> Desde febrero y marzo, varios pueblos fueron afectados (19,209 familias damnificadas y 18,400 afectadas), 26 mil hectáreas de cultivo fueron inundados y el nivel del agua alcanzó calles costeras de Iquitos. El 24 de abril de 2012, la creciente perdió intensidad, e inició la primera etapa de vaciante<sup>3</sup>.

A causa de la contaminación del agua, las inundaciones provocan preocupación en la salud de las zonas afectadas. La acumulación de agua sucia, la proliferación de zancudos y el frío son los principales efectos secundarios ocasionados por las inundaciones.<sup>4,5</sup> El MINSA reportó 2502 casos de infección respiratoria aguda (IRA), 1103 de diarrea y 523 de parasitosis.<sup>6</sup> Debido que Loreto es una zona tropical y es un adecuado hábitat para la proliferación de los zancudos por la presencia de charcos y estanques posterior a la merma

---

de las inundaciones, los pronósticos indican que aumentaría el riesgo de dengue y malaria, así, como la aparición de la enfermedad producida por los roedores como la leptospirosis.<sup>5</sup> Los extremos del clima, como las inundaciones, las sequías, las tormentas pluviales, el friaje y el sobrecalentamiento, son de mayores consecuencias y es un hecho que el calentamiento del planeta trae consigo la variabilidad del clima regional porque busca un sumidero para buscar su equilibrio.

Las observaciones encontradas en los antecedentes de los estudios realizados en diferentes países para predecir los cambios climáticos y sus consecuencias, pero de manera especial el evento climático del 2012 en la Amazonía Peruana, generó la necesidad de abordar el tema iniciando los estudios con la elaboración de un software que se adecue a las condiciones climáticas del Perú y especialmente para la Amazonía Peruana. Por lo mencionado, se pretende que el presente estudio, es la etapa que permitirá conocer la capacidad del software elaborado para pronosticar los cambios climáticos.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

La capacidad de los pueblos de producir suficientes alimentos para su consumo depende en gran medida del clima, la temperatura, la precipitación pluvial, la humedad, la presión, el viento y el transporte de la carga atmosférica, que dependen únicamente de la radiación solar. Las fluctuaciones a corto y a largo plazo de los episodios climáticos (variabilidad del clima y cambio climático) tienen repercusiones extremas en la producción agrícola, que reducen drásticamente el rendimiento de las cosechas, lo que obliga a buscar y encontrar a los agricultores nuevas prácticas agrícolas en respuesta a estos cambios.

Para estudiar el cambio climático en la Amazonía Peruana, es necesario contar con las herramientas que ayuden a los técnicos, ingenieros y científicos a predecir los fenómenos eventuales de las inundaciones y sequías. En la actualidad el SENAMHI-Loreto, no cuenta con un sistema que le permita el seguimiento (monitoreo) y el registro de los valores de la irradiación solar automáticamente y como consecuencia de esta carencia, no cuenta con un mapa solar en el ámbito de la Amazonía Peruana, el cual limita conocer el comportamiento de la irradiación solar. Este hecho condujo a elaborar un software conocido como SISA

---

(Simulador de la Irradiación Solar para la Amazonía) exclusivamente para la región Loreto, que incluya las condiciones atmosféricas y geográficas propias y que con su evaluación, se concluirá el presente trabajo para dar inicio a estudios de monitoreo de las variaciones climáticas y posteriormente la prevención de los desastres naturales en la Amazonía Peruana.

### **1.3. HIPÓTESIS**

El supuesto elaborado se ha definido del modo siguiente:

La evaluación del software SISA permitirá simular la irradiación solar en la Amazonía Peruana en las estaciones meteorológicas experimentales de Iquitos, Nauta y Tamshiyacu-2014.

### **1.4. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el software SISA para la simulación de la irradiación solar en la Amazonía Peruana en las estaciones de Iquitos, Nauta y Tamshiyacu -2014.

### **1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Determinar la validez del software SISA
2. Determinar la confiabilidad del software SISA
3. Determinar los coeficientes empíricos de transmisividad, altitud y contaminación ambiental para cada una de las estaciones seleccionadas.
4. Realizar la simulación de la irradiación solar para las estaciones meteorológicas seleccionadas del SENAMHI-Loreto, como Iquitos, Nauta y Tamshiyacu.
5. Analizar e interpretar los resultados del software SISA para la simulación de la irradiación solar.

---

# CAPÍTULO II

## EL MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIOS

#### 2.1.1. Cambios en la composición de la atmósfera y el clima

En el período transcurrido desde la industrialización y más durante las últimas décadas de la tierra, la composición de la atmósfera ha ido cambiando debido a las actividades humanas, en particular a la quema de combustible, el uso de la tierra y la cubierta terrestre. Los gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el metano ( $\text{CH}_4$ ), el cloro fluoruro de carbonos (CFC) y el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), ha venido en aumento en estas últimas décadas.

Los cambios en estos componentes tienen un efecto sobre el balance radiactivo de la atmósfera. El efecto invernadero de los gases, tienden a calentar la atmósfera inferior al impedir la fuga de la re-radiación poniendo de vuelta a la superficie. En cambio los aerosoles tienen un contractivo efecto de refrigeración, directamente mediante la absorción de la radiación solar entrante, e indirectamente contribuyendo a la formación de nubes que reflejan los rayos solares. Los aerosoles es probable que sigan afectando a escala continental. Los patrones del cambio climático en algunas regiones han venido produciendo serios eventos climáticos fuera de lo normal en estas últimas décadas.

Los modelos climáticos previsto para el año 2100, como la superficie mundial anual de la temperatura se estima que tenga un aumento de 1 a 3.5 °C, los patrones de cambio de precipitación, tanto espacial y temporal a nivel del mar aumentará entre 15 a 95 cm. Estas estimaciones se basan en una gama de sensibilidades del clima a los cambios en las concentraciones de gases de efecto invernadero y plausible cambios en las emisiones de gases de efecto invernadero y los aerosoles. Sin embargo, todavía existen grandes incertidumbres que rodean a las predicciones de cambios futuros. Los posibles efectos del cambio climático son una preocupación fundamental para los gobiernos y de la comunidad científica en medio ambiente en todo el mundo. Para hacer frente a esta preocupación, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) fue creado en

---

1988 para proporcionar una declaración internacional de dictamen científico sobre el cambio climático.

### **2.1.2. Los efectos del cambio climático sobre la agricultura**

Durante las dos últimas décadas numerosos estudios se han orientado a comprender la naturaleza y magnitud de las pérdidas y ganancias de la producción agrícola en diferentes lugares y bajo diversas proyecciones de cambio regional, nacional y mundial, los estudios han sido resumidos en (IPCC).<sup>7-9</sup> Los estudios anteriores trataron de aislar los efectos del clima sobre la actividad agrícola, mientras que últimamente ha habido un creciente énfasis en la comprensión de las interacciones climáticas, factores ambientales y sociales en un contexto más amplio.<sup>3, 10, 11</sup> Comúnmente la investigación ha empleado tres enfoques diferentes: la investigación experimental, el clima y los análogos de los modelos matemáticos.<sup>1, 12</sup> En la investigación experimental, las plantas (o, posiblemente, también los agentes patógenos, las plagas y malas hierbas) son cultivadas bajo un estricto control y seguimiento de entornos, ya sea en el campo, en invernaderos, en principio abierta las cámaras o en cámaras de cultivo.<sup>13-16</sup> En los estudios empíricos analógicos, la información se transfiere de un lugar a otro de interés, para servir como una analogía.<sup>1</sup> Diferentes tipos de modelos matemáticos pueden simular el desarrollo de cultivos y el crecimiento, las plagas y agentes patógenos, la producción ganadera y también la respuesta socio-económica. Integrado esfuerzos agrícolas de modelización se consideran como una herramienta clave de la investigación, al examinar los efectos del cambio climático sobre la agricultura.<sup>3</sup> Con modelos de sistemas integrados, se intenta identificar y abordar todos los diferentes componentes del problema.<sup>1</sup>

Los efectos de los cambios en la composición de la atmósfera son a la vez directa, a través de cambios en la concentración de los gases, e indirecta, a través de cambios en las condiciones climáticas. Por ejemplo, el aumento de las concentraciones de algunos de los gases de efecto invernadero, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) troposférico, el ozono (O<sub>3</sub>) y el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) tienen efectos directos sobre la fisiología de las plantas. De estos, el ozono troposférico es potencialmente el más nocivo.<sup>17</sup>

---

Muchos estudios experimentales han investigado el efecto del aumento de CO<sub>2</sub> atmosférico contenido en la productividad de las plantas. <sup>3, 9, 14, 18</sup>

El aumento de los niveles de CO<sub>2</sub> atmosférico mejora el crecimiento de especies de cultivos como el trigo, es decir, plantas que tienen un llamado C<sub>3</sub> fotosintético. <sup>19</sup> Por otro lado, el nivel de CO<sub>2</sub> atmosférico afecta el crecimiento de los cultivos a través de dos mecanismos fundamentales. <sup>20</sup> La primera está relacionada con la reacción de la asimilación fotosintética de carbono y el segundo para el cierre de estomas en la superficie de las hojas. Otros efectos son generalmente de retroalimentación en relación con estos dos mecanismos. Anualmente las plantas C<sub>3</sub> presentan un aumento de la producción promedio alrededor del 30%. <sup>14</sup> Sin embargo, variaciones en la respuesta entre especies de plantas y las condiciones persisten (-10% a +80%) y sólo poco a poco estas diferencias se resolvieron. <sup>6, 14, 21</sup>

A nivel mundial, el cambio climático será sólo uno de los muchos factores que afectan a la agricultura. El impacto más importante del cambio climático en los mercados mundiales, es el hambre y la degradación del ambiente, que dependerá de cómo la agricultura responde a las demandas de una población creciente y de las amenazas de la degradación de los recursos naturales. <sup>3, 6, 22</sup>

En el próximo siglo, la población en el mundo se proyecta a más de 9 mil millones de la estimación de los 5.8 mil millones en 1996. En general, se ha llegado a la conclusión de que la producción agrícola mundial probablemente se mantenga en relación con la producción actual, respecto al cambio climático regional previsto durante el próximo siglo, pero que los efectos varían ampliamente.

### **2.1.3. La irradiación solar y el clima en la Amazonía**

Existen pocos estudios realizados respecto al clima en la Amazonía Peruana, así Marengo <sup>23</sup> en el libro de Kalliola R. y Flores Paitan S., publica la realización de una compilación de trabajos desarrollados sobre climatología de la zona de Iquitos en el Perú. Describe el clima de la zona de Iquitos y territorios aledaños, con énfasis en la climatología e hidrología de ríos en la Región, así como la variabilidad de los mismos en los años considerados en extremos por la corriente del Niño.

---

En el mismo año, Benites <sup>24</sup>, publica los resultados encontrados de la radiación solar en la atmosfera extraterrestre en la ciudad de Iquitos, haciendo uso del modelo matemático de Kleim, en el cual introduciendo el día del año, pudo calcular los valores de la declinación solar y el ángulo solar y con estos valores determinó la radiación solar.

En el año 2013, Díaz <sup>25</sup>, en el proyecto de investigación “estudio de las variables climáticas y su influencia en el comportamiento del clima en la ciudad de Iquitos”, desarrolla como una de las partes de los componentes del proyecto, dos software para la monitorización de la radiación solar extraterrestre y la irradiación solar. Ambos software fueron elaborados en la plataforma de LabVIEW. El primer software consiste en la adquisición, análisis y representación de la información en términos numéricos y gráficos, basado en el modelo matemático de Kleim que contiene los parámetros de latitud, declinación solar y ángulo horario solar; igualmente el segundo software, está basado en un modelo matemático de Bristow-Campbell recomendado para el Perú <sup>26</sup>, que tiene en cuenta el factor de transmisividad entre la irradiación solar y la radiación solar extraterrestre.

#### **2.1.4. El cambio climático y sus efectos en la Amazonía**

El IPCC estimó rangos de cambios en la temperatura y precipitación proyectadas para el 2020. Para este año el aumento de la temperatura en el sector de la Amazonía Peruana podría variar entre 0.5 °C y 1.8 °C y para el 2080 entre 1.6 °C y 7.5 °C, cifras que demuestran que el calentamiento en la Amazonía Peruana será severo.

En la Amazonía Peruana, el calentamiento global genera sequias, inundaciones, incremento en el nivel de sedimentos, incendios forestales, mortalidad de árboles e invasión de pasturas, desorden en el equilibrio biológico, como la floración y fructificación en tiempos no estacionales, así como el desove y el apareamiento de las especies.

La Sabanización de un sector de la Amazonía Peruana, que significa pasar de un cobertura boscosa a una cobertura predominante herbácea, es indudable en los próximos 20 años según Marengo <sup>23</sup>, en especial en la parte oriental donde se presenta un clima con déficit de agua

---

en una época del año, como por ejemplo, el Huallaga central, Bajo Mayo, Pucallpa y Puerto Maldonado.

Estudios recientes por el SENAMHI <sup>26</sup>, muestran que en la zona de Moyobamba, muy tradicional por su clima fresco durante las noches, durante los últimos años (1965–2005) el promedio de las temperaturas mínimas se ha incrementado aproximadamente 2 °C (0.48 °C/década).

También se ha observado cambios en el régimen hidrológico, muchas zonas de la selva alta, como el Huallaga Central y el Alto Mayo, registran escasez de agua, generando problemas en los sistemas de abastecimiento a la población especialmente en las actividades productivas, como el cultivo de arroz. En la selva alta, donde los procesos ecológicos que sustentan la economía de la población rural, como la pesca y la agricultura de playas, restingas y barriales, dependen del ciclo de vaciantes y crecientes, estos serán afectados significativamente ante los cambios de los regímenes de precipitación.

Existirá pérdida y cambios en la biodiversidad, en especial en la selva baja, debido al cambio climático, pues toda la proteína animal es extraída de los ecosistemas, a través de la caza y la pesca. Un alto porcentaje de material de construcción de las casas como la pona para el piso, hojas de irapay para el techo, madera redonda para la estructura de las casas, troncos para la construcción de las canoas, son extraídos del bosque, así como también las plantas medicinales de uso común en la población rural.

Los cambios en las actividades extractivas son notorios, debido al cambio en los ecosistemas, de un bosque húmedo tropical biodiverso a una vegetación tipo sabana con poca biodiversidad, como por ejemplo, el humarí que sustenta la economía de la ciudad de Tamshiyacu y el camu-camu que sustenta la economía de las poblaciones ribereñas, desaparecerán ante nuevas condiciones climáticas, así como también algunas especies forestales.

---

Existirán cambios en el uso de la tierra, nuevos cultivos, aparición de plagas e insectos poniendo en riesgo la seguridad alimentaria.

Según la FAO <sup>27</sup>, se prevé que los cambios en las temperaturas y precipitaciones, así como la mayor frecuencia de condiciones meteorológicas extremas determinarán reducciones de la producción agropecuaria, la producción de alimentos y el acceso a los recursos alimenticios, la estabilidad y la utilización de los mismos.

Como consecuencia del cambio climático, aparecerán nuevas enfermedades o expansión de los ya existentes como el cólera, el dengue, la malaria entre otras. Según el informe de la OMS <sup>28</sup> en la década de los 90 se ha registrado diversos eventos climáticos que han impactado directa e indirectamente en la salud humana, considerando lo siguiente:

Aparición de enfermedades infectocontagiosas (malaria, dengue, enfermedades diarreicas e infecciones respiratoria), agravadas por la proliferación de agentes transmisores de enfermedades como mosquitos, moscas, ácaros y roedores, contaminación de las aguas y de los alimentos, aumento de la desnutrición, aumento de las enfermedades por la contaminación del aire y bioestrés térmico.

Por cambios en el ciclo hidrológico, en la selva alta la mayor precipitación en tiempos cortos, ocasionará la erosión de los suelos y la remoción de las masas en las montañas produciendo los huaycos y deslizamientos y en la selva baja las inundaciones y las erosiones laterales de los ríos.

Los cambios socioculturales de la población ribereña e indígena vienen siendo afectados, debido a que los patrones socioculturales dependen significativamente de la relación con los ecosistemas y con los recursos de la biodiversidad Amazónica.

---

### 2.1.5. Estudios de la irradiación solar

Varios esfuerzos se han llevado a cabo para calcular la irradiación global diaria promedio mensual en México. Almanza y López <sup>29</sup>, usaron la ecuación propuesta por Reddy y calcularon la irradiación global para 38 localidades utilizando la información meteorológica publicada por el S.M.N. disponible en ese momento. Los resultados obtenidos se utilizaron para laborar mapas de isohelias. Los autores consideran que sus resultados tienen una precisión de 10%, lo cual fue verificado en el trabajo de Fernández y Estrada-Cajigal <sup>30</sup>.

Galindo y Chávez <sup>31</sup>, en 1977 aplicaron la ecuación propuesta por Angstrom para calcular la irradiación global diaria promedio mensual en 136 localidades de la república Mexicana, en 38 de ellas los datos de horas de insolación fueron obtenidos del S.M.N. y en 98 se estimaron a partir de fotografías de satélites meteorológicos. Allí se argumenta que la selección de las constantes  $a$  y  $b$  se hizo tomando en cuenta el clima del lugar y la vegetación.

Por su parte Jáuregui <sup>32</sup>, en 1978 usó una versión modificada de la ecuación de Angstrom, en la que se aplica una corrección por latitud. Con esta ecuación calculó la irradiación global en 32 estaciones equipadas con registradores de horas de insolación del tipo Campbell-Stokes. Usó entonces esta red para trazar mapas de isohelias por interpolación a mano libre de la irradiación global en los meses de enero y julio.

Hernández <sup>33</sup>, en 1976 usó una versión no lineal de la ecuación de Angstrom. La información de horas de insolación fue también obtenida a partir de las fotografías de nubosidad transmitidas por satélite para 98 localidades durante el periodo de 1969 a 1971.

El hecho de calcular indirectamente los valores de la heliofanía relativa incrementa aún más la incertidumbre de los datos así obtenidos a través del modelo de Angstrom.

Un trabajo destacado, es el de Justus, Paris y Tarpley <sup>34</sup>, quienes por primera vez utilizan valores cuantitativos de información del satélite geoestacionario GOES, no son solo imágenes como en trabajos previos, para calcular la irradiación global diaria promedio

---

mensual (1983-1988). Se ha estimado un error para valores diarios del 12.8% y para valores promedio mensual de un 4% a un 27%.

Estrada-Cajigal <sup>35</sup>, realizó una actualización de los mapas de irradiación, utilizando datos meteorológicos recopilados de 1941 a 1980 en 54 localidades. Con los resultados se trazaron mapas de isohelias para cada mes del año.

La encuesta de Bahm y Estrada-Cajigal <sup>36</sup> dio como resultado, que es este trabajo el más usado y por lo tanto, el de mayor aceptación por los profesionales en el campo de la energía solar en México,

Utilizando el modelo físico llamado DIM y publicado por Gueymard <sup>37</sup>, Bahm y Estrada-Cajigal <sup>36</sup> realizaron un estudio de la variabilidad espacial y temporal de la irradiación solar directa en México, en lo cual se necesitó los datos de nubosidad obtenidos del satélite. La falta de mediciones en superficie de radiación solar directa no ha permitido establecer la precisión de los resultados obtenidos. Por su parte, René et al. <sup>38</sup> utilizan el modelo Climatológico de Radiación Solar (CSR) desarrollado en el Laboratorio de Energías Renovables (NREL) y que requiere como datos de entrada valores de nubosidad obtenidos a partir de observaciones de superficie y satélites meteorológicos. La resolución es de 40 km×40 km, la cual es superior a cualquier otro trabajo de este tipo o red de medición de superficie. Este trabajo cuenta con una estadística de ocho años y se hicieron comparaciones con los resultados de otros trabajos para algunas localidades y puede apreciarse que es posible que la incertidumbre entre los datos sea de un 20%, sin embargo, se puede establecer que existe una correlación congruente con la información de satélites. De cualquier forma, la variación de un año a otro en los valores de la intensidad de la radiación solar, puede ser superior a este 20%.

Nuevamente, Estrada-Cajigal y Almanza <sup>39</sup> realizan una actualización de los mapas publicados anteriormente y en esta ocasión se incluyen además los datos de irradiación directa normal, directa y difusa diaria promedio mensual, así como los componentes correspondientes a una superficie con una inclinación igual a la latitud del lugar. Se incluye

---

además un software que permita conocer los valores de los diferentes componentes de la irradiación solar, con solo ingresar la latitud y longitud de la localidad de interés

No se puede dejar de mencionarse los trabajos de Fernández y Estrada-Cajigal <sup>30</sup> y el de Galindo y Cifuentes <sup>40</sup>, en los que se estima la irradiación solar en una base horaria promedio mensual. Una característica común a todos los estudios previos, es que en el proceso de interpolación y trazado de las isohelias, no se ha tomado en cuenta la topografía. Es un hecho que en regiones montañosas y costeras se presentan fuertes cambios climáticos en distancias cortas, trayendo como consecuencia que la validez de los datos interpolados sea cuestionable. Es por esta razón que Estrada-Cajigal y Rodríguez <sup>41</sup>, han venido trabajando en la utilización de metodologías con base en los sistemas de información geográficos, para poder hacer cálculos de la radiación solar que permiten incluir, entre otros, los efectos de sombreado a causa de la topografía. La relevancia del trabajo reside en que a diferencia de los estudios mencionados anteriormente, el trabajo de Estrada-Cajigal y Rodríguez <sup>42</sup> presenta información a partir de mediciones directas llevadas a cabo por la red de Estaciones Meteorológicas Automatizadas (EMAS) del Servicio Meteorológico Nacional y por primera vez se han trazado mapas de isohelias tomando en cuenta la topografía. Los resultados se comparan con los estudios previos del Instituto de Ingeniería (UNAM), Tarpley, NASA, SODA y Laboratorio de Energías Renovables (NREL).

Estrada-Cajigal y Rodríguez <sup>42</sup>, han venido desarrollando el sitio web HELIOGIS.COM, una herramienta accesible, fácilmente aplicable y con datos organizados que permitirá realizar estudios sobre las posibilidades de producción de energía térmica y eléctrica a partir de la energía solar. Una primera fase de aplicación es la presentación de los datos de radiación solar vía internet.

Castelli <sup>43</sup>, realizó una investigación comparando tres métodos prácticos para estimar la radiación solar en un clima seco con registros de temperatura y precipitación. Las tres ecuaciones son evaluadas mediante el estadístico, tanto la varianza como las diferentes correlaciones.

---

## 2.2. LA TEORÍA

Las características físico químicas de la atmósfera y el balance energético de la tierra vienen determinados en gran medida por los procesos de transferencia de masa y energía que transcurren en la atmósfera, procesos que merecen estudiarse con algo de detalle. El intercambio de energía entre atmósfera, hidrósfera y gestera se realiza en sus diversas formas: mecánica (cinética y potencial), química, calorífica y electromagnética. Esta última, proviene de la radiación solar y es la única fuente externa y juega un papel importante en la dinámica de la atmósfera.

La superficie terrestre y la atmósfera mantienen una temperatura templada y se debe a la energía solar. El sol y la tierra, son cuerpos calientes y como tales emiten radiación electromagnética, pudiendo aproximarse los espectros de sus radiaciones a los de un cuerpo negro, cuyo espectro viene dado por la ley de Planck <sup>44</sup>:

$$E_{\lambda, b}(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5 [\exp(C_2/\lambda T) - 1]} \quad (2.1)$$

Donde  $E_{\lambda, b}(\lambda, T)$  es la potencia emisiva espectral por unidad de superficie de la radiación emitida por la superficie del cuerpo negro en  $W/(m^2 \cdot \mu m)$ ,  $C_1 = 2\pi hc_0^2 = 3.742 \times 10^8 W \cdot \mu m^4/m^2$  y  $C_2 = hc_0/k = 1.439 \times 10^4 \mu m \cdot K$  son las constantes de irradiación,  $\lambda$  es la longitud de onda en  $\mu m$  y  $T$  es la temperatura absoluta en K. Los símbolos  $h = 6.6256 \times 10^{-34} J \cdot s$  y  $k = 1.3805 \times 10^{-23} J/K$  son las constantes universales de Planck y de Boltzmann, respectivamente y  $c_0 = 2.998 \times 10^8 m/s$  es la velocidad de la luz en el vacío.

La ley de Stefan- Boltzmann establece que un cuerpo negro emite radiación térmica con una potencia emisiva hemisférica total, proporcional a la cuarta potencia de su temperatura, la cual se puede obtener integrando la ecuación (2.1) <sup>44</sup>

$$E_b = \int_0^{\infty} \frac{C_1}{\lambda^5 [\exp(C_2/\lambda T) - 1]} d\lambda$$

---

Al integrar se puede mostrar que:

$$E_b = \sigma T^4. \quad (2.2)$$

Donde  $E_b$  es la potencia emisiva global por unidad de superficie de la radiación emitida por la superficie del cuerpo negro en  $W/m^2$  y  $\sigma = 5.670 \times 10^{-8} W/(m^2K^4)$  es la constante de Stefan- Boltzmann.

El valor de  $\sigma$  se necesita para calcular la constante solar  $K_s = 1367 W/m^2$ , la cual representa la cantidad de energía recibida en forma de radiación solar por unidad de tiempo y unidad de superficie, medida en la parte externa de la atmósfera terrestre en un plano perpendicular a los rayos del Sol.

El área de la tierra que intercepta la radiación solar en cada momento es  $\pi R^2$  que es la cuarta parte de la superficie total  $4\pi R^2$ , por lo tanto la cantidad de energía que llega a la tierra es  $1367/4$  que equivale a  $341.75 W/m^2$ . De esta cantidad el 26% es absorbido en la atmósfera. Una parte de la radiación ultravioleta (UV) por el  $N_2$  y el  $O_2$  en la termósfera y la otra parte por el  $O_3$  en la estratósfera y amplias porciones de la radiación infrarroja (IR) por el  $CO_2$  y el  $H_2O$  tanto en forma de vapor como en gotas de agua en la tropósfera. Un 30% es reenviado por reflexión de las nubes y de la superficie terrestre enviándose más por dispersión. A la superficie terrestre, llega un 44% al que se debe añadir 1% proveniente del manto caliente por los procesos de conducción y convección.<sup>39</sup>

Tres son los mecanismos de transporte de energía, los cuales se mencionan a continuación.

**Conducción.** La conducción se considera como la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia debido a las interacciones entre las mismas. El mecanismo físico de la conducción se explica más fácilmente considerando un gas y usando ideas que le sean familiares, propias de su experiencia en termodinámica. El gas puede ocupar el espacio entre dos superficies que se mantienen a diferentes temperaturas, se asocia la temperatura en cualquier punto con la energía de las moléculas del gas en la proximidad del punto. Esta energía está relacionada con el movimiento traslacional rotatorio, así como con

---

los movimientos internos de rotación y vibración de las moléculas. Las temperaturas más altas se asocian con las energías moleculares. Las temperaturas más altas se asocian con las energías moleculares más altas y cuando las moléculas vecinas chocan, como lo hacen constantemente, debe ocurrir una transferencia de energía de las moléculas más energéticas a las menos energéticas. En presencia de un gradiente de temperatura, la transferencia de energía por conducción debe ocurrir en la dirección de la temperatura decreciente. <sup>44</sup>

La situación es muy similar en los líquidos, aunque las moléculas están menos espaciadas y las interacciones moleculares son más fuertes y frecuentes. De igual manera, en un sólido, la conducción se atribuye a la actividad atómica en forma de ondas reticulares inducidas por el movimiento atómico. <sup>44,45</sup>

Como ejemplo de este mecanismo de transporte de energía, se considera un día invernal donde hay una pérdida significativa de una habitación caliente hacia el exterior, esta pérdida de energía se debe principalmente a la transferencia de calor por conducción a través de la pared que separa el aire de la habitación del aire exterior. Para la conducción de calor, la ecuación o modelo se conoce como *la ley de Fourier*. <sup>44</sup>

**Convección.** El modo de transferencia de calor por convección se compone de dos mecanismos. Además de la transferencia debida al movimiento molecular aleatorio (difusión), la energía también se transfiere mediante el movimiento global o macroscópico del fluido. El movimiento del fluido se asocia con el hecho de que, en cualquier instante, grandes números de moléculas se mueven de forma colectiva o como agregados. Tal movimiento, en presencia de un gradiente de temperatura, contribuye a la transferencia de calor. Como las moléculas en el agregado mantienen su movimiento aleatorio, la transferencia de calor se debe entonces a una superposición de transporte de energía por el movimiento aleatorio de las moléculas y por el movimiento global del fluido. Se acostumbra a utilizar el término convección cuando se hace referencia a este transporte acumulado. <sup>44,45</sup>

La transferencia de calor por convección se clasifica de acuerdo con la naturaleza del flujo. Se habla de *convección forzada* cuando el flujo es causado por medios externos, como una

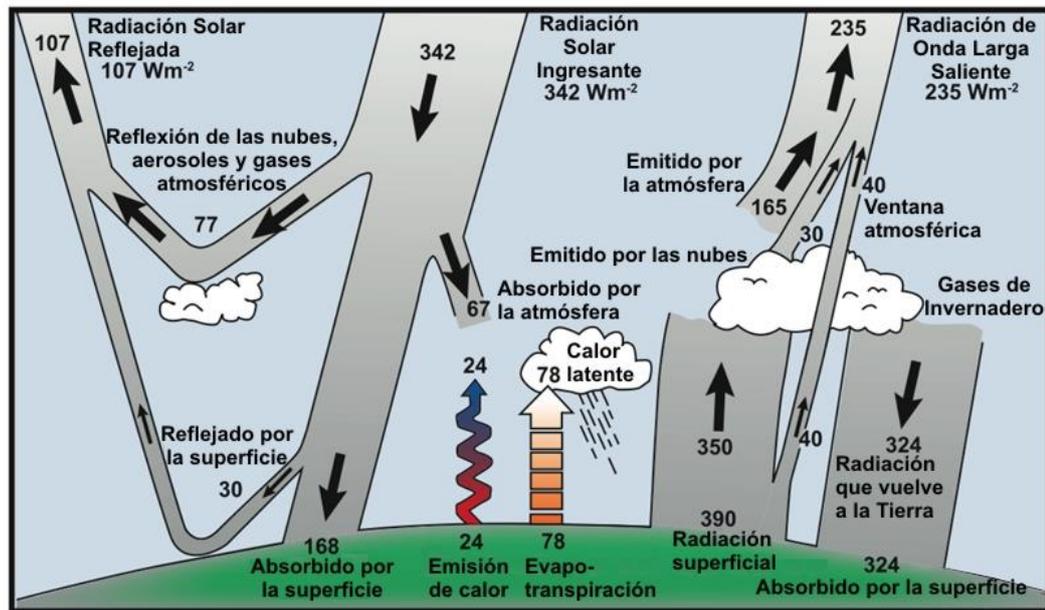
---

bomba un ventilador o vientos atmosféricos. En cambio la *convección libre o natural* el flujo es inducido por fuerzas de empuje que surgen a partir de diferencias de densidad ocasionadas por variaciones de temperaturas en el fluido. Sin importar la naturaleza particular del proceso de transferencia de calor por convección, la ecuación o modelo apropiado se conoce como la *ley de enfriamiento de Newton*. <sup>44, 45</sup>

**Radiación.** La radiación térmica es la energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura finita. Aunque centraremos nuestra atención en la radiación de superficies sólidas, esta radiación también puede provenir de líquidos y gases. Sin importar la forma de la materia, la radiación se puede atribuir a cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constitutivos. La energía del campo de radiación es transmitida por ondas electromagnéticas. Mientras la transferencia de energía por conducción o por convección requiere la presencia de un medio material, la radiación no lo precisa. De hecho la transferencia de calor por radiación ocurre de manera más eficiente en el vacío. La ecuación o modelo apropiado se conoce como la *ley Stefan- Boltzmann*. <sup>44, 45</sup>

El calor sensible depende la irradiación solar y es responsable de la temperatura máxima en el día debido a las ondas cortas, así mismo, por la noche la temperatura decrece hasta lo mínimo debido a las ondas largas. Este mecanismo físico está sujeto al modelo de Planck donde la energía se encuentra en función de la constante de Planck y la longitud de onda.

Como cualquier cuerpo caliente, la tierra emite energía, pero al ser su temperatura promedio de 290 K su espectro se encuentra en el IR con una longitud de onda máxima de 15000 nm. Como el H<sub>2</sub>O y el CO<sub>2</sub> absorben la radiación IR, casi el 50% es reemitida a la tierra en todas las direcciones donde es reabsorbida. De lo contrario la tierra se enfriaría hasta -18 °C en lugar de 15 °C por efecto invernadero. Seguidamente se aprecia el balance energético de la superficie terrestre y la atmosfera.



**Figura 2.1.** Balance energético de la tierra. <sup>44, 46</sup>

El calor latente es la energía requerida por una cantidad de sustancia para cambiar de fase, de sólido a líquido (calor de fusión) o de líquido a gaseoso (calor de vaporización). Se debe tener en cuenta que esta energía en forma de calor se invierte para el cambio de fase y no para un aumento de la temperatura.

Desde antes se usaba la expresión calor latente para referirse al calor de fusión o de vaporización. *Latente*, en latín, quiere decir *escondido*, y se llamaba así porque, al no notarse un cambio de temperatura mientras se produce el cambio de fase (a pesar de añadir calor), éste se quedaba escondido. La idea proviene de la época en la que se creía que el calor era una sustancia fluida denominada calórico. Por el contrario, el calor que se aplica cuando la sustancia no cambia de fase, aumenta la temperatura y se llama calor sensible.

Cuando se aplica calor a un trozo de hielo, va subiendo su temperatura hasta que llega a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (temperatura de cambio de estado); a partir de ese momento, aunque se le siga aplicando calor, la temperatura no cambiará hasta que se haya fundido del todo. Esto se debe al calor latente que se emplea en la fusión del hielo. Una vez fundido el hielo la temperatura volverá a subir hasta llegar a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; desde ese momento, la temperatura se mantendrá estable hasta que se evapore toda el agua.

---

Jaramillo <sup>46</sup>, realiza una reflexión sobre el papel climático que tiene la Amazonia Peruana, no solamente en el clima regional sino en el clima global, con mucho énfasis en su interacción con la Cordillera de los Andes. Esas dos regiones interdependientes conforman un sistema continuo: lo que sucede en una parte de ese sistema afecta todo el comportamiento del sistema en general.

La zona ecuatorial es muy importante para el clima global porque es la zona de mayor evaporación del mundo; tiene los vientos alisios del sureste y del noreste que se encuentran en la *zona de convergencia intertropical (ZCIT)*, una zona de alta nubosidad que oscila o migra latitudinalmente siguiendo la posición relativa del sol. Donde hay más zonas de calentamiento y evaporación superficiales hay más posibilidades para la generación de lluvia por condensación que libera calor latente, el cual es transportado hacia latitudes extratropicales por la circulación atmosférica de las celdas de Hadley, que opera sobre los hemisferios Norte y Sur. La lluvia es un proceso de calentamiento atmosférico que ocurre cuando el vapor del agua de las nubes pasa de estado gaseoso a estado líquido; esa transición de fases libera calor latente que deja la atmósfera más caliente.

Las celdas de Hadley constituyen un motor muy eficaz que transporta calor en la superficie desde los océanos hacia el ecuador y que exporta calor desde el ecuador hacia los extratropicos.

La liberación de calor latente por condensación constituye un componente muy importante del balance de energía en la atmósfera. Igual a lo que sucede cuando se arroja una piedra a un estanque, que desata un patrón de ondas viajeras, esa entrada de energía a la atmósfera, por condensación, genera ondas atmosféricas de muy grande extensión, llamadas ondas Rossby, que se propagan desde los trópicos hacia los extratropicos, encargadas de transportar “información climática”, por así decirlo. Parte de la importancia del papel de la Amazonia es la gran cantidad de lluvia sobre un territorio tan extenso, que constituye un insumo de calor latente para la atmósfera, y que hace desatar ondas planetarias tipo Rossby. Estas influencias climáticas a gran escala se denominan “teleconexiones”.

---

Para entender la importancia del ciclo hidrológico de la cuenca amazónica dentro del contexto global, debemos decir que en el suelo de la Amazonia se almacenan alrededor de 7000 km<sup>3</sup> de agua. Los intercambios de agua entre el suelo y la atmósfera indican que la relación entre las tasas de precipitación y evapotranspiración en la Amazonia es del orden de 50%, lo que quiere decir que más o menos la mitad de la lluvia que cae en la cuenca amazónica es generada por evapotranspiración del bosque tropical mismo.

El bosque natural es un mecanismo muy eficaz de reciclaje de la precipitación. Desde allí se comienzan a entender los problemas asociados con la deforestación; al alterar todo el ciclo hidrológico se corta o se perturba el proceso de evapotranspiración, que a su vez incide sobre la precipitación reciclada (con origen en evapotranspiración local). Los estudios con trazadores isotópicos capaces de identificar las fuentes de agua lluvia, indican que una gota de lluvia puede “saltar” entre 5 a 7 veces desde los Andes hasta llegar al océano Atlántico en su trayecto a través de la Amazonia. Es necesario mantener la integridad del bosque amazónico porque, si se deforesta, ese circuito de retroalimentación entre los Andes y la Amazonía se puede ver gravemente perturbado y puede dar lugar a colapsos del sistema climático de la región suramericana y del planeta.

En la región amazónica se presentan precipitaciones anuales promedio entre 1200 y 6400 mm/año, con las regiones más lluviosas en la Amazonia colombiana y sobre el piedemonte andino colombiano, peruano y ecuatoriano.<sup>47</sup>

Una parte de esas lluvias se convierte en escorrentía superficial drenando hacia el océano Atlántico, formando parte de los  $2 \times 10^5$  m<sup>3</sup>/s que mencionamos como caudal promedio anual del río Amazonas. En su mayor parte son aguas generadas en la cordillera de los Andes; de allí comenzamos a entender cómo opera ese mecanismo de retroalimentación de doble vía. Por supuesto que la precipitación no está distribuida de la misma manera en el año. La temporada de mayor precipitación se da como resultado de la migración de la ZCIT, entre noviembre y febrero.

---

### 2.2.1. Irradiación solar extraterrestre

Para calcular la irradiación solar extraterrestre diaria o valor de la radiación solar en la parte superior de la exósfera, solamente se requiere algunos datos de entrada, específicamente, la latitud del lugar en grados y el día del año. <sup>48</sup>

La fórmula para calcular es la siguiente:

$$H_0 = 37.59E_0[\cos R \cos S \sin T + T \sin S \sin R]. \quad (2.3)$$

Donde  $H_0$  es la irradiación solar extraterrestre diaria en MJ/(día. m<sup>2</sup>), 37.59MJ/(día. m<sup>2</sup>) es la constante solar,  $E_0$  es el factor de excentricidad de la órbita terrestre sin dimensiones,  $R$  es la latitud del lugar en rad,  $S$  es la declinación solar en rad y  $T$  es el ángulo horario solar en rad.

Los valores de  $E_0$ ,  $S$  y  $T$  se calculan como se indica a continuación:

$$S = 23.45 \sin \left[ 2\pi \frac{(284 + n)}{365} \right]. \quad (2.4)$$

Donde  $n$  representa el día del año y  $S$  resulta en grados sexagesimales.

$$E_0 = 1 + 0.33 \cos(0.0172n). \quad (2.5)$$

$$T = \cos^{-1}(-\tan R \tan S). \quad (2.6)$$

### 2.2.2. Otros modelos matemáticos

Cuando los datos de la radiación solar no son accesibles, es posible estimar la radiación solar usando los modelos propuestos. Un método ampliamente usado está basado en relaciones empíricas de la radiación solar y medidas simples de las variables meteorológicas. En la literatura hay varios métodos empíricos para evaluar la irradiación global, presentaremos los más importantes.

---

**El modelo de Hargreaves and Samani.** Fueron los primeros de sugerir que la radiación solar incidente o irradiación solar en la superficie terrestre, podría ser evaluado mediante la diferencia entre la temperatura máxima y mínima diaria. La ecuación matemática es la siguiente <sup>49</sup>:

$$H = H_0 \alpha (T_{\max} - T_{\min})^{\frac{1}{2}}. \quad (2.7)$$

Donde  $H$  es la irradiación solar en la superficie terrestre en MJ/(día. m<sup>2</sup>),  $H_0$  es la irradiación solar extraterrestre,  $\alpha$  es el coeficiente empírico y  $T_{\max}$  y  $T_{\min}$  son las temperaturas máxima y mínima, respetivamente. Inicialmente, el valor de  $\alpha$  fue de 0.17 para regiones áridas y semiáridas. Hargreaves <sup>50</sup> luego recomendó usar el valor de 0.16 para regiones en el interior y 0.17 para regiones costeras.

**El modelo de Annandale.** Este modelo desarrollado por Annandale et al. <sup>51</sup> modifica el modelo de Hargreaves-Samani en el cual, incluye una corrección y considera la altitud  $R$ .

$$H = H_0 \alpha (1 + 2.7 \times 10^{-5} R) (T_{\max} - T_{\min})^{\frac{1}{2}}. \quad (2.8)$$

**El modelo de Bristow and Campell.** Describe la radiación solar diaria como una función asintótica exponencial para un rango de temperatura diaria. <sup>52</sup> En este modelo la irradiación solar diaria  $H$  y la diferencia de la temperatura  $\Delta T$  se describe como:

$$H = H_0 a [1 - \exp(-B_b \Delta T^{C_b})]. \quad (2.9)$$

Donde  $\Delta T = T_{\max} - T_{\min}$  es la diferencia de temperatura en °C  $C_b$  y  $B_b$  son los coeficientes empíricos los cuales se calculan como se indica a continuación:

$$C_b = 0.00432 - 0.00144 \Delta T + 1.15148 \exp(R). \quad (2.10)$$

$$B_b = 0.107 C_b^{-2.6485}. \quad (2.11)$$

---

El coeficiente  $a$  representa el valor máximo del coeficiente de la transmitancia de la atmosfera y es característico del área de estudio y depende de los gases en la atmosfera y de la elevación.

Los coeficientes  $B_b$  y  $C_b$  determinan los efectos del incremento de la diferencia de la temperatura máxima en la transmitancia atmosférica. Estos difieren de ambientes secos o húmedos.

El modelo ha sido usado en numerosos estudios y probado. Su exactitud requiere de datos simples y permite ser una herramienta ideal para estimar la irradiación solar terrestre en lugares donde no es accesible la medición de la irradiación solar extraterrestre.

Es obvio que el factor límite en este modelo es la confiabilidad de los coeficientes empíricos. Estos coeficientes empíricos pueden ser determinados mediante los datos de la radiación solar extraterrestre.<sup>53</sup>

### **2.2.3. Nubosidad**

La nubosidad es la fracción de cielo cubierto con nubes, en un lugar en particular. Según las normas meteorológicas actuales, la nubosidad se expresa en octas, u octavos de la bóveda celeste. Ésta es dividida en 8 partes por el operador, quien evalúa entonces el número de esas partes que están cubiertas por las nubes. De este modo se puede estimar el rango de visibilidad del observador. El principal problema asociado con este método, es que no se pueden hacer mediciones bajo condiciones de visibilidad muy baja (por ejemplo, en caso de niebla) o la dificultad para estimar la correcta cobertura fraccional del cielo por nubes cercanas al horizonte visual. Gracias a los satélites meteorológicos es posible calcular la nubosidad con mucha más precisión, aunque aun así en algunas nubes muy delgadas pueden escapar de la detección satelital.

La nubosidad es máxima en invierno y mínima en verano. Durante el día suele ser máxima alrededor de las 14 horas, momento de máxima ascendencia del aire. Si se considera la

---

latitud, las zonas de máxima nubosidad están en la zona ecuatorial y las de mínima nubosidad en las regiones polares. <sup>54-55</sup>

Cuando el cielo está cubierto de nubes, se dice que está nublado. Esta condición tan frecuente se conoce como nubosidad e implica que el sol aparece oculto a la vista de un observador. Cabe recordar que una nube está formada por gotas de agua o por cristales de nitrógeno que se encuentran en la atmósfera. <sup>47</sup>

#### 2.2.4. El clima en la Amazonía

La clasificación climática de Köppen, también llamada *de Köppen-Geiger* consiste en una clasificación climática mundial que identifica cada tipo de clima con una serie de letras que indican el comportamiento de las temperaturas y precipitaciones, así, para la región de la Amazonía se caracteriza por tener un clima Af–Ecuatorial <sup>56</sup>, donde las lluvias están repartidas a lo largo del año por lo que no hay una estación seca, ya que todos los meses superan los 60 mm. Se da en las zonas cercanas al ecuador terrestre, como sectores de la cuenca amazónica, América Central, África Ecuatorial y el sudeste Asiático. Como excepción, se da en algunos sectores de la Costa Atlántica Brasileña alejados del Ecuador.

Este clima se caracteriza por ser un clima de alta vegetación verde, además de ser uno de los más húmedos, cuenta con distintas plantas y especies vegetales.

- **Flora.** Se compone de distintos niveles de altura, es decir, existen árboles que superan los 30 m; en este nivel es común ver aves como el águila; existen árboles de altura media, en estos niveles se pueden observar felinos como el jaguar; en los niveles bajos como arbustos y pastos se ven distintas aves como el flamenco; en el subsuelo habitan armadillos y reptiles, así como microorganismos.
- **Fauna.** Cuenta con una gran cantidad de especies, el pelaje de algunos es cafcino o pardo, esto ayuda a los animales a camuflarse y confundirse con la vegetación seca o de color café. La piel de los reptiles es verde para confundirse con la vegetación verdosa, los animales pequeños como insectos no se pueden distinguir a simple vista, ya que son verdosos y cafcinos.

- 
- **Características.** En este clima existen lluvias abundantes por la evaporación del agua contenida en las plantas.

Existen niveles de altura en la vegetación por la fotosíntesis que realizan algunos árboles, unos necesitan más energía que otros, esto hace que unos se sobrepongan sobre otro.

La vegetación es verde porque parte de la vegetación muda de hojas es una temporada corta, mientras que la mayoría está verde.

---

# CAPÍTULO III

## LA METODOLOGÍA

### 3.1. EL TIPO DE INVESTIGACIÓN

Es experimental propiamente dicho, debido a la manipulación de datos de latitudes y temperaturas mínimas y máximas en el ámbito de la Amazonía Peruana específicamente de las estaciones meteorológicas de Iquitos, Nauta y Tamshiyacu, haciendo uso del modelo matemático de Kleim para la determinación de la irradiación solar extraterrestre y de Bristow Campbell <sup>52</sup> para determinar la irradiación solar en la superficie terrestre, recomendado por Baigorria G. del SENAMHI <sup>26</sup> para el Perú.

### 3.2. EL DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Los diseños que se ajustan a un estudio en el marco de una evaluación tecnológica son del tipo descriptivo y explicativo donde la muestra es observada.

El esquema para el diseño descriptivo es el siguiente:

$$M \rightarrow O. \tag{3.1}$$

Donde M es el modelo virtual propuesto del estudio y O es la observación general.

### 3.3. POBLACION Y MUESTRA

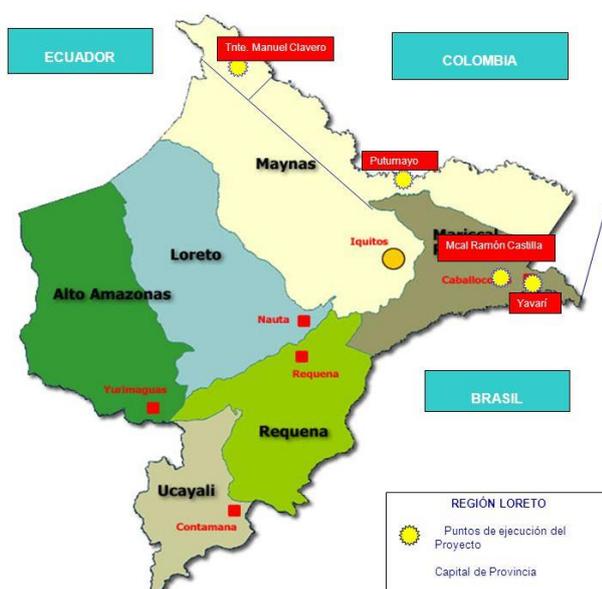
La población del estudio comprende 51 estaciones instaladas del SENAMHI-Loreto en la región de la Amazonía Peruana siendo para el caso específico del estudio, la selección de tres estaciones meteorológicas experimentales de Iquitos, Nauta y Tamshiyacu, los cuales tienen registros de las temperaturas mínimas y máximas y nubosidad.

En la foto satelital (figura 3.1), se muestran las estaciones meteorológicas que tiene a cargo el SENAMHI-Loreto. Las marcadas de color blanco son las estaciones que registran



Loreto está dividido en 8 provincias y 51 distritos, en los cuales habitan 705 de las 1786 comunidades indígenas existentes a nivel nacional.

El territorio de la región Loreto pertenece al denominado "Llano Amazónico", cuya altitud más baja es de 61 msnm y la más alta 220 msnm donde se pueden distinguir dos tipos de terrenos: aluvial y colinoso, en los cuales se identifican islas, playas, orillares, meandros, terrazas y colinas bajas.<sup>57</sup>



**Figura 3.2.** Mapa de la región Loreto actual con sus 8 provincias.<sup>57</sup>

### 3.4.1. Clima

En la Región Loreto, el clima es cálido, húmedo y lluvioso, con una temperatura promedio anual mínima de 22 °C y máxima de 32 °C, variando excepcionalmente a un mínimo de 17 °C algunos días entre Junio y Julio y a un máximo de 36 °C entre octubre y enero. La humedad relativa del aire marca 84%, con ligeras variaciones y la precipitación pluvial promedio está entre los 2000 y 3000 mm anuales.

---

### 3.4.2. Riesgos naturales

Los principales riesgos naturales que sufre la Amazonía Peruana son por las crecientes de los ríos en época de invierno y las sequías en épocas de verano. El río Amazonas, considerado el más importante en la región tiene características hidrológicas siguientes:

**Tabla 3.1.** Características hidrológicas promedio 1969-2012. <sup>58</sup>

<b>Nivel</b>	<b>Cota</b>	<b>Unidad</b>	<b>Fecha</b>
Máximo	118.97	msnm	Abril 2012
Normal	112.08	msnm	
Mínimo	105.38	msnm	Octubre 2010
Alerta roja	117.00	msnm	

## 3.5. DESCRIPCIÓN ESPECÍFICA DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO

### 3.5.1. Área de estudio de Iquitos

Iquitos es la capital de la Provincia de Maynas. Es una ciudad situada en el área noreste de la Amazonía Peruana. Tiene a su alrededor los distritos de Punchana, Belén y San Juan Bautista. Está considerada como la ciudad más grande de la Amazonía Peruana y la sexta ciudad más poblada del Perú.



**Figura 3.3.** Vista panorámica del centro de la ciudad de Iquitos.

---

Iquitos es la capital de la Provincia de Maynas y de la región Loreto. Está rodeada por el lago de Morona cocha, los ríos Nanay e Itaya, muy cerca del río Amazonas y asentada en la Gran Planicie.

El SENAMHI- Loreto cuenta con una estación meteorológica experimental donde se registra temperaturas, horas de brillo solar, humedad y precipitación pluvial mediante un sistema convencional.



**Figura 3.4.** Estación meteorológica experimental Amazonas en Iquitos.

La ciudad de Iquitos tiene una población de 422,055 habitantes, los que viven en el área metropolitana. <sup>59, 60</sup> Oficialmente, recibe el nombre de Capital de la Amazonia Peruana.

### **Actividades económicas**

Las principales actividades económicas en la ciudad de Iquitos son de tipo comercial y turístico.

### **Clima**

Acostumbrado escenario lluvioso en Iquitos a inicios de abril, durante la etapa más húmeda de su estación lluviosa.

---

Bajo la clasificación climática de Köppen, Iquitos experimenta un clima ecuatorial (Af).<sup>61</sup> A lo largo del año tiene precipitaciones constantes por lo que no hay una estación seca bien definida, y tiene temperaturas que van desde los 21 °C a 33 °C. La temperatura promedio anual de Iquitos es 26.7 °C. La lluvia promedio en Iquitos es 2,616.2 mm por año.<sup>62</sup> Debido que las estaciones del año no son sensibles en la zona ecuatorial, Iquitos tiene exclusivamente dos estaciones: invierno y verano.

Tiene un lluvioso invierno, que llega en noviembre y termina en mayo, con marzo y abril tendiendo a incluir el clima más húmedo. Las precipitaciones alcanzan alrededor de 300 mm y 280 mm, respectivamente. En mayo, el río Amazonas, uno de los ríos circundantes de la ciudad, alcanza sus niveles más altos, cayendo constantemente unos 9 m o 12 m a su punto más bajo en octubre, y luego aumenta de manera constante cíclicamente.

El verano ofrece un clima muy diferente. A pesar de que julio y agosto son los meses más secos, se mantienen algunos períodos de aguaceros. Los días soleados y el buen tiempo son usuales, y es aprovechado para secar las cosas, alcanzando temperaturas elevadas de 30 °C y como promedio 32 °C.<sup>63</sup> Las precipitaciones sentidas a lo largo de los años son más abundantes que las de Ayacucho, Cusco y Lima.<sup>64</sup>

Iquitos también experimenta microclimas: la lluvia o garúa puede estar presente en algunas zonas de los distritos, mientras otros lugares de la ciudad se encuentran ligeramente nublados o despejados. La temperatura varía de un momento a otro. El clima urbano es ligeramente más cálido que el clima natural, y estaría reflejado por la sensación térmica. También sufre un fenómeno urbano llamado isla de calor, donde el calor tiene una dificultad en disiparse en las horas nocturnas.

A pesar de tener un clima ecuatorial, Iquitos pasó por climas muy raros: nevó en 1976, 1977, 1994 y 1997,<sup>65</sup> mientras registró caída de granizo blando en 1976, 1979, 1980, 1982, 1983, 1988, 1889, 1991, 1997, 2006, 2008-2011.<sup>66</sup> En julio de 2000, se registró el enfriamiento más extremo en Iquitos: la temperatura descendió increíblemente hasta los 9 °C, obligando a la población estar muy abrigada.<sup>67, 68</sup>

---

En el 2012, ocurrieron las inundaciones más importantes en Iquitos que alertaron a la población y afectaron zonas ribereñas y varias poblaciones de su área metropolitana, que tiene una geografía inundable y pluviosa. Las inundaciones del 2012 fueron consideradas como el desastre natural más histórico para Iquitos hasta la fecha. El clima húmedo en Loreto llevó aguaceros y lloviznas, causando daños e inundaciones a la región de Loreto desde noviembre del 2011. El clima lluvioso continuó hasta inicios del 2012 y aumentó el nivel de agua en el río Amazonas (extensa corriente de agua que alimenta la mayoría de los afluentes loretanos hasta 117 msnm). Desde febrero y marzo, varios pueblos fueron afectados (19,209 familias damnificadas y 18,400 afectadas), 26 mil hectáreas de cultivo fueron inundados y el nivel del agua alcanzó calles costeras de Iquitos. El 24 de abril del 2012, la creciente perdió intensidad, e inició la primera etapa de vaciante.

Otros riesgos naturales son las olas de calor que pueden llegar a más de 37° C con una sensación térmica de 45° C que es provocado por la poca humedad en días despejados.<sup>69</sup> Las olas de frío son también momentos climáticos curiosos en la temperatura iquiteña: el aire frío procedente del extremo sur del continente movido por la dinámica de la atmósfera, llega a la ciudad y provoca un descenso de la temperatura, lluvias moderadas y tormentas eléctricas.<sup>70</sup> Los vientos alisios también llegan a provocar los ventarrones que llega a 60 km/h.<sup>71</sup> En octubre del 2012, Iquitos experimentó temperaturas elevadas y tormentas eléctricas intensas.<sup>72</sup>

### **3.5.2. Área de estudio de Nauta**

Nauta es el distrito capital de la provincia de Loreto. Es una apacible y acogedora ciudad situada en el área noreste de la Amazonía Peruana, aproximadamente a 100 km al sur de Iquitos capital de la región Loreto, que tiene los centros poblados de San Joaquín de Omaguas, San Regis y Miraflores. La ciudad es conocida actualmente por estar cerca de la confluencia de los ríos Marañón y Ucayali, lugar donde se forma el río Amazonas. Está a orillas del río Marañón. Flanqueada por dos pequeños ríos: Gasparcito y Zaragoza. Su territorio presenta una topografía ondulada con dos zonas fisiográficas bien definidas: la zona de altura o bosques de secano y la zona baja, llamado bajeal o barzas conformado por terrenos de islas del río Marañón. Su clima es muy similar a la ciudad de Iquitos.



**Figura 3.5.** Vista de la ciudad de Nauta.

El SENAMHI- Loreto cuenta con una estación meteorológica experimental donde se registra temperaturas y precipitación pluvial mediante un sistema convencional.



**Figura 3.6.** Estación meteorológica experimental de Nauta.

---

## **Población**

La población de Nauta asciende a la fecha con 28 681 habitantes en el área urbana y urbano marginal.

## **Actividades económicas**

Sus principales actividades son: el comercio, la pesca, la agricultura, la extracción de madera y frutos del bosque.

## **Clima**

El clima es tropical en Nauta. Hay precipitaciones durante todo el año en Nauta. Hasta el mes más seco aún tiene mucha lluvia. De acuerdo con Köppen y Geiger el clima se clasifica como Af. La temperatura media anual en Nauta se encuentra a 26.6 °C. La precipitación es alrededor de 2448 mm.

El mes de julio es el mes más seco del año con una precipitación pluvial entre 115 mm y 261 mm, mientras que la caída media es, en el mes de abril, mes en el que tiene, las mayores precipitaciones del año.

El mes más caluroso del año es noviembre con un promedio de 27.2 °C. El mes de julio es el mes más frío del año con temperatura promedio de 25.7 °C.

La diferencia en la precipitación entre el mes más seco y el mes más lluvioso es de 146 mm. Las temperaturas medias varían durante el año en un 1.5 °C.

### **3.5.3. Área de estudio de Tamshiyacu**

Tamshiyacu es la capital del Distrito Peruano de Fernando Lores en la Provincia de Maynas. Es uno de los 13 distritos de esta Provincia, ubicado en el Departamento de Loreto, perteneciente a la Región Loreto. Se encuentra situada a 480 msnm y a una hora de la ciudad de Iquitos.



**Figura 3.7.** Vista de la ciudad de Tamshiyacu.

El SENAMHI-Loreto cuenta con una estación meteorológica experimental, donde se registran datos de temperatura mínima y máxima y precipitación pluvial. El sistema de registro es de tipo convencional.



**Figura 3.8.** Estación meteorológica experimental de Tamshiyacu.

---

## **Población**

El registro actual registrado por el INE, Tamshiyacu cuenta con 21, 127 habitantes.

## **Actividades económicas**

La pesca, la agricultura, la recolección de frutos del bosque, sus cultivos emblemáticos son la piña y el humarí.

## **Clima**

El clima es tropical en Tamshiyacu. Hay precipitaciones durante todo el año. Hasta el mes más seco aún tiene mucha lluvia. De acuerdo con Köppen y Geiger su clima se clasifica como Af. La temperatura media anual en Tamshiyacu se encuentra a 26.5 °C. La precipitación es de 2738 mm al año.

El mes más seco es agosto, con 164 mm a 310 mm, mientras que la caída media en marzo es. El mes en el que tiene las mayores precipitaciones del año.

El mes más caluroso del año con un promedio de 27.2 °C de noviembre. El mes más frío del año es de 25.5 °C en el medio de julio.

## **3.6. EL SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE LA IRRADIACIÓN SOLAR PARA LA AMAZONÍA**

### **3.6.1. La plataforma de LabVIEW**

LabVIEW es un software de programación como cualquier otro lenguaje de programación (C, C++, Visual C, etc.) basado exclusivamente en elementos gráficos y no en texto, que simplifican notablemente el desarrollo de aplicaciones, minimizándose el tiempo de programación. LabVIEW parte del concepto de programación orientada a objeto (OOP) donde datos y procedimientos se hallan representados en una estructura llamada objeto, accediendo a los datos únicamente a través de los procedimientos contenidos en el objeto.

---

Muchos de los lenguajes OOP son secuenciales, mecanismo que coincide con el procedimiento usual de la llamada sub-rutina y retorno. Siendo la concurrencia característica intrínseca de los sistemas de medida en tiempo real, se deberá elegir un lenguaje concurrente, donde los objetos en tiempo real se comuniquen con otros mediante mensajes asíncronos. Así los objetos son modelados como máquinas de estados finitos que evolucionan a través de un conjunto de fases, donde en cada momento habrá una función operativa.<sup>73</sup>

LabVIEW, conocido también como programación G, contiene una extensa librería de funciones para algunas tareas de programación entre las que se incluyen la adquisición de datos, el control de instrumentos GPIB y serial, el análisis, la presentación y el almacenamiento de datos. También incluye una serie de herramientas con las cuales permite construir los paneles frontales y operar el sistema.

### **3.6.2. Descripción del software elaborado (SISA)**

El diseño del SISA tiene dos paneles, uno frontal y otro de diagrama. En el **panel frontal** se encuentran los controles e indicadores. En el lado superior izquierdo se encuentra un control de ubicación del lugar, en él se encuentra prefijado los lugares de Iquitos, Nauta y Tamshiyacu, que al ser seleccionados en el indicador de la parte inmediata inferior nos muestra su latitud correspondiente. A su costado se encuentra un botón de control de inicio de la simulación cuando se ha establecido todo lo requerido.

Más abajo, se encuentra una tabla de control donde nos permite seleccionar si la simulación lo haremos en un día, un mes o en un año. Además de una tabla de datos de entrada de las temperaturas mínimas y máximas.

En la parte media del panel frontal se encuentra un indicador gráfico donde se muestra la evolución de la simulación de la irradiación solar.

En el lado derecho, parte superior se encuentra un indicador que muestra la ubicación y el día, el mes o el año que se está simulando.

Abajo, se encuentra una tabla indicador donde se muestran los valores resultados del proceso operacional con el modelo matemático de Bristow – Campbell, los días del año, la irradiación solar en las unidades MJ/(m<sup>2</sup>día) y los coeficientes empíricos de transmitancia.

Por último en la parte central inferior, se encuentra un indicador de registro donde señala en qué dirección se guardó la información procesada. El sistema tiene una base de datos diario, mensual y anual. La siguiente figura muestra el panel frontal después de ejecutar el proceso operacional. Habiendo seleccionado para esta muestra como ubicación, la estación meteorológica experimental Amazonas (Iquitos) con datos de temperatura mínima y máxima para el año 2010.

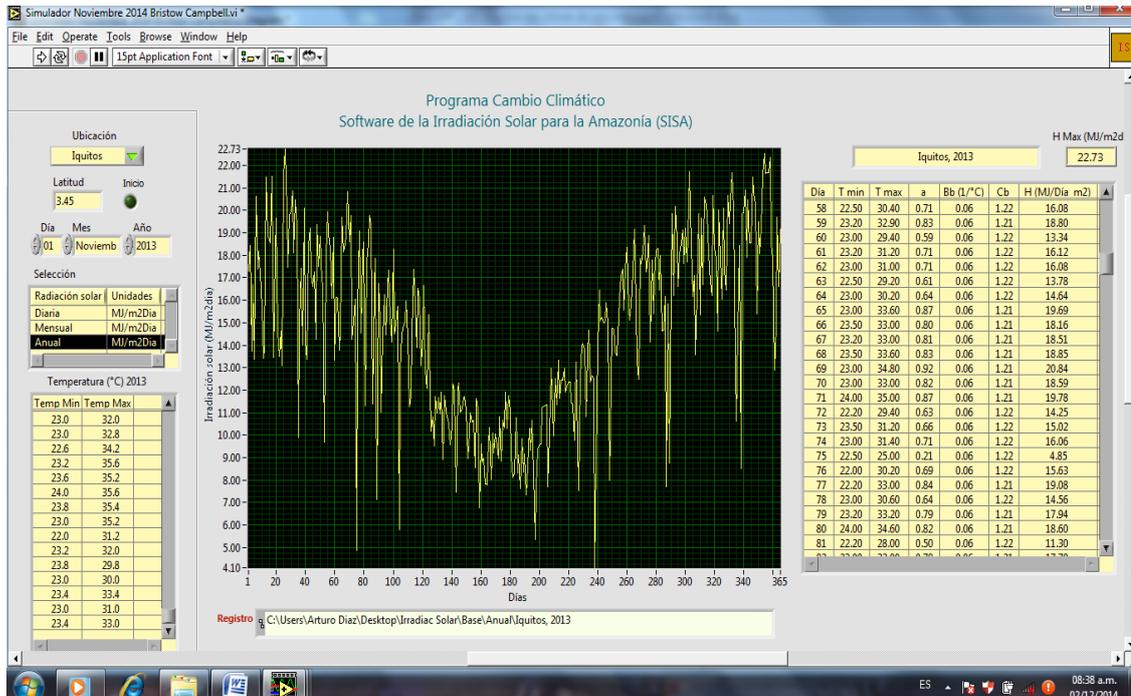


Figura 3.9. Panel frontal del software SISA.

El panel diagrama, muestra principalmente el algoritmo, donde se aprecian los términos numéricos que expresan los modelos matemáticos de Kleim para determinar la radiación solar y de Bristow-Campbell para determinar la irradiación solar. También se aprecian los operadores aritméticos de multiplicación y división, los nodos de concadenar strings, los

---

diferentes conectores de construcción de arrays, booleanos, tablas y gráficos, transposición de números, botones de diálogo, funciones de tiempo en espera, constructor de direcciones y ejecutor de Excel.

En este estudio se ha optado por los modelos matemáticos de Klein para determinar la irradiación solar extraterrestre y de Bristow-Campbell para la irradiación solar terrestre. En el modelo de Klein solo es necesario como datos de entrada la latitud del lugar y el día del año. Para el modelo de Bristow-Campbell son necesarios los datos de temperaturas mínimas y máximas además de los coeficientes empíricos de la transmitancia atmosférica  $a$  y del efecto de la diferencia de las temperaturas  $B_b$  y  $C_b$ .

En este modelo, la temperatura máxima decrece con la reducción de la transmitancia, mientras que la temperatura mínima se incrementa debido a la emisividad de las nubes.

Cuando el cielo está limpio se incrementa la temperatura máxima debido a la mayor longitud de onda corta y la temperatura mínima decrece a la mayor transmitancia.

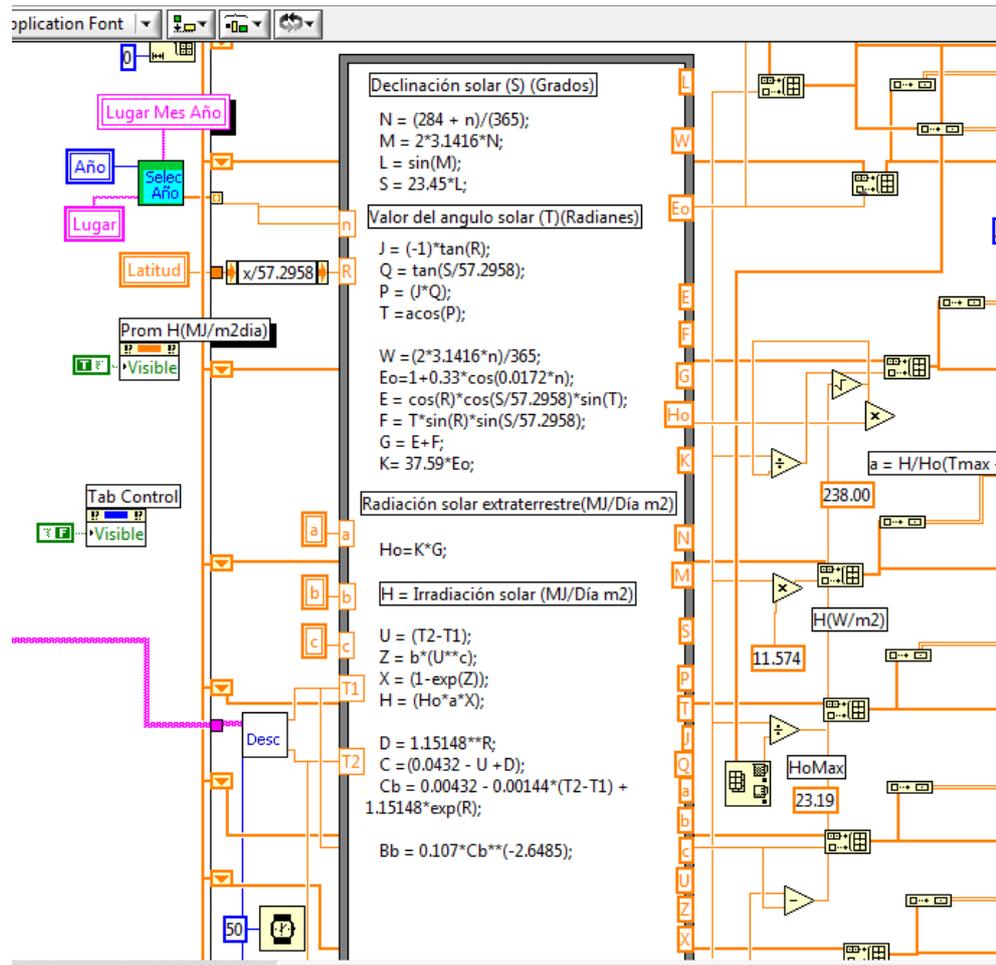


Figura 3.10. Panel de diagrama del software SISA.

### 3.6.3. Registro de temperaturas mínimas y máximas 2003 – 2013 y cálculos para el proceso de evaluación del software SISA

Las temperaturas mínimas y máximas fueron tomados del registro del SENAMHI- Loreto dentro del periodo 2003 y 2013 (11 años), que representan 12045 datos para ser procesados, que es necesario hacer un control de calidad de los datos para reducir los errores de instrumentación, lectura, transcripción, o ausencia de los observadores de las estaciones experimentales de estudio. Es necesario conocer los promedios mínimos y máximos, la media correspondiente de cada año y su desviación.

**Tabla 3.2.** Estación climatológica ordinaria Amazonas 2003-2013.

		Temperatura mínima °C										
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
ENE	Media	23.45	23.26	23.75	22.72	23.30	23.10	23.05	23.06	23.38	22.58	22.97
	Mínima	22.00	21.00	21.50	21.40	20.00	21.40	22.00	22.30	22.00	20.00	20.00
	Máxima	25.00	25.50	25.50	25.30	24.80	25.30	24.30	24.00	24.40	23.50	25.00
FEB	Media	23.35	22.58	23.06	23.47	24.07	22.95	22.84	23.27	22.94	22.55	22.96
	Mínima	20.00	20.50	22.00	21.80	21.20	22.00	22.00	22.40	21.40	20.20	22.00
	Máxima	24.80	24.50	24.80	24.70	25.40	24.30	23.50	24.20	24.20	23.80	24.50
MAR	Media	23.05	22.76	23.31	23.22	22.24	22.90	23.01	23.16	22.81	22.55	22.95
	Mínima	21.80	21.00	22.40	22.00	20.20	21.80	22.00	22.40	21.20	19.80	22.00
	Máxima	25.00	24.00	24.80	24.40	25.00	24.20	24.00	24.00	23.80	23.40	24.00
ABR	Media	23.28	23.11	23.25	23.06	23.22	22.98	22.75	23.09	22.98	23.05	22.41
	Mínima	21.00	21.00	21.20	21.00	21.50	21.00	21.50	22.60	21.00	22.00	19.50
	Máxima	24.50	24.50	24.70	24.50	24.60	24.50	23.60	24.00	24.00	23.80	24.00
MAY	Media	22.43	22.18	23.43	21.94	22.40	22.74	22.91	22.91	22.48	23.02	22.70
	Mínima	20.00	19.70	22.30	20.50	18.00	20.20	22.20	19.60	20.80	21.10	21.00
	Máxima	24.50	23.50	24.20	24.00	24.30	24.10	23.80	25.00	23.60	23.50	23.80
JUN	Media	22.88	21.62	22.79	22.31	22.57	21.48	22.49	22.73	22.62	22.36	22.56
	Mínima	20.00	18.50	20.80	21.00	21.20	19.20	20.60	19.50	20.60	18.20	22.00
	Máxima	25.00	23.40	23.50	23.50	23.60	23.80	23.40	23.60	23.60	23.80	23.80
JUL	Media	22.03	21.66	21.55	22.00	22.08	21.72	22.50	21.78	22.27	22.20	21.87
	Mínima	18.20	19.80	18.50	20.00	17.20	20.60	20.20	15.00	20.20	20.00	16.20
	Máxima	24.00	23.00	23.70	23.50	23.60	23.20	23.20	23.60	23.20	23.80	23.30
AGO	Media	22.25	21.40	22.08	21.52	22.36	22.34	22.75	22.50	21.63	22.51	21.62
	Mínima	20.00	19.20	19.20	19.20	21.00	21.10	20.20	19.50	18.40	20.00	18.40
	Máxima	23.50	22.60	23.80	23.50	23.90	24.20	24.20	23.60	23.40	25.00	23.40
SET	Media	22.15	21.97	22.04	22.02	22.64	22.11	23.09	23.15	22.09	22.27	22.60
	Mínima	17.00	19.30	17.20	18.70	21.60	20.10	20.20	21.20	20.00	18.00	21.00
	Máxima	24.00	23.80	24.50	24.00	24.00	24.50	24.40	25.40	23.70	24.50	24.20
OCT	Media	23.28	22.96	23.13	23.32	22.94	22.07	23.05	23.35	22.84	22.74	22.61
	Mínima	21.50	21.40	21.70	20.80	21.00	20.20	21.80	22.00	22.00	21.80	21.00
	Máxima	24.00	24.70	24.50	24.60	24.80	23.60	24.40	28.60	24.00	24.00	24.00
NOV	Media	23.20	23.47	23.38	23.32	23.41	22.98	23.26	22.90	23.00	22.89	23.07
	Mínima	22.00	22.00	21.30	20.40	22.10	21.50	22.20	21.00	21.40	22.00	21.40
	Máxima	25.00	25.20	24.70	28.00	24.40	28.60	24.20	25.00	23.80	24.50	24.20
DIC	Media	22.66	23.50	22.55	23.18	23.55	23.46	22.97	22.49	22.73	22.61	22.99
	Mínima	21.00	22.50	21.00	22.00	21.90	21.70	22.20	20.40	21.20	20.20	21.00
	Máxima	24.60	24.80	24.00	25.00	24.60	24.60	23.80	24.20	23.40	23.60	24.00

**Tabla 3.3.** Estación climatológica ordinaria Amazonas 2003-2013.

		Temperatura máxima °C										
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
ENE	Media	31.9	33.8	32.9	31.7	31.7	31.3	31.0	33.0	32.7	30.8	31.6
	Mínima	26.2	28.0	28.5	27.5	29.6	26.5	26.8	28.0	26.4	25.2	28.4
	Máxima	34.5	37.0	35.2	35.2	35.6	35.2	34.8	35.8	36.2	33.0	35.2
FEB	Media	31.5	33.3	32.2	32.2	33.7	31.1	31.5	32.8	32.2	30.5	31.3
	Mínima	28.5	31.5	29.7	27.5	25.6	27.2	26.8	27.8	28.0	25.6	27.0
	Máxima	34.5	36.5	34.5	34.5	36.0	34.8	35.2	36.2	34.8	33.6	33.4
MAR	Media	31.5	33.0	31.8	31.6	31.5	31.0	31.7	33.3	30.5	30.2	31.7
	Mínima	28.5	30.5	28.5	27.0	27.0	26.9	26.4	28.4	25.4	24.8	25.0
	Máxima	33.2	35.5	34.5	34.2	34.4	33.8	34.6	36.0	34.0	32.8	35.2
ABR	Media	31.5	32.9	31.6	31.8	31.4	31.4	31.3	32.6	31.2	30.6	31.8
	Mínima	26.5	30.0	29.0	27.2	26.0	26.4	27.0	28.9	26.2	25.4	25.4
	Máxima	35.0	35.0	34.0	34.5	35.2	33.7	34.7	35.4	34.0	32.8	34.8
MAY	Media	30.1	30.9	32.1	29.9	30.5	30.0	31.9	31.7	30.6	30.5	31.5
	Mínima	26.0	25.5	29.5	23.4	20.9	25.0	26.0	25.1	25.0	25.0	28.6
	Máxima	32.6	34.2	33.8	33.5	33.8	32.6	34.8	35.0	33.4	33.0	34.4
JUN	Media	31.0	30.8	31.4	30.9	30.7	29.7	31.0	30.7	30.2	31.0	31.2
	Mínima	27.5	24.5	28.0	28.4	26.3	23.9	25.8	24.6	24.4	24.8	28.0
	Máxima	34.0	33.5	34.5	33.5	32.9	32.6	33.2	33.6	33.2	33.6	34.6
JUL	Media	30.3	31.2	31.7	31.2	32.0	31.2	31.3	30.3	30.1	30.8	30.2
	Mínima	24.5	26.2	27.5	24.8	27.3	25.4	25.4	20.3	24.0	26.4	22.4
	Máxima	33.0	33.2	34.2	33.2	35.3	33.0	33.8	34.1	33.2	33.6	32.6
AGO	Media	31.0	32.5	32.3	32.1	32.1	32.6	32.8	32.7	32.0	32.5	31.3
	Mínima	25.8	29.5	28.2	29.4	27.6	29.2	27.8	28.2	25.0	27.0	25.2
	Máxima	34.0	34.7	34.6	34.2	34.6	35.4	35.0	36.0	34.4	35.0	33.8
SET	Media	31.8	33.0	32.1	32.6	32.7	31.6	33.7	33.8	32.5	32.8	33.1
	Mínima	23.6	25.5	21.8	28.2	28.5	24.1	30.0	27.8	30.0	26.0	27.0
	Máxima	35.0	35.5	36.3	35.8	35.8	35.4	36.0	37.4	34.8	36.4	35.6
OCT	Media	32.5	32.7	32.9	33.0	32.0	32.4	33.7	34.1	32.6	32.8	32.3
	Mínima	28.0	26.5	28.0	29.6	25.4	28.6	29.4	28.6	28.5	29.0	26.4
	Máxima	35.0	35.3	35.4	36.0	35.7	35.8	36.8	37.8	35.0	35.4	35.4
NOV	Media	32.2	32.3	33.0	32.3	31.7	32.1	33.8	33.2	32.2	32.6	32.6
	Mínima	26.5	29.2	29.0	28.4	26.0	28.7	30.1	26.8	29.0	27.0	29.2
	Máxima	35.0	35.0	37.5	34.6	35.6	35.0	36.2	37.4	34.6	35.8	35.4
DIC	Media	32.2	32.2	32.6	32.0	31.7	33.1	32.3	32.8	31.2	32.1	32.5
	Mínima	27.5	29.5	28.8	26.4	27.4	28.4	27.4	29.4	26.0	27.6	27.0
	Máxima	34.7	34.1	35.4	34.8	34.6	35.8	35.6	35.6	33.4	35.0	35.6

**Tabla 3.4.** Estación climatológica ordinaria Nauta 2003-2013.

		Temperatura mínima °C										
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
ENE	Media	23.28	22.86	22.66	22.46	22.15	21.32	22.58	22.98	22.60	22.63	23.14
	Mínima	22.20	20.40	21.00	21.00	21.00	19.60	21.30	21.80	21.30	21.30	21.30
	Máxima	24.00	24.40	23.60	23.60	24.20	23.20	23.80	23.90	24.00	23.60	24.50
FEB	Media	22.96	22.43	22.07	22.65	23.36	21.90	22.39	23.41	22.36	22.36	22.84
	Mínima	22.00	21.00	20.20	21.00	22.00	20.00	20.70	22.50	21.40	21.20	21.70
	Máxima	24.00	24.00	23.40	23.40	24.60	24.00	23.50	24.10	23.60	23.30	24.10
MAR	Media	22.34	22.12	21.92	22.23	22.54	21.71	22.58	23.18	22.29	22.47	23.07
	Mínima	21.20	20.20	20.40	20.40	20.40	20.00	21.40	21.60	21.40	21.00	21.70
	Máxima	23.40	23.40	23.20	23.40	24.00	23.20	23.50	24.20	23.90	23.40	24.30
ABR	Media	22.17	22.33	22.43	22.39	22.58	21.79	22.69	23.26	22.55	22.74	22.64
	Mínima	21.00	20.40	20.40	21.00	21.20	19.60	21.80	22.40	21.60	21.00	19.30
	Máxima	23.20	23.40	23.40	23.40	24.00	23.40	23.70	24.20	23.60	23.70	24.10
MAY	Media	22.14	21.61	22.52	22.42	22.12	21.65	22.61	22.59	22.51	22.55	22.99
	Mínima	21.20	19.80	21.00	20.20	18.00	18.80	20.60	20.30	20.20	20.20	20.80
	Máxima	23.40	23.20	23.40	24.00	24.20	23.20	23.40	24.20	23.20	23.50	24.20
JUN	Media	22.29	20.53	22.22	22.69	22.61	20.27	22.08	22.05	22.15	21.77	22.57
	Mínima	21.20	16.20	21.00	21.40	21.20	18.00	20.30	18.50	20.40	18.20	21.00
	Máxima	23.40	23.00	23.40	23.60	23.60	22.80	23.10	23.50	23.30	23.50	23.60
JUL	Media	21.86	21.27	21.21	22.51	21.83	21.35	22.05	20.94	21.69	20.59	21.83
	Mínima	18.00	19.00	18.60	21.20	16.60	19.00	20.30	14.30	19.70	17.50	16.30
	Máxima	23.20	23.20	23.20	24.00	24.00	23.20	22.80	23.60	22.90	22.30	23.10
AGO	Media	21.51	21.36	21.97	22.77	21.88	22.01	22.25	21.37	21.65	21.49	21.50
	Mínima	18.00	18.40	18.20	20.20	20.20	19.80	19.40	19.20	16.10	19.10	16.60
	Máxima	23.20	23.20	23.20	24.20	23.40	23.40	23.30	22.80	23.50	22.90	23.20
SET	Media	21.58	21.61	21.73	23.00	21.58	21.34	22.35	22.55	22.47	21.95	22.35
	Mínima	15.00	18.00	14.00	19.20	18.20	19.00	19.50	21.00	21.40	20.30	21.50
	Máxima	23.20	23.20	24.00	24.40	23.20	23.80	23.70	23.60	23.60	23.40	23.30
OCT	Media	22.54	22.48	22.41	23.04	21.82	22.37	22.93	22.45	23.28	22.49	22.38
	Mínima	21.00	21.00	20.00	21.40	19.60	20.60	21.50	20.40	21.50	20.30	21.40
	Máxima	24.00	23.40	23.60	24.60	23.20	24.40	23.90	24.40	24.60	23.80	23.50
NOV	Media	22.61	22.36	22.79	22.90	21.86	22.05	23.06	22.19	23.06	23.05	22.58
	Mínima	20.00	20.40	21.00	21.00	19.60	20.40	22.20	20.60	21.60	21.70	21.20
	Máxima	24.20	23.20	24.20	24.40	23.20	23.60	24.60	24.00	24.30	25.00	23.80
DIC	Media	21.81	22.06	22.51	22.39	22.22	22.84	22.73	22.51	22.76	22.88	22.58
	Mínima	20.00	20.00	21.00	20.40	20.00	20.40	21.40	21.30	20.60	21.50	21.50
	Máxima	24.00	23.40	24.00	24.00	24.00	23.80	23.60	23.90	24.20	24.10	23.70

**Tabla 3.5.** Estación climatológica ordinaria Nauta 2003-2013.

		Temperatura máxima °C										
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
ENE	Media	30.7	30.8	30.9	31.5	30.6	31.4	30.8	31.7	32.1	30.2	31.1
	Mínima	29.4	29.7	28.4	28.2	28.4	30.0	29.3	29.7	29.4	24.6	26.2
	Máxima	31.4	32.1	33.4	34.4	34.0	33.1	32.2	34.0	34.9	33.0	34.8
FEB	Media	31.0	29.6	30.2	32.3	34.0	31.6	31.0	30.9	31.4	29.7	30.4
	Mínima	30.0	0.0	28.4	27.2	29.2	0.0	0.0	0.0	27.8	25.8	25.2
	Máxima	31.4	31.4	31.4	35.2	36.2	35.4	33.5	35.0	34.6	34.0	33.5
MAR	Media	31.0	30.7	30.4	31.3	31.6	31.1	31.0	30.8	30.6	30.1	31.0
	Mínima	30.0	29.5	28.2	27.4	28.4	27.4	28.9	26.2	25.1	24.6	25.6
	Máxima	31.4	31.8	32.4	35.0	34.2	33.5	32.7	33.8	34.2	33.7	34.4
ABR	Media	30.2	30.2	30.3	32.3	31.1	30.7	30.7	30.5	30.3	30.5	31.5
	Mínima	27.8	28.7	28.2	29.2	28.4	28.4	28.4	27.3	26.0	25.8	27.8
	Máxima	32.4	31.4	31.4	35.6	33.4	33.3	32.3	33.4	33.4	32.9	33.4
MAY	Media	29.5	30.2	30.9	31.3	30.6	30.4	30.7	30.3	30.2	30.0	30.8
	Mínima	27.0	27.7	27.4	25.6	27.6	27.1	27.7	26.1	25.1	26.0	25.4
	Máxima	31.2	31.7	32.4	34.4	33.0	32.6	32.5	33.3	34.0	32.2	33.8
JUN	Media	30.1	30.4	30.7	31.5	30.6	30.1	30.6	29.9	29.6	30.0	31.1
	Mínima	28.4	28.7	28.4	27.4	28.6	27.8	28.7	26.1	24.3	23.6	28.4
	Máxima	32.0	32.6	33.2	34.6	33.2	31.8	32.8	32.5	33.3	33.1	32.7
JUL	Media	29.9	30.3	30.7	31.1	31.1	30.5	30.9	30.1	29.8	30.0	30.5
	Mínima	26.4	27.4	25.6	28.4	28.4	27.3	28.4	26.1	24.9	25.0	24.0
	Máxima	32.4	32.3	33.4	33.6	33.6	33.1	33.4	32.8	32.6	32.8	32.6
AGO	Media	30.3	31.2	32.1	31.0	31.0	31.3	31.6	31.5	31.6	31.6	30.4
	Mínima	27.0	28.3	28.2	27.4	27.4	27.4	29.0	26.4	25.5	27.7	25.1
	Máxima	33.0	33.5	35.2	33.4	33.4	33.6	33.9	33.8	35.2	33.8	32.9
SET	Media	31.2	31.2	32.3	31.8	31.8	31.9	32.1	32.7	31.9	31.7	32.0
	Mínima	27.0	26.2	23.6	28.6	28.6	29.9	28.1	27.3	28.5	25.2	27.8
	Máxima	35.4	34.2	37.6	34.0	34.0	33.5	34.9	36.1	34.1	34.8	34.8
OCT	Media	31.4	31.4	32.7	31.5	31.5	31.5	32.1	32.6	31.5	32.1	31.7
	Mínima	28.6	28.6	26.6	28.0	28.0	29.3	28.6	28.6	29.1	26.2	22.7
	Máxima	34.0	34.0	37.6	33.4	33.4	33.1	34.8	35.7	33.5	35.2	34.8
NOV	Media	31.8	31.8	33.1	30.8	30.8	31.2	32.0	31.5	31.6	31.8	30.9
	Mínima	28.0	28.0	26.4	29.0	29.0	28.3	28.7	24.7	25.5	27.6	26.8
	Máxima	33.4	33.4	38.2	33.0	33.0	32.9	35.1	36.2	34.2	34.7	34.2
DIC	Media	30.7	30.7	31.9	30.4	30.4	30.5	31.2	31.3	30.7	31.2	31.1
	Mínima	28.4	28.4	27.0	28.6	28.6	27.4	28.2	25.8	24.5	27.8	26.4
	Máxima	32.4	32.4	36.2	32.0	32.0	32.7	33.5	34.1	34.1	33.3	33.9

**Tabla 3.6.** Estación climatológica ordinaria Tamshiyacu 2003-2013.

		Temperatura mínima °C										
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
ENE	Media	21.7	22.0	19.9	18.8	19.1	18.9	22.6	23.3	23.0	21.8	23.14
	Mínima	20.6	19.0	18.8	17.2	16.0	17.2	21.0	22.0	21.0	19.4	21.30
	Máxima	22.8	23.2	22.2	20.0	20.2	20.6	23.8	24.0	24.4	23.8	24.50
FEB	Media	21.9	21.4	19.6	19.3	19.6	18.7	22.8	23.4	22.7	21.9	22.84
	Mínima	20.2	19.8	18.6	17.8	17.2	17.4	20.0	20.4	21.8	20.0	21.70
	Máxima	23.2	23.2	20.6	20.6	21.2	19.9	24.0	24.6	23.6	23.6	24.10
MAR	Media	22.2	21.5	18.9	18.9	18.9	18.7	22.9	23.5	22.7	20.9	23.07
	Mínima	20.6	19.6	16.2	17.6	17.0	17.2	21.8	20.2	21.4	19.0	21.70
	Máxima	23.6	23.6	20.2	20.0	20.2	20.8	24.0	24.6	24.0	23.4	24.30
ABR	Media	22.1	21.6	18.9	18.8	18.8	18.8	23.0	23.3	22.7	22.6	22.64
	Mínima	19.0	19.4	16.6	16.0	17.2	16.8	21.8	20.6	21.4	21.0	19.30
	Máxima	23.0	23.0	20.2	20.2	20.0	20.0	23.8	24.6	23.8	24.0	24.10
MAY	Media	21.8	20.2	19.1	18.2	17.9	18.4	23.0	22.8	22.4	22.4	22.99
	Mínima	19.2	18.6	17.8	15.6	13.8	16.2	22.0	19.6	20.2	20.4	20.80
	Máxima	23.8	22.8	20.2	20.4	20.2	19.6	24.0	24.2	24.0	23.8	24.20
JUN	Media	21.8	19.6	18.6	18.4	18.2	17.8	22.1	22.1	22.5	21.7	22.57
	Mínima	19.8	16.6	16.4	16.6	16.6	14.0	19.8	18.2	20.4	18.4	21.00
	Máxima	23.0	22.8	20.0	20.2	19.2	19.8	23.2	23.2	23.8	23.4	23.60
JUL	Media	20.4	19.3	17.7	18.0	17.7	18.4	22.4	21.0	21.5	21.4	21.83
	Mínima	17.8	18.0	14.2	16.0	12.4	17.2	20.6	14.5	19.2	19.0	16.30
	Máxima	22.6	21.6	21.2	20.0	19.6	22.2	23.4	24.0	23.4	23.0	23.10
AGO	Media	19.5	19.6	18.4	18.4	18.2	21.9	22.5	20.9	21.7	21.9	21.50
	Mínima	17.4	17.6	14.2	16.8	16.8	18.8	20.6	18.0	17.4	20.0	16.60
	Máxima	21.2	21.0	20.2	19.4	19.4	23.4	23.4	23.2	23.8	23.0	23.20
SET	Media	20.8	19.5	17.5	18.6	18.4	20.9	22.2	23.3	22.4	21.2	22.35
	Mínima	17.0	18.2	12.2	16.2	17.2	18.6	20.0	21.0	20.2	19.2	21.50
	Máxima	22.6	20.8	20.6	20.0	19.6	23.8	23.6	25.0	23.8	23.4	23.30
OCT	Media	22.1	23.0	18.7	19.1	18.7	22.6	22.4	23.5	22.7	21.9	22.38
	Mínima	20.6	23.0	16.0	16.2	17.0	21.2	19.0	21.0	20.8	19.2	21.40
	Máxima	23.8	23.0	20.4	20.8	20.2	23.8	24.2	25.2	24.2	23.4	23.50
NOV	Media	21.7	21.0	19.1	19.0	19.0	22.9	23.8	23.4	22.1	22.3	22.58
	Mínima	19.0	18.4	17.2	16.0	18.0	19.2	22.8	21.4	20.0	20.8	21.20
	Máxima	23.2	24.4	20.2	20.2	20.6	24.2	24.8	25.4	24.0	24.2	23.80
DIC	Media	21.6	20.1	19.2	19.1	19.0	23.1	23.1	23.1	21.1	20.9	22.58
	Mínima	19.6	18.0	17.2	18.0	17.4	21.4	19.8	20.0	19.0	18.2	21.50
	Máxima	23.6	22.4	21.2	20.2	20.0	24.2	24.8	24.2	24.2	23.0	23.70

**Tabla 3.7.** Estación climatológica ordinaria Tamshiyacu 2003-2013.

		Temperatura máxima °C										
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
ENE	Media	31.3	32.6	31.8	29.3	29.9	30.2	31.0	32.2	32.5	30.8	31.2
	Mínima	26.4	26.0	27.8	24.0	27.8	27.2	26.4	28.0	28.8	25.8	27.2
	Máxima	34.6	35.4	34.8	33.6	32.8	34.2	33.8	35.4	36.8	33.2	35.2
FEB	Media	31.3	30.9	30.2	29.7	32.4	29.6	31.1	32.3	31.7	30.6	30.7
	Mínima	27.8	26.4	26.8	26.2	26.6	24.6	27.0	27.4	28.0	26.2	27.6
	Máxima	33.8	34.2	33.4	32.8	35.0	34.6	33.8	35.0	34.0	34.2	33.4
MAR	Media	31.1	30.9	27.6	28.9	30.2	29.9	31.4	32.2	31.1	30.5	31.4
	Mínima	27.6	27.8	24.2	24.4	26.4	25.4	26.2	26.6	26.0	26.4	27.0
	Máxima	33.4	32.4	29.8	31.8	32.4	35.2	33.8	35.0	34.4	32.4	34.6
ABR	Media	30.5	31.3	29.5	28.7	29.7	29.9	30.5	31.4	30.3	30.4	31.2
	Mínima	26.8	28.2	26.2	25.2	25.2	27.0	26.6	27.2	26.2	26.4	28.4
	Máxima	34.4	33.6	33.0	31.6	32.4	32.2	33.6	34.4	33.4	32.4	33.2
MAY	Media	30.1	29.5	31.1	27.6	29.4	29.1	30.9	30.7	30.1	30.1	30.5
	Mínima	27.0	25.4	26.8	24.2	23.4	25.8	27.2	24.4	26.0	24.8	28.2
	Máxima	32.4	33.0	33.6	31.6	32.4	31.6	32.6	33.8	32.8	32.0	33.4
JUN	Media	30.6	28.4	29.7	28.6	29.5	28.6	29.5	30.0	30.1	30.3	30.3
	Mínima	28.2	23.4	26.8	25.8	26.4	24.6	25.4	23.6	25.4	25.4	27.0
	Máxima	32.4	31.0	32.4	31.6	31.4	31.0	32.4	32.6	34.0	32.6	32.2
JUL	Media	30.4	29.4	29.2	29.5	30.4	30.4	30.8	30.2	30.5	29.9	29.2
	Mínima	25.0	25.6	23.4	25.4	26.4	26.2	27.6	19.6	26.6	24.6	23.4
	Máxima	33.2	32.6	32.2	32.2	33.0	32.8	32.6	33.6	33.2	31.8	31.8
AGO	Media	31.0	30.5	30.1	31.0	30.9	31.6	31.9	32.0	32.6	32.1	30.7
	Mínima	27.0	25.6	26.2	27.8	25.8	29.0	27.8	28.2	27.2	27.6	25.4
	Máxima	33.8	34.2	33.0	33.2	33.6	35.4	34.4	34.6	34.8	34.8	32.8
SET	Media	31.8	30.2	30.7	31.4	31.4	30.2	32.6	32.9	32.9	32.4	32.0
	Mínima	24.6	25.6	20.4	27.2	27.0	25.4	29.4	27.4	30.4	25.2	26.4
	Máxima	35.0	33.0	35.0	34.0	34.2	34.4	34.8	36.4	35.2	35.6	35.2
OCT	Media	32.1	25.8	30.5	31.5	30.7	30.9	32.8	33.7	33.2	33.1	32.1
	Mínima	29.0	20.9	25.2	26.4	26.8	27.8	29.0	29.0	29.0	28.2	27.2
	Máxima	35.8	30.6	36.0	34.6	34.4	35.4	36.0	36.6	35.4	35.4	34.6
NOV	Media	32.3	30.9	30.5	30.5	30.6	32.0	33.3	32.7	33.1	32.8	31.9
	Mínima	27.0	26.8	27.0	28.0	26.2	25.0	29.2	26.6	27.8	28.4	28.2
	Máxima	35.9	35.2	33.6	33.2	34.2	34.8	35.4	37.4	36.0	35.4	34.6
DIC	Media	31.9	30.7	30.0	30.4	30.9	32.6	31.7	32.7	32.3	32.0	31.7
	Mínima	26.8	26.0	25.8	27.8	27.0	28.8	26.6	29.8	27.2	27.8	26.2
	Máxima	34.9	34.0	33.6	33.4	34.6	35.0	34.2	34.8	35.4	35.2	35.2

### 3.6.4. La plataforma de Excel

En la figura 3.11 se puede observar la plataforma en Excel para la simulación de la irradiación solar. La columna A representa el día del año  $n$ . En las columnas B y C se tiene la declinación solar  $S$  en grados sexagesimales y rad, respectivamente; la cual es calculada en grados sexagesimales mediante la ecuación (2.4). En las columnas D y E se tiene la latitud  $R$  en grados sexagesimales y en rad, respectivamente. En la columna F se calcula el ángulo horario solar  $T$  en rad, mediante la ecuación (2.6). En la columna H se calcula el factor de excentricidad de la órbita terrestre  $E_0$ , mediante la ecuación (2.5). En la columna I se calcula el valor de la irradiación solar extraterrestre diaria  $H_0$  en MJ/(día m<sup>2</sup>).

Por último, se realiza la gráfica de  $H_0$  versus  $n$ , la cual representa la curva de evolución de la irradiación solar extraterrestre para un determinado año, tal como se muestra en la figura 3.12.

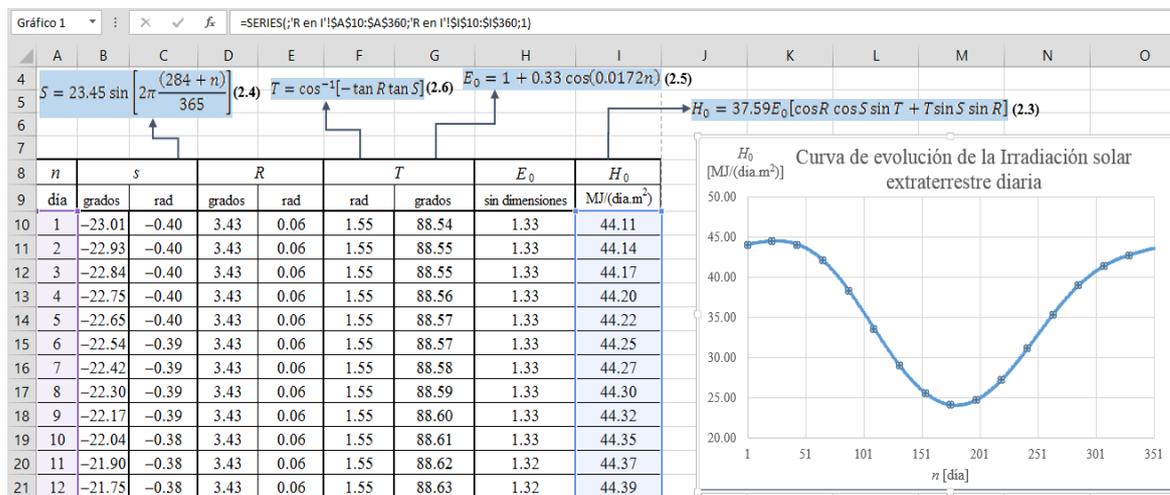
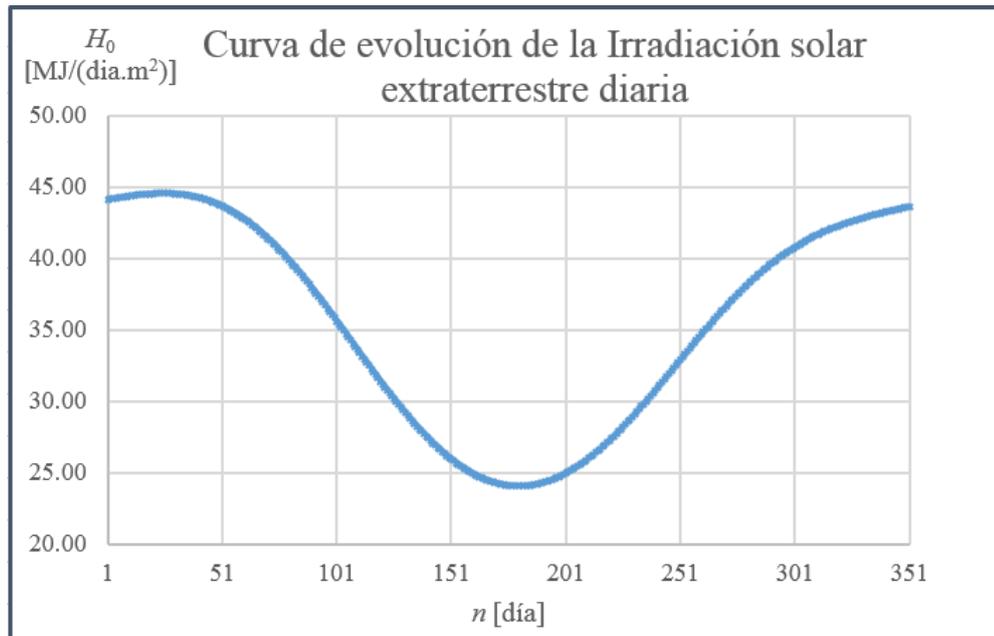


Figura 3.11. Plataforma de Excel para la simulación de la irradiación solar diaria.



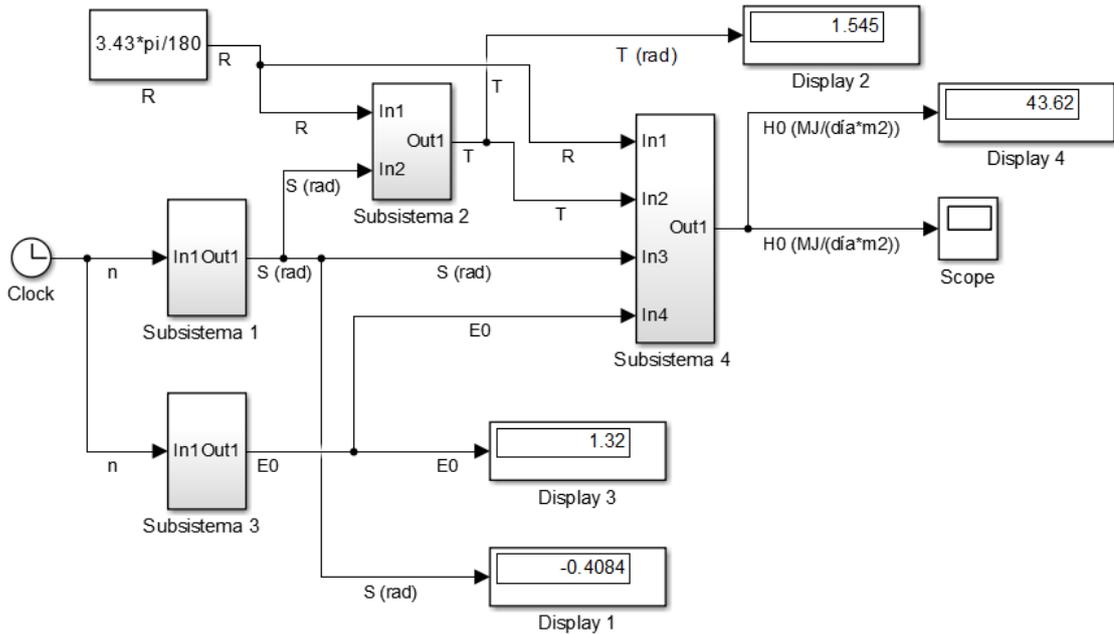
**Figura 3.12.** Curva de evolución de la irradiación solar extraterrestre en Excel.

### 3.6.5. La plataforma de Simulink de Matlab

La plataforma de Simulink de Matlab, se muestra en la figura 3.13. Esta plataforma está conformada por cuatro subsistemas, los cuales se indican desde la figura 3.14 hasta la figura 3.17.

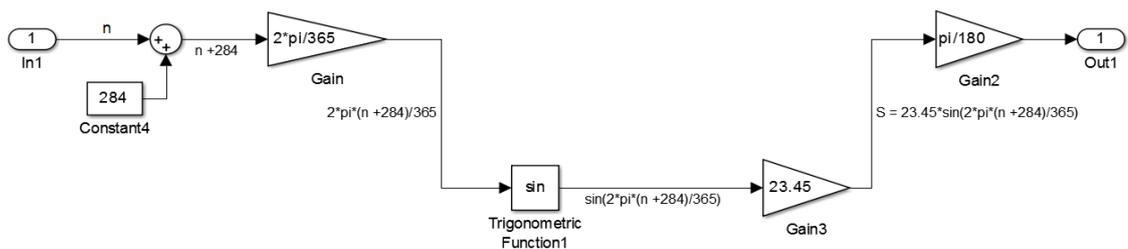
En el subsistema 1 se calcula la declinación solar  $S$  en rad, cuyo valor diario se muestra en el bloque Display 1. En el subsistema 2 se calcula el ángulo horario solar  $T$  en rad, mostrándose su valor diario en el bloque Display 2. En el subsistema 3 se calcula el factor de excentricidad de la órbita terrestre  $E_0$  y se muestra su valor diario en el bloque Display 3. Por último, en el subsistema 4 se calcula el valor de la irradiación solar extraterrestre diaria  $H_0$  en MJ/(día m<sup>2</sup>), cuyo valor diario se puede observar en el bloque Display 4.

De la misma forma que en la plataforma de Excel, en Simulink de Matlab también se realiza la gráfica de  $H_0$  versus  $n$ , para esto se hace un doble clic en el bloque Scope y se obtiene dicha gráfica como se muestra en la figura 3.18.



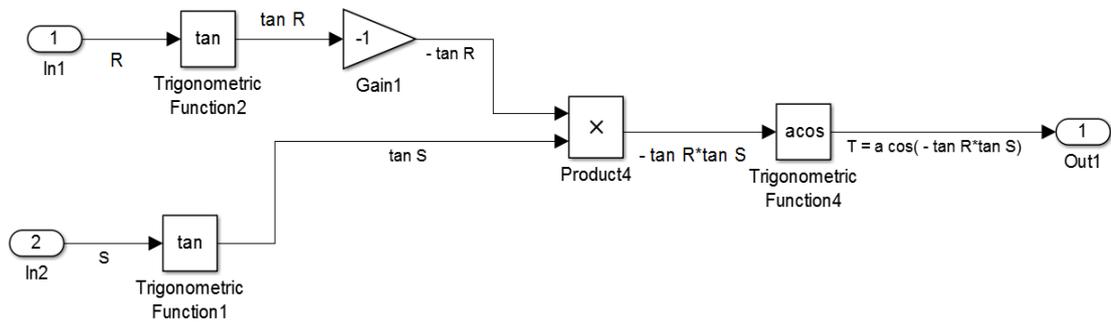
**Figura 3.13.** Plataforma de Simulink de Matlab para la simulación de la irradiación solar.

En la figura 3.14, se muestra en detalle el diagrama de bloques del subsistema 1, para lo cual se programó la ecuación (2.4). Se puede observar en este diagrama que el único dato de entrada es el día del año  $n$  (In1).



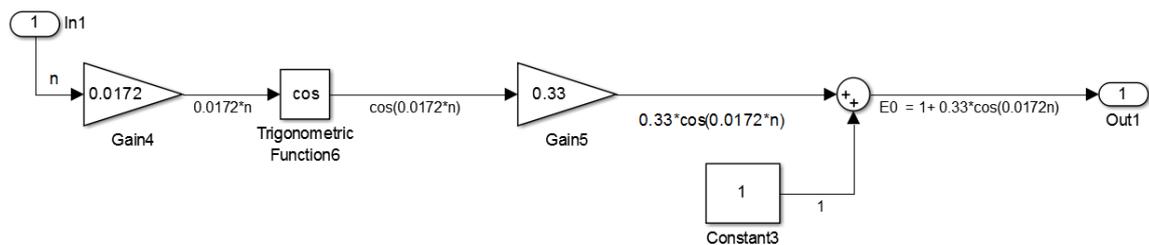
**Figura 3.14.** Diagrama del subsistema 1 (cálculo de  $S$ ).

La figura 3.15 muestra en detalle el diagrama de bloques del subsistema 2, para esto se programó la ecuación (2.6). En este caso los datos de entrada son la latitud  $R$  (In1) y la declinación solar  $S$  (In2).



**Figura 3.15.** Diagrama del subsistema 2 (cálculo de  $T$ ).

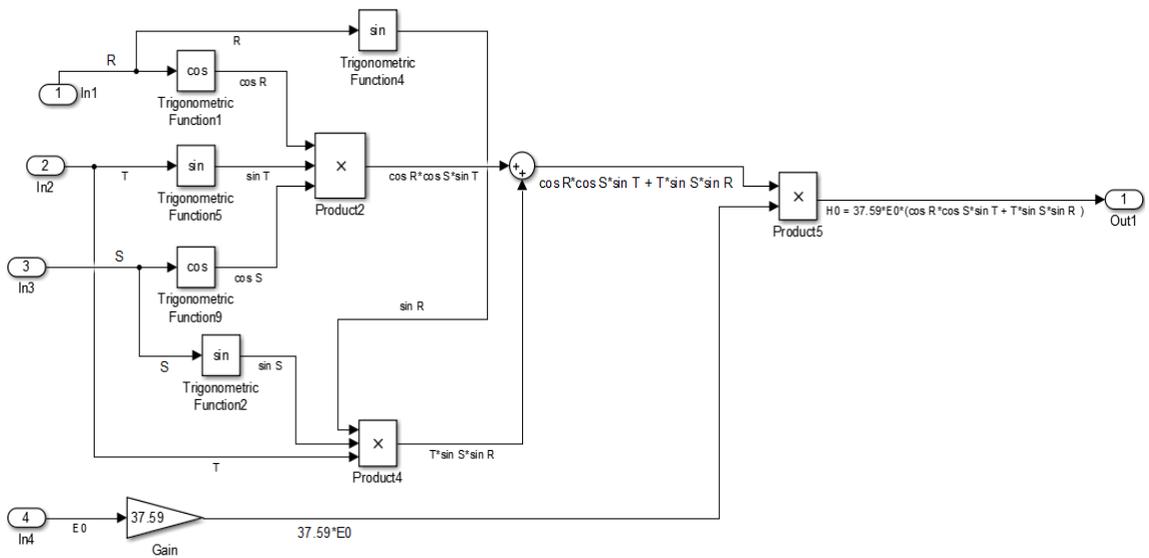
La figura 3.16 muestra en detalle el diagrama de bloques del subsistema 3, para esto se programó la ecuación (2.5).



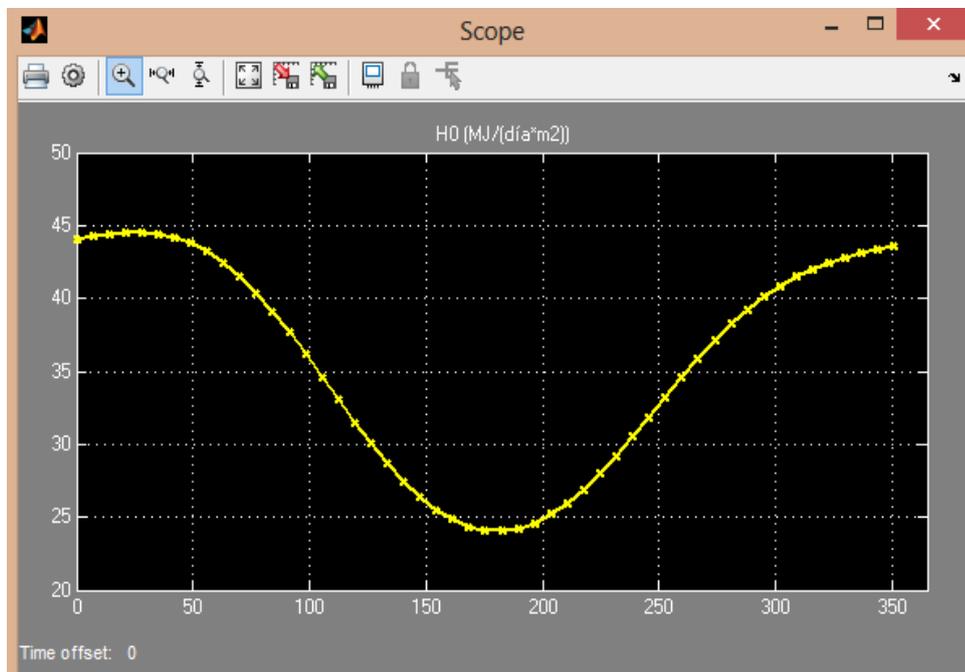
**Figura 3.16.** Diagrama del subsistema 3 (cálculo de  $E_0$ ).

La figura 3.17 muestra en detalle el diagrama de bloques del subsistema 4, para esto se programó la ecuación (2.3). También es notorio en la figura 3.17, que para calcular el valor de  $H_0$  (Out1), es necesario conocerse la latitud del lugar  $R$  (In1) y luego calcular la declinación solar  $S$  (In3), el ángulo horario solar  $T$  (In2) y el factor de excentricidad de la órbita terrestre  $E_0$  (In4), pues estos representan datos de entradas del subsistema 4.

Posteriormente, se puede realizar la curva de evolución de la irradiación solar extraterrestre para un determinado año (gráfica de  $H_0$  versus  $n$ ), tal como se muestra en la figura 3.18.



**Figura 3.17.** Diagrama del subsistema 4 (cálculo de  $H_0$ ).



**Figura 3.18.** Curva de evolución de la irradiación solar extraterrestre en Simulink de Matlab.

Como se puede observar desde la ecuación (2.3) hasta la ecuación (2.6), para determinar la irradiación solar extraterrestre diaria en cada una de las tres plataformas mencionadas, es necesario conocer la latitud de las estaciones meteorológicas seleccionadas, las cuales se muestran a continuación en la siguiente tabla.

**Tabla 3.8.** Ubicación geográfica de las tres estaciones meteorológicas seleccionadas. <sup>58</sup>

N°	Nombre	Dpto.	Provincia	Distrito	Lat.	Long.	Altitud
1	Amazonas	Loreto	Maynas	Iquitos	03° 43' 50.50"	73° 15' 17.52"	122
2	Nauta	Loreto	Loreto	Nauta	04° 31' 10"	73° 36' 01"	137
3	Tamshiyacu	Loreto	Maynas	Fernando Loes	04° 00' 12"	73° 09' 39"	105

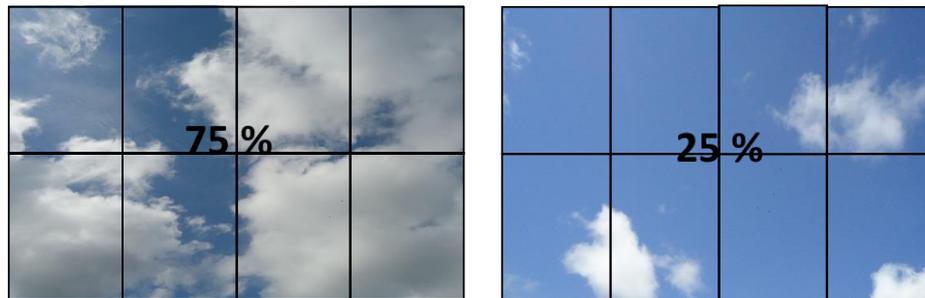
### 3.7. EL COEFICIENTE DE LA TRANSMITANCIA ( $a$ )

Es un valor empírico que depende del lugar, se encuentra muy relacionado con la altitud, la nubosidad y la contaminación ambiental. En lugares con una dinámica atmosférica elevada, donde existe poca contaminación de gases en la atmosfera de la Amazonía Peruana, su fácil movilidad de las nubes, con elevación moderada entre 12 y 16 km y con dos estaciones definidas de invierno y verano se puede optar por valores entre 0.70 y 0.80 en épocas de invierno y entre 0.20 y 0.30 en época de verano, como señala Allen <sup>17</sup>. Los valores de transmitancia para cada una de las estaciones experimentales, serán determinados mediante ensayos numéricos durante el periodo de invierno a verano. El invierno comprende desde el 15 de noviembre al 15 de mayo y el verano desde el 16 de mayo al 14 de noviembre. La relación que se usará para el cálculo de los valores aproximados es la siguiente:

$$a = \frac{H}{H_{\text{Max}}}. \quad (3.2)$$

Dónde  $H$  es la irradiación solar terrestre en el día,  $H_{\text{Max}}$  es la irradiación solar máxima acumulada a medida que se computa los datos.

Para comprender mejor la propuesta, en la figura 3.19 se muestran fotos típicas de la formación de nubes en invierno y verano en la ciudad de Iquitos.



**Figura 3.19.** Nubosidad porcentual en invierno (6/8) y verano (2/8).

### 3.8. MODELO MATEMÁTICO DE BRISTOW-CAMPBELL

En el presente trabajo, se utiliza este modelo matemático para determinar la irradiación solar terrestre diaria en las tres estaciones meteorológicas seleccionadas y lo representa la ecuación (2.9).

### 3.9. LOS COEFICIENTES ( $C_b$ ) y ( $B_b$ )

Estos coeficientes representan el incremento de la temperatura sobre el máximo valor del coeficiente de transmitancia de la atmósfera. Para ser válido el uso de estos coeficientes deben ser aplicados en áreas bajo similares condiciones de régimen térmico. Las ecuaciones para el cálculo de  $C_b$  y  $B_b$ , son la (2.10) y la (2.11), respectivamente.

### 3.10. VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DEL SOFTWARE SISA

Para determinar la validez y confiabilidad del software SISA, se realizará la comparación de los resultados obtenidos mediante este software, con los resultados obtenidos mediante Excel y Matlab de Simulink.

---

# CAPÍTULO IV

## RESULTADOS

### 4.4. RESULTADOS DE LA IRRADIACIÓN SOLAR EXTRATERRESTRE

A continuación se muestran los resultados de la irradiación solar extraterrestre diaria, en las tres estaciones meteorológicas seleccionadas (Iquitos, Nauta y Tamshiyacu). Para el caso de Iquitos, se puede observar estos resultados en la tabla 4.1 (mediante el software SISA) y en la tabla 4.5 (mediante la plataforma de Excel). Para el caso de Nauta y Tamshiyacu, se muestran los resultados mediante la plataforma de Excel en las tablas 4.6 y 4.7, respectivamente.

Adicionalmente se muestran para las tres estaciones seleccionadas, las gráficas de  $H_0$  versus  $n$ , realizadas en las tres plataformas mencionadas (SISA, Excel y Matlab de Simulink), para esto véase desde la figura 4.1 hasta la figura 4.9.

**Tabla 4.1.** Resultados de la Irradiación solar extraterrestre diaria (Iquitos 2003), mediante el SISA.

Días	Declin Solar	Anqulo solar	Eo	Ho (MJ/m2Dia)	
1	-23.01	0.88	1.33	44.11	
2	-22.93	0.88	1.33	44.14	
3	-22.84	0.88	1.33	44.17	
4	-22.75	0.88	1.33	44.20	
5	-22.65	0.89	1.33	44.22	
6	-22.54	0.89	1.33	44.25	
7	-22.42	0.89	1.33	44.27	
8	-22.30	0.89	1.33	44.30	
9	-22.17	0.89	1.33	44.32	
10	-22.04	0.89	1.33	44.35	
11	-21.90	0.89	1.32	44.37	
12	-21.75	0.89	1.32	44.39	
13	-21.60	0.89	1.32	44.41	
14	-21.44	0.89	1.32	44.43	
15	-21.27	0.90	1.32	44.45	
16	-21.10	0.90	1.32	44.46	
17	-20.92	0.90	1.32	44.48	
18	-20.73	0.90	1.31	44.49	
19	-20.54	0.90	1.31	44.51	
20	-20.34	0.90	1.31	44.52	

**Tabla 4.2.** Cálculo de la declinación solar para Iquitos, en la plataforma de Excel.

$$S = 23.45 \sin \left[ 2\pi \frac{(284 + n)}{365} \right]. \quad (2.4)$$

↓

B10      =23.45*SENO(2*PI()*(284+A10)/365)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
8	<i>n</i>	<i>s</i>		<i>R</i>		<i>T</i>		<i>E</i> <sub>0</sub>	<i>H</i> <sub>0</sub>
9	día	grados	rad	grados	rad	rad	grados	sin dimensiones	MJ/(día.m <sup>2</sup> )
10	1	-23.01	-0.40	3.43	0.06	1.55	88.54	1.33	44.11
11	2	-22.93	-0.40	3.43	0.06	1.55	88.55	1.33	44.14
12	3	-22.84	-0.40	3.43	0.06	1.55	88.55	1.33	44.17
13	4	-22.75	-0.40	3.43	0.06	1.55	88.56	1.33	44.20
14	5	-22.65	-0.40	3.43	0.06	1.55	88.57	1.33	44.22
15	6	-22.54	-0.39	3.43	0.06	1.55	88.57	1.33	44.25
16	7	-22.42	-0.39	3.43	0.06	1.55	88.58	1.33	44.27

**Tabla 4.3.** Cálculo del ángulo horario solar para Iquitos, en la plataforma de Excel.

$$T = \cos^{-1}(-\tan R \tan S). \quad (2.6)$$

↓

F10      =ACOS(-TAN(E10)*TAN(C10))									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
8	<i>n</i>	<i>s</i>		<i>R</i>		<i>T</i>		<i>E</i> <sub>0</sub>	<i>H</i> <sub>0</sub>
9	día	grados	rad	grados	rad	rad	grados	sin dimensiones	MJ/(día.m <sup>2</sup> )
10	1	-23.01	-0.40	3.43	0.06	1.55	88.54	1.33	44.11
11	2	-22.93	-0.40	3.43	0.06	1.55	88.55	1.33	44.14
12	3	-22.84	-0.40	3.43	0.06	1.55	88.55	1.33	44.17
13	4	-22.75	-0.40	3.43	0.06	1.55	88.56	1.33	44.20
14	5	-22.65	-0.40	3.43	0.06	1.55	88.57	1.33	44.22
15	6	-22.54	-0.39	3.43	0.06	1.55	88.57	1.33	44.25
16	7	-22.42	-0.39	3.43	0.06	1.55	88.58	1.33	44.27

**Tabla 4.4.** Cálculo del factor de excentricidad de la órbita terrestre para Iquitos, en la plataforma de Excel.

$$E_0 = 1 + 0.33 \cos(0.0172n). \quad (2.5)$$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
8	<i>n</i>	<i>s</i>		<i>R</i>		<i>T</i>		<i>E</i> <sub>0</sub>	<i>H</i> <sub>0</sub>
9	día	grados	rad	grados	rad	rad	grados	sin dimensiones	MJ/(día.m <sup>2</sup> )
10	1	-23.01	-0.40	3.43	0.06	1.55	88.54	1.33	44.11
11	2	-22.93	-0.40	3.43	0.06	1.55	88.55	1.33	44.14
12	3	-22.84	-0.40	3.43	0.06	1.55	88.55	1.33	44.17
13	4	-22.75	-0.40	3.43	0.06	1.55	88.56	1.33	44.20
14	5	-22.65	-0.40	3.43	0.06	1.55	88.57	1.33	44.22
15	6	-22.54	-0.39	3.43	0.06	1.55	88.57	1.33	44.25
16	7	-22.42	-0.39	3.43	0.06	1.55	88.58	1.33	44.27

**Tabla 4.5.** Resultados de la Irradiación solar extraterrestre diaria (Iquitos 2003), mediante la plataforma de Excel.

$$H_0 = 37.59E_0[\cos R \cos S \sin T + T \sin S \sin R]. \quad (2.3)$$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
8	<i>n</i>	<i>s</i>		<i>R</i>		<i>T</i>		<i>E</i> <sub>0</sub>	<i>H</i> <sub>0</sub>
9	día	grados	rad	grados	rad	rad	grados	sin dimensiones	MJ/(día.m <sup>2</sup> )
10	1	-23.01	-0.40	3.43	0.06	1.55	88.54	1.33	44.11
11	2	-22.93	-0.40	3.43	0.06	1.55	88.55	1.33	44.14
12	3	-22.84	-0.40	3.43	0.06	1.55	88.55	1.33	44.17
13	4	-22.75	-0.40	3.43	0.06	1.55	88.56	1.33	44.20
14	5	-22.65	-0.40	3.43	0.06	1.55	88.57	1.33	44.22
15	6	-22.54	-0.39	3.43	0.06	1.55	88.57	1.33	44.25
16	7	-22.42	-0.39	3.43	0.06	1.55	88.58	1.33	44.27
17	8	-22.30	-0.39	3.43	0.06	1.55	88.59	1.33	44.30
18	9	-22.17	-0.39	3.43	0.06	1.55	88.60	1.33	44.32
19	10	-22.04	-0.38	3.43	0.06	1.55	88.61	1.33	44.35
20	11	-21.90	-0.38	3.43	0.06	1.55	88.62	1.32	44.37

**Tabla 4.6.** Resultados de la Irradiación solar extraterrestre diaria (Nauta 2003), mediante la plataforma de Excel.

$$H_0 = 37.59E_0[\cos R \cos S \sin T + T \sin S \sin R]. \quad (2.3)$$

↓

110    =37.59\*H10\*(COS(E10)\*COS(C10)\*SENO(F10)+F10\*SENO(C10)\*SENO(E10))

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
8	<i>n</i>	<i>s</i>		<i>R</i>		<i>T</i>		<i>E</i> <sub>0</sub>	<i>H</i> <sub>0</sub>
9	día	grados	rad	grados	rad	rad	grados	sin dimensiones	MJ/(día.m <sup>2</sup> )
10	1	-23.01	-0.40	4.52	0.08	1.54	88.08	1.33	43.48
11	2	-22.93	-0.40	4.52	0.06	1.55	88.55	1.33	44.14
12	3	-22.84	-0.40	4.52	0.06	1.55	88.55	1.33	44.17
13	4	-22.75	-0.40	4.52	0.06	1.55	88.56	1.33	44.20
14	5	-22.65	-0.40	4.52	0.06	1.55	88.57	1.33	44.22
15	6	-22.54	-0.39	4.52	0.06	1.55	88.57	1.33	44.25
16	7	-22.42	-0.39	4.52	0.06	1.55	88.58	1.33	44.27
17	8	-22.30	-0.39	4.52	0.06	1.55	88.59	1.33	44.30

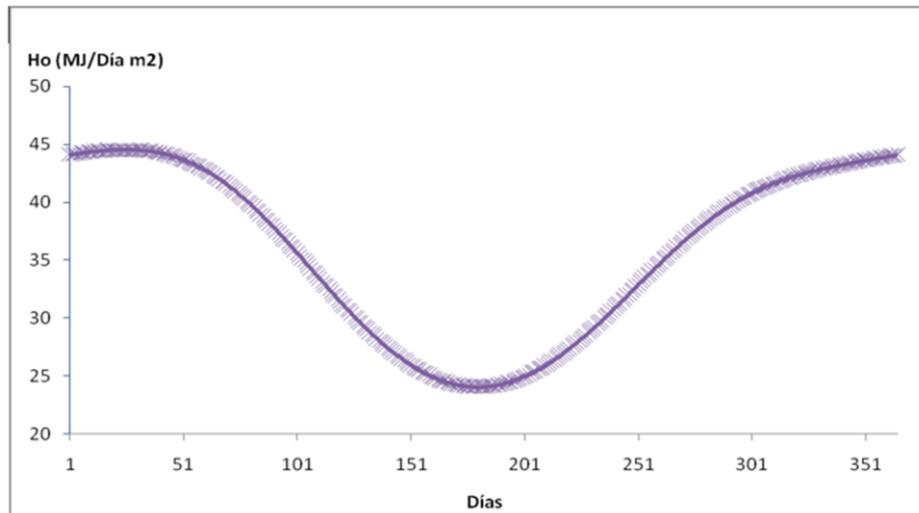
**Tabla 4.7.** Resultados de la Irradiación solar extraterrestre (Tamshiyacu 2003), mediante la plataforma de Excel.

$$H_0 = 37.59E_0[\cos R \cos S \sin T + T \sin S \sin R]. \quad (2.3)$$

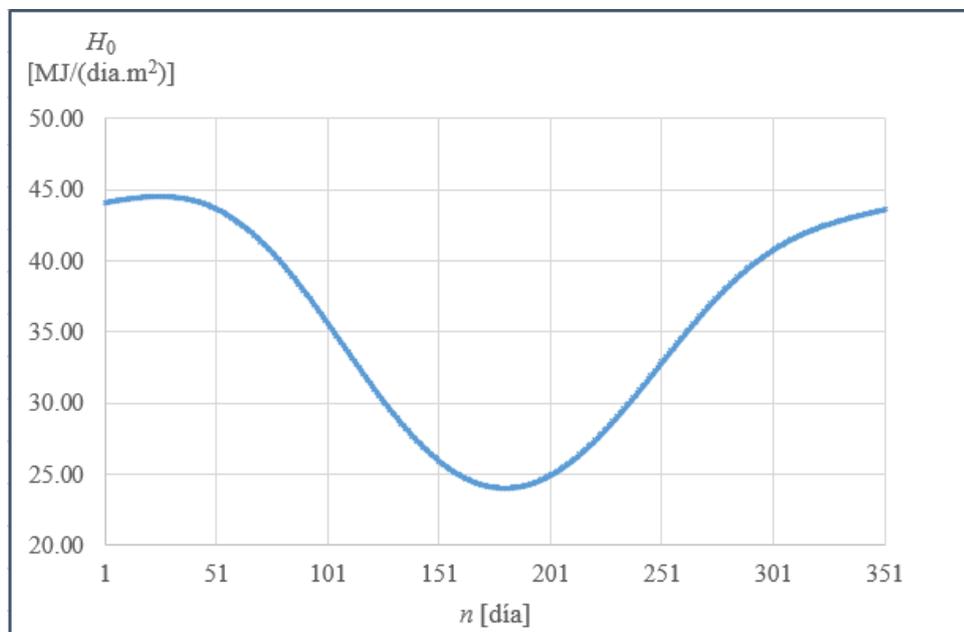
↓

110    =37.59\*H10\*(COS(E10)\*COS(C10)\*SENO(F10)+F10\*SENO(C10)\*SENO(E10))

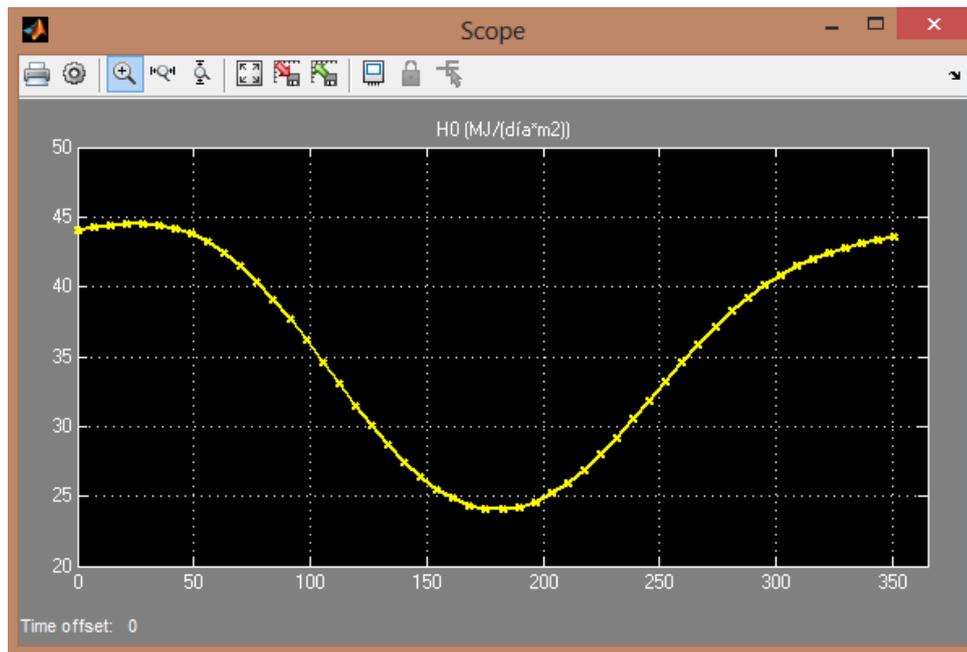
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
8	<i>n</i>	<i>s</i>		<i>R</i>		<i>T</i>		<i>E</i> <sub>0</sub>	<i>H</i> <sub>0</sub>
9	día	grados	rad	grados	rad	rad	grados	sin dimensiones	MJ/(día.m <sup>2</sup> )
10	1	-23.01	-0.40	4	0.07	1.54	88.30	1.33	43.78
11	2	-22.93	-0.40	4	0.06	1.55	88.55	1.33	44.14
12	3	-22.84	-0.40	4	0.06	1.55	88.55	1.33	44.17
13	4	-22.75	-0.40	4	0.06	1.55	88.56	1.33	44.20
14	5	-22.65	-0.40	4	0.06	1.55	88.57	1.33	44.22
15	6	-22.54	-0.39	4	0.06	1.55	88.57	1.33	44.25
16	7	-22.42	-0.39	4	0.06	1.55	88.58	1.33	44.27
17	8	-22.30	-0.39	4	0.06	1.55	88.59	1.33	44.30
18	9	-22.17	-0.39	4	0.06	1.55	88.60	1.33	44.32



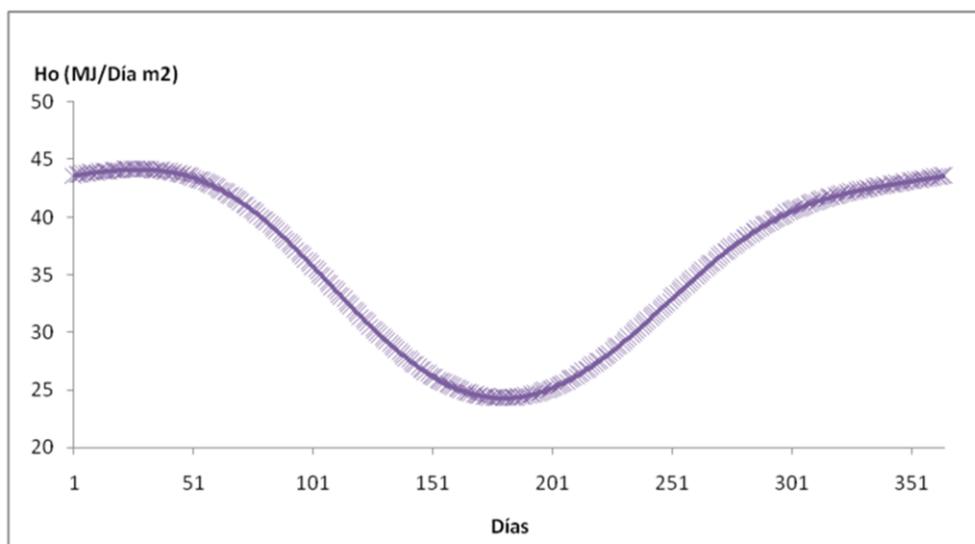
**Figura 4.1.** Curva de evolución de la irradiación solar extraterrestre (Iquitos 2003), mediante el software SISA.



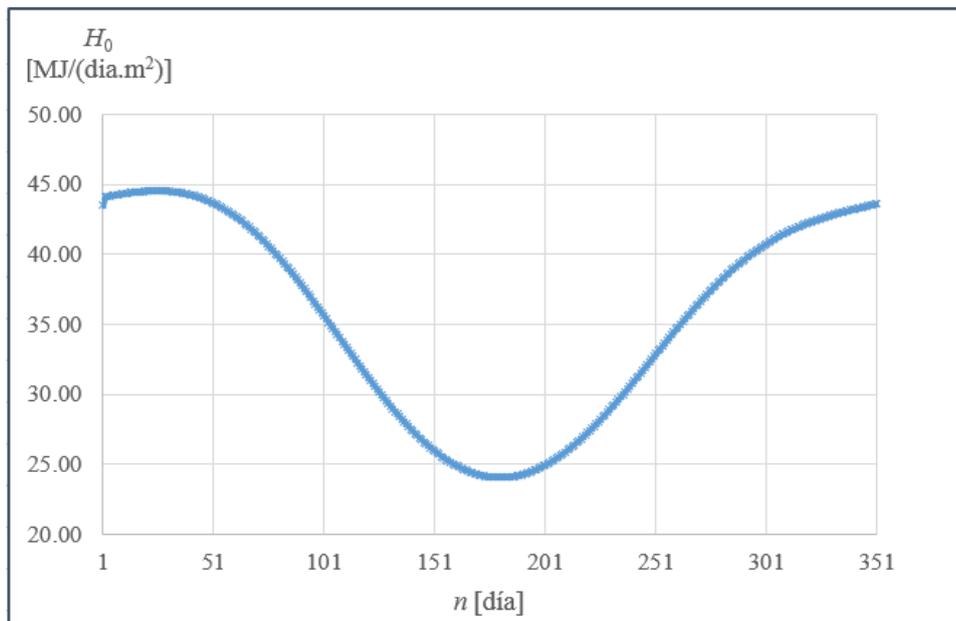
**Figura 4.2.** Curva de evolución de la irradiación solar extraterrestre (Iquitos 2003), mediante Excel.



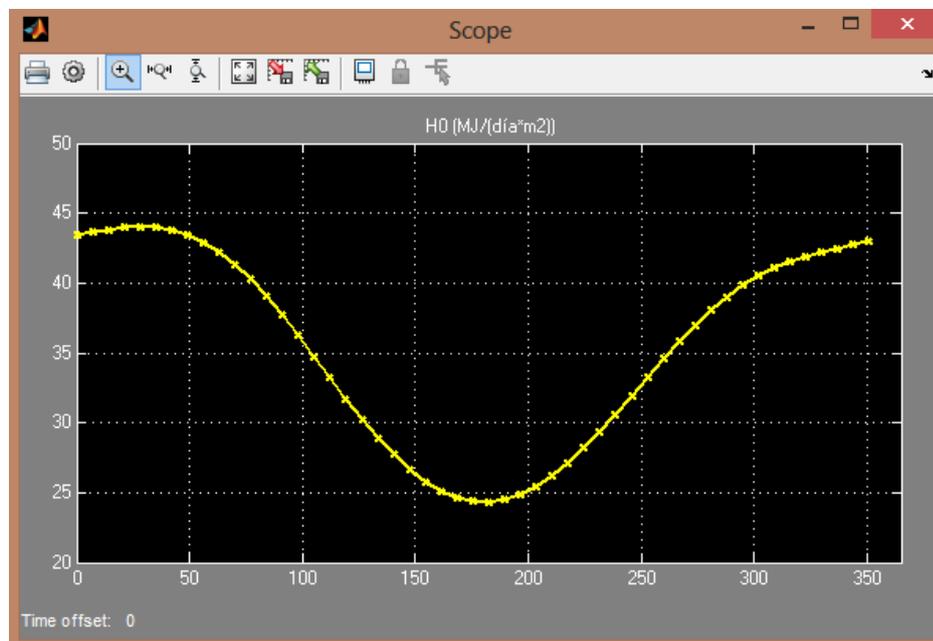
**Figura 4.3.** Curva de evolución de la irradiación solar extraterrestre (Iquitos 2003), mediante Simulink de Matlab.



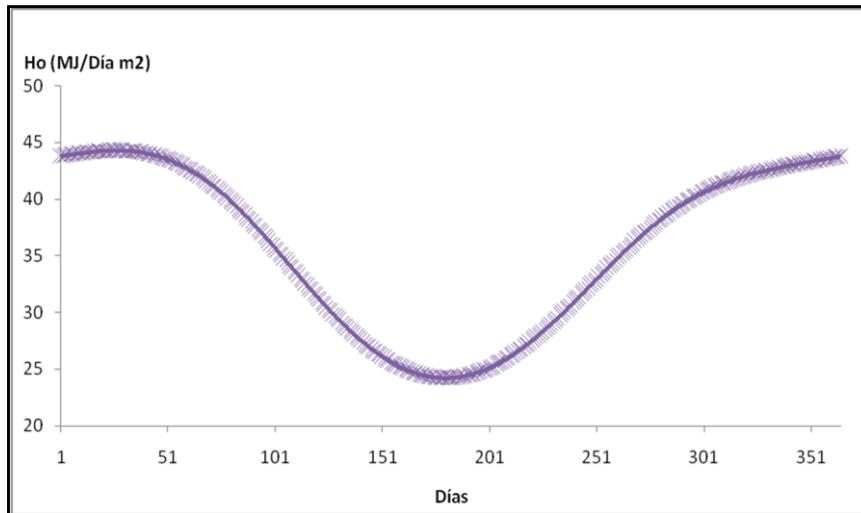
**Figura 4.4.** Curva de evolución de la irradiación solar extraterrestre (Nauta 2003), mediante el software SISA.



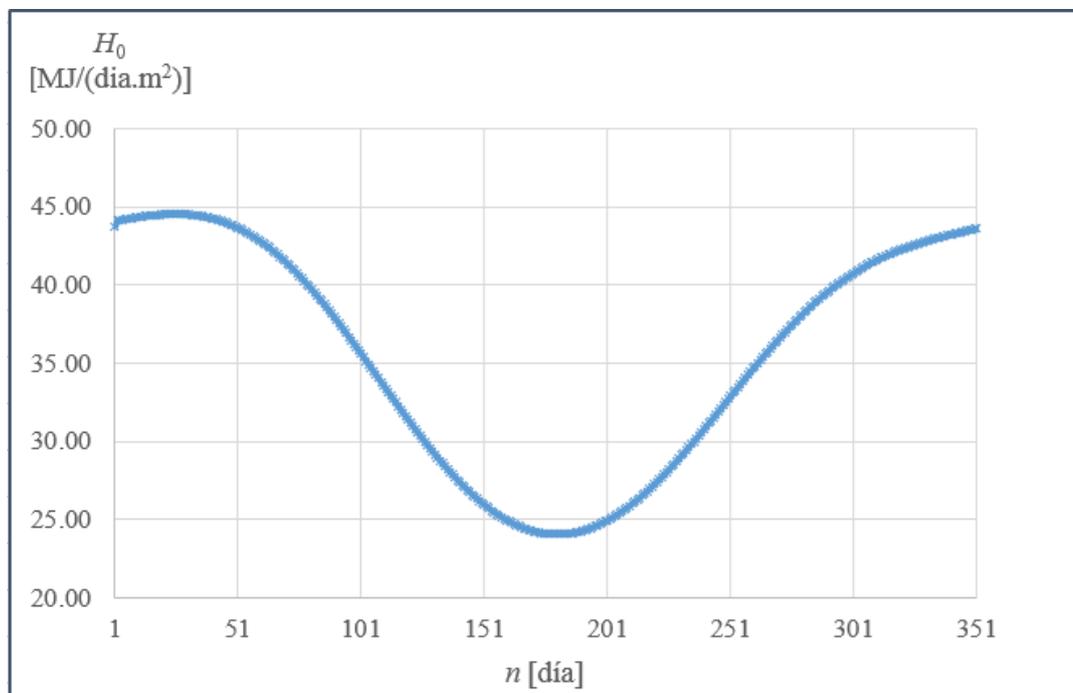
**Figura 4.5.** Curva de evolución de la irradiación solar extraterrestre (Nauta 2003), mediante Excel.



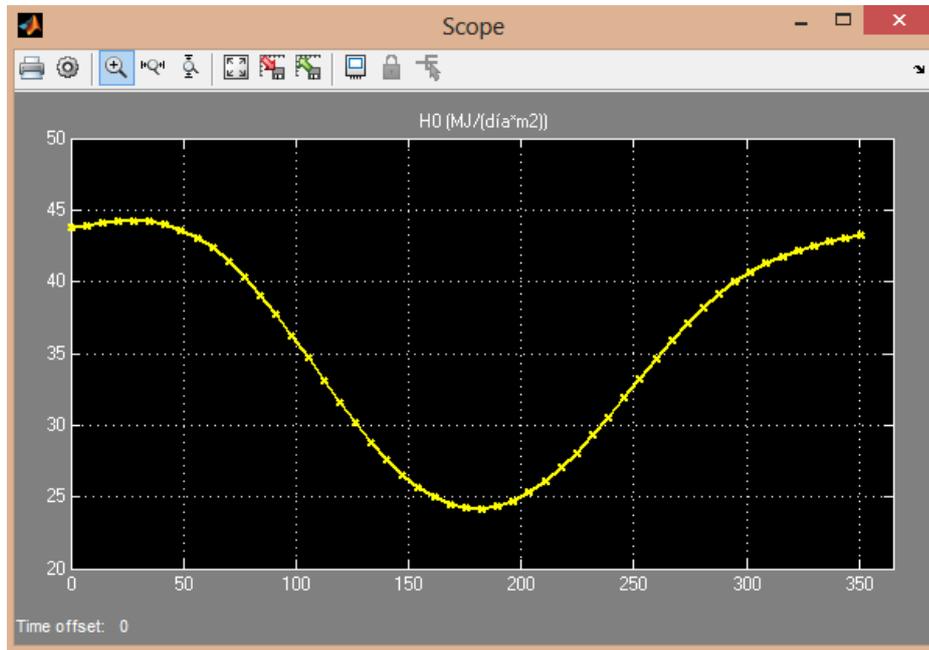
**Figura 4.6.** Curva de evolución de la irradiación solar extraterrestre (Nauta 2003), mediante Simulink de Matlab.



**Figura 4.7.** Curva de evolución de la irradiación solar extraterrestre (Tamshiyacu 2003), mediante el software SISA.



**Figura 4.8.** Curva de evolución de la irradiación solar extraterrestre (Tamshiyacu 2003), mediante Excel.



**Figura 4.9.** Curva de evolución de la irradiación solar extraterrestre (Tamshiyacu 2003), mediante Simulink de Matlab.

#### 4.5. RESULTADOS DE LOS COEFICIENTES EMPÍRICOS

Como se mencionó en la sección 3.9, las ecuaciones para el cálculo de  $C_b$  y  $B_b$ , son la (2.10) y la (2.11), respectivamente. Estos valores se mantienen constantes para una determinada estación meteorológica seleccionada, debido a que dependen en gran medida de la latitud del lugar.

En las tablas 4.8, 4.9 y 4.10, se muestran los resultados promedios anuales de los coeficientes empíricos para Iquitos, Nauta y Tamshiyacu, respectivamente. También se muestran en estas tablas, la desviación estándar para cada promedio anual de la transmitancia.

**Tabla 4.8.** Resultados de los promedios anuales de los coeficientes empíricos de la estación experimental de Iquitos.

<b>Año</b>	$\bar{a}$	<b>Desv <math>\bar{a}</math></b>	$\bar{B}_b$ (1/°C)	$\bar{C}_b$
2003	0.71	0.14	0.06	1.22
2004	0.78	0.12	0.06	1.22
2005	0.78	0.12	0.06	1.22
2006	0.77	0.13	0.06	1.22
2007	0.77	0.13	0.06	1.22
2008	0.76	0.16	0.06	1.22
2009	0.79	0.14	0.06	1.22
2010	0.79	0.14	0.06	1.22
2011	0.78	0.14	0.06	1.22
2012	0.76	0.15	0.06	1.22
2013	0.75	0.15	0.06	1.22
<b>Promedio</b>	0.77		0.06	1.22

**Tabla 4.9.** Resultados de los promedios anuales de los coeficientes empíricos de la estación experimental de Nauta.

<b>Año</b>	$\bar{a}$	<b>Desv <math>\bar{a}</math></b>	$\bar{B}_b$ (1/°C)	$\bar{C}_b$
2003	0.79	0.14	0.06	1.22
2004	0.78	0.12	0.06	1.22
2005	0.82	0.12	0.06	1.22
2006	0.77	0.13	0.06	1.22
2007	0.76	0.13	0.06	1.22
2008	0.72	0.16	0.06	1.22
2009	0.77	0.14	0.06	1.22
2010	0.76	0.14	0.06	1.22
2011	0.74	0.14	0.06	1.22
2012	0.75	0.15	0.06	1.22
2013	0.75	0.15	0.06	1.22
<b>Promedio</b>	0.76		0.06	1.22

**Tabla 4.10.** Resultados de los promedios anuales de los coeficientes empíricos de la estación experimental de Tamshiyacu.

<b>Año</b>	$\bar{a}$	<b>Desv <math>\bar{a}</math></b>	$\bar{B}_b$ (1/°C)	$\bar{C}_b$
2003	0.78	0.14	0.06	1.22
2004	0.76	0.12	0.06	1.22
2005	0.83	0.12	0.06	1.22
2006	0.82	0.13	0.06	1.22
2007	0.84	0.13	0.06	1.22
2008	0.75	0.16	0.06	1.22
2009	0.75	0.14	0.06	1.22
2010	0.77	0.14	0.06	1.22
2011	0.76	0.14	0.06	1.22
2012	0.78	0.15	0.06	1.22
2013	0.76	0.15	0.06	1.22
<b>Promedio</b>	0.78		0.06	1.22

#### 4.6. RESULTADOS DE LA IRRADIACIÓN SOLAR TERRESTRE

Para determinar la irradiación solar terrestre en Iquitos, Nauta y Tamshiyacu, fue necesario los valores de sus latitudes, las temperaturas mínimas y máximas y los coeficientes empíricos determinados en cada una de estos lugares, con información recabada entre los años 2003 y 2013.

Adicionalmente, en esta sección, se muestra las curvas de irradiación solar terrestre para las tres estaciones escogidas entre los años 2003 y 2013. Estas curvas se pueden observar desde la figura 4.10 hasta la figura 4.12.

**Tabla 4.11.** Irradiación solar terrestre en Iquitos: promedios mensual y anual. 2003-2013.

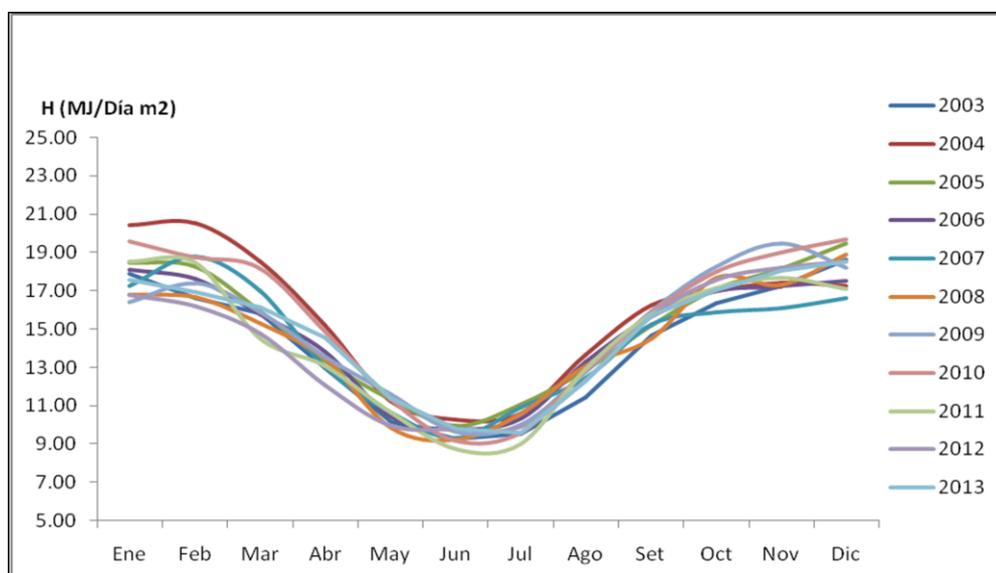
Mes	Año										
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<b>Ene</b>	17.90	20.43	18.46	18.11	17.28	16.81	16.40	19.57	18.52	16.79	17.56
<b>Feb</b>	16.62	20.53	18.25	17.60	18.78	16.65	17.39	18.75	18.46	16.18	16.92
<b>Mar</b>	15.85	18.50	15.92	15.75	16.97	15.28	15.89	18.18	14.50	14.75	16.16
<b>Abr</b>	12.99	15.18	13.36	13.83	13.03	13.44	13.56	14.86	13.08	12.07	14.54
<b>May</b>	10.18	11.25	11.32	10.42	10.66	9.85	11.59	11.34	10.65	9.96	11.40
<b>Jun</b>	9.28	10.27	9.95	9.79	9.30	9.24	9.64	9.17	8.72	9.78	9.78
<b>Jul</b>	9.55	10.61	11.06	10.34	10.89	10.60	10.01	9.61	9.00	9.91	9.57
<b>Ago</b>	11.41	13.68	12.86	13.27	12.43	13.08	12.74	12.87	12.93	12.32	12.30
<b>Set</b>	14.67	16.23	15.18	15.67	15.23	14.50	15.93	15.82	15.76	15.68	15.70
<b>Oct</b>	16.36	17.01	17.09	17.01	15.86	17.66	18.28	18.02	17.13	17.57	17.04
<b>Nov</b>	17.23	17.40	18.17	17.23	16.10	17.31	19.45	19.00	17.67	18.21	18.04
<b>Dic</b>	18.62	17.24	19.45	17.52	16.59	18.90	18.21	19.68	17.11	18.51	18.52
<b>Prom anual</b>	14.22	15.69	15.09	14.71	14.43	14.44	14.92	15.57	14.46	14.31	14.79

**Tabla 4.12.** Irradiación solar terrestre en Nauta: promedios mensual y anual. 2003-2013.

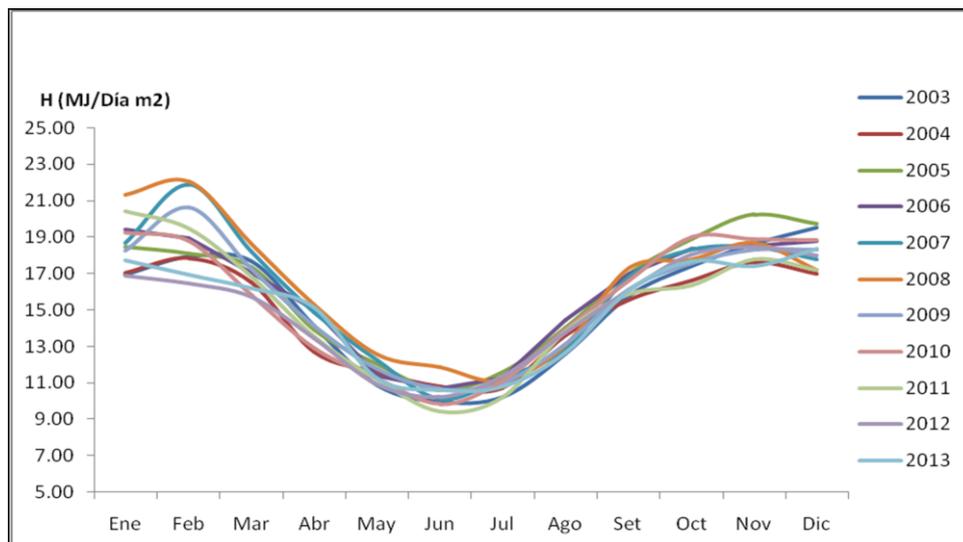
Mes	Año										
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<b>Ene</b>	16.92	17.02	18.45	19.44	18.67	21.32	18.24	19.27	20.42	16.91	17.74
<b>Feb</b>	17.93	17.85	18.11	18.96	21.89	22.05	20.63	18.81	19.48	16.45	16.91
<b>Mar</b>	17.69	16.54	17.37	17.05	18.18	18.64	17.23	15.80	16.82	15.71	16.18
<b>Abr</b>	14.14	12.71	13.93	15.05	14.90	15.30	14.16	12.90	13.53	13.47	15.12
<b>May</b>	10.88	11.61	12.03	11.38	12.23	12.53	11.75	11.24	11.18	10.91	11.24
<b>Jun</b>	9.96	10.82	10.59	10.72	10.11	11.85	10.68	9.84	9.46	10.24	10.62
<b>Jul</b>	10.23	10.74	11.59	11.30	11.30	11.13	11.02	11.14	10.23	11.36	10.79
<b>Ago</b>	12.59	13.62	14.03	14.45	12.88	13.07	13.15	13.90	13.80	13.78	12.65
<b>Set</b>	15.78	15.57	17.01	16.98	16.81	17.28	16.16	16.63	15.86	16.07	16.09
<b>Oct</b>	17.39	16.64	18.87	18.35	18.32	17.76	17.57	19.01	16.34	18.02	17.69
<b>Nov</b>	18.63	17.61	20.24	18.51	18.48	18.69	18.31	18.88	17.80	18.48	17.40
<b>Dic</b>	19.55	16.98	19.75	18.79	17.77	17.20	18.31	18.84	17.22	17.99	18.35
<b>Prom anual</b>	15.14	14.81	16.00	15.92	15.96	16.40	15.60	15.52	15.18	14.95	15.07

**Tabla 4.13.** Irradiación solar terrestre en Tamshiyacu: promedios mensual y anual. 2003-2013.

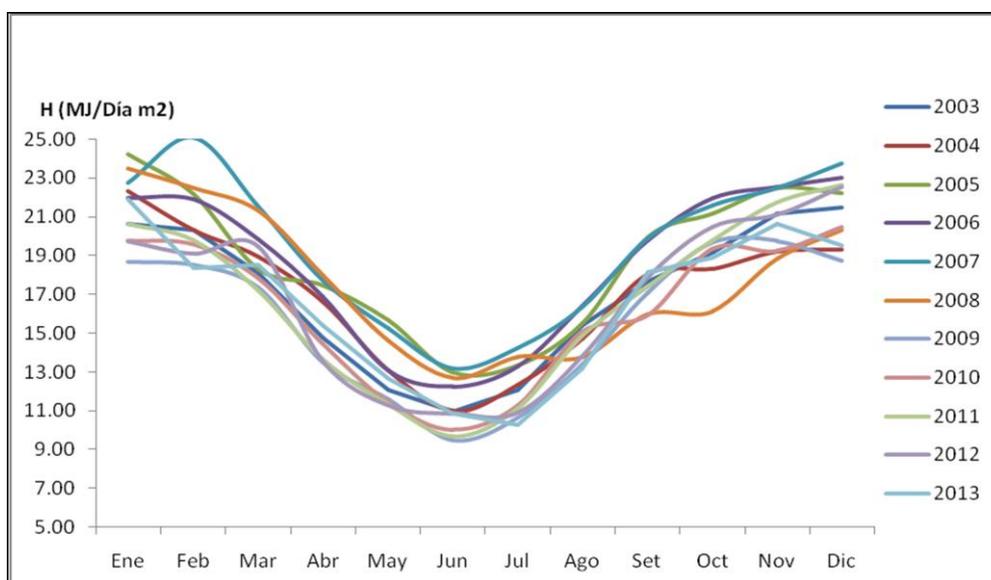
Mes	Año										
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Ene	20.66	22.33	24.25	21.97	22.73	23.50	18.67	19.76	20.64	19.75	21.91
Feb	20.31	20.31	22.17	21.89	25.08	22.51	18.51	19.56	19.81	19.11	18.38
Mar	18.10	18.95	18.31	19.83	21.56	21.31	17.35	17.81	17.19	19.48	18.50
Abr	14.75	16.64	17.49	16.88	17.71	17.99	13.48	14.45	13.64	13.54	15.42
May	12.05	13.08	15.67	13.05	15.24	14.62	11.59	11.46	11.34	11.27	12.65
Jun	10.95	11.00	12.99	12.25	13.18	12.71	9.49	10.04	9.67	10.87	10.84
Jul	12.10	12.35	13.35	13.29	14.24	13.78	10.66	11.30	11.14	10.89	10.27
Ago	15.41	14.74	15.51	16.38	16.34	13.77	13.40	15.07	14.85	13.80	13.20
Set	17.68	18.06	19.96	19.77	19.91	15.98	17.09	15.94	17.42	17.89	18.12
Oct	19.15	18.33	21.15	21.94	21.56	16.13	19.66	19.36	19.78	20.48	18.87
Nov	21.17	19.19	22.48	22.54	22.47	18.83	19.76	19.25	21.75	21.10	20.64
Dic	21.46	19.30	22.22	23.02	23.75	20.31	18.73	20.49	22.66	22.56	19.51
Prom anual	16.98	17.02	18.79	18.57	19.48	17.62	15.70	16.21	16.66	16.73	16.53



**Figura 4.10.** Curvas de irradiación solar terrestre (Iquitos 2003-2013), mediante SISA.



**Figura 4.11.** Curvas de irradiación solar terrestre (Nauta 2003-2013), mediante SISA.



**Figura 4.12.** Curvas de irradiación solar terrestre (Tamshiyacu 2003-2013), mediante SISA.

---

# CAPÍTULO V

## DISCUSIÓN

Al comparar los resultados que se muestran en la tabla 4.1 (obtenidos mediante SISA), con los resultados que se muestran en la tabla 4.5 (obtenidos mediante la plataforma de Excel), se puede observar que no existe diferencia entre los mismos.

En la tabla 5.1, se aprecian los valores de la irradiación solar extraterrestre en las tres estaciones seleccionadas en el año 2003, los que se encuentran entre un rango de 24.07 MJ/día m<sup>2</sup> a 44.54 MJ/día m<sup>2</sup>.

**Tabla 5.1.** Resultados de la irradiación solar extraterrestre promedio (MJ/día m<sup>2</sup>)

	Iquitos	Nauta	Tamshiyacu
Máximo	44.54	44.13	44.28
Mínimo	24.07	24.28	24.20
Promedio	35.74	35.65	35.68
Desviación	7.36	7.11	7.20

También al comparar las curvas de irradiación solar extraterrestre, para cada una de las tres estaciones escogidas, obtenidas mediante las tres plataformas mencionadas (SISA, Excel y Simulink de Matlab), se puede observar que dichas curvas tienen el mismo comportamiento.

En la tabla 4.8, se aprecia los valores encontrados de la transmitancia para la estación de Iquitos con la información de las temperaturas entre los años 2003 y 2013, siendo un valor máximo de 0.79 y un valor mínimo de 0.71, con un promedio de 0.77 y una desviación estándar que fluctúa entre 0.12 y 0.16.

En la tabla 4.9, se aprecia los valores encontrados de la transmitancia para la estación de Nauta con la información de las temperaturas entre los años 2003 y 2013, siendo un valor

---

máximo de 0.82 y un valor mínimo de 0.72, con un promedio de 0.76 y una desviación estándar que fluctúa entre 0.12 y 0.16.

En la tabla 4.10, se aprecia los valores encontrados de la transmitancia para la estación de Tamshiyacu con la información de las temperaturas entre los años 2003 y 2013, siendo un valor máximo de 0.84 y un valor mínimo de 0.75, con un promedio de 0.78 y una desviación estándar que fluctúa entre 0.12 y 0.16.

En la tablas 4.11, 4.12 y 4.13, se puede apreciar que los resultados de la irradiación solar terrestre en las tres estaciones escogidas, simulados con los datos de temperatura mínima y máxima registrado desde el año 2003 al 2013, entre los meses de noviembre y abril los promedios son altos y entre los meses de mayo a octubre los promedios son bajos, observando valores mucho más bajos en los meses de junio y julio, lo que confirma las dos estaciones definidas en el trópico ecuatorial de invierno y verano.

En la tabla 4.11, se observa para la estación de Iquitos, que el valor máximo alcanzado de la irradiación solar terrestre en el periodo 2003 a 2013, es de 15.69 MJ/día m<sup>2</sup> y el valor mínimo es 14.22 MJ/día m<sup>2</sup>, con una oscilación de  $\pm 0.5$  MJ/día m<sup>2</sup>.

En la tabla 4.12, se observa para la estación de Nauta, que el valor máximo alcanzado de la irradiación solar terrestre en el periodo 2003 a 2013, es de 16.4 MJ/día m<sup>2</sup> y el valor mínimo es 14.81 MJ/día m<sup>2</sup>, con una oscilación de  $\pm 0.52$  MJ/día m<sup>2</sup>.

En la tabla 4.13, se observa para la estación de Tamshiyacu, que el valor máximo alcanzado de la irradiación solar terrestre en el periodo 2003 a 2013, es de 19.48 MJ/día m<sup>2</sup> y el valor mínimo es 15.70 MJ/día m<sup>2</sup>, con una oscilación de  $\pm 1.18$  MJ/día m<sup>2</sup>. Esto hace que las curvas de irradiación solar terrestre para esta estación, estén más separadas (véase la figura 4.12) si se compara con las curvas de irradiación solar terrestre para las estaciones de Iquitos y Nauta (véase las figuras 4.10 y 4.11).

---

# CAPÍTULO VI

## CONCLUSIONES

Para lograr el objetivo general se tuvo que lograr cada objetivo específico, es así, que al concluir el presente estudio se hace precisiones sobre cada objetivo específico a fin de conocer el logro y agrupar esta información para responder a la conclusión general.

### 6.1. CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

1. La validez y confiabilidad del software SISA, se ha logrado totalmente comparando los resultados obtenidos mediante las plataformas de Excel y Simulink de Matlab, de lo cual se observaron que no existe diferencia entre los mismos.
2. Como se aprecia en las tablas 4.8, 4.9 y 4.10, que corresponden a los resúmenes anuales de los coeficientes de  $a$ ,  $B_b$  y  $C_b$ , de las estaciones seleccionadas: se concluye que para el caso de Iquitos el valor determinado de  $a$  es 0.77, para el caso de Nauta es de 0.76 y para el caso de Tamshiyacu es 0.78. En las tres estaciones seleccionadas, los valores de los coeficientes  $B_b$  y  $C_b$  son iguales a 0.06 y 1.22, respectivamente.
3. Al realizar la simulación de la irradiación solar terrestre para las estaciones seleccionadas (Iquitos, Nauta y Tamshiyacu) con los datos procesados de las temperaturas mínimas y máximas de los mismos, se ha logrado conocer el comportamiento de la irradiación solar terrestre, la cual se puede variar en cualquier momento conociendo los datos de latitud del lugar y las temperaturas máxima y mínima.
4. Al analizar e interpretar los resultados del Software SISA para la simulación de la irradiación solar extraterrestre se puede decir, que es confiable, porque no difieren de los resultados que se obtienen de la plataforma de Excel y de Simulink de Matlab, y además porque permite conocer el comportamiento de la energía solar en los lugares de estudio que se ha seleccionado y que adicionando otras latitudes de otros

---

lugares con las temperaturas mínimas y máximas correspondientes al lugar, se puede conocer el comportamiento de la irradiación solar terrestre en otros distritos de las 51 estaciones que tiene instalados el SENAMHI-Loreto.

## **6.2. CONCLUSIÓN GENERAL**

- Se ha logrado evaluar el software SISA para la simulación de la irradiación solar al validarlo y determinar su confiabilidad, los cuales han permitido simular la irradiación solar extraterrestre y terrestre en las estaciones de Iquitos, Nauta y Tamshiyacu dentro del ámbito de la Amazonía Peruana en el periodo 2014, haciendo uso de datos históricos desde el año 2003 al 2013.
- Por lo tanto, se cree que como resultados del presente estudio, se cuenta con un documento (informe final) y con un instrumento (SISA) que permitan estudiar el cambio climático y sus efectos en el medio ambiente, en especial en la Amazonía Peruana.

---

# CAPÍTULO VII

## RECOMENDACIONES

1. Continuar con los estudios de determinar la irradiación solar con otras estaciones experimentales del SENAMHI–Loreto, a fin de cubrir información solar en el ámbito territorial y tener como resultado un mapa solar en la Amazonía Peruana.
2. Dar a conocer los resultados encontrados a las autoridades locales y regionales (Universidades, INIA, SENAMHI-Loreto, Defensa Civil, DIGESA, Dirección Regional de Energía y Minas).
3. Buscar apoyo financiero para la continuación de los estudios posteriores y automatizarlo para la toma de datos en tiempo real.
4. Promover su uso en la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, como instrumento de apoyo en los diversos estudios académicos y de investigación a nivel de pre y posgrado.

---

# ANEXO

## TERMINOLOGÍA

**Alcance.** Diferencia entre los valores superior e inferior del rango.

**Calibración.** Procedimiento que pone a prueba el instrumento de adquisición de datos frente a un valor referencial o patrón.

**Confiabilidad.** Grado de consistencia del instrumento, es decir grado en el que el dispositivo proporciona lecturas iguales cuando las variables medidas toman el mismo valor a condiciones iguales. Cuando no se exige que las condiciones de medida sean idénticas esta característica se conoce como reproducibilidad. También denota el grado de congruencia o precisión con el cual el instrumento mide un atributo. Su valor fluctúa entre el 0 y 1. Cuanto más cerca se encuentra al 1 el instrumento es más confiable, es decir, el instrumento tendrá menor grado de error en las mediciones hechas. Por ejemplo, si nos encontramos realizando una calibración de un sensor electroquímico usamos una curva de regresión lineal que genera un coeficiente de regresión lineal igual a 0.999, esto señala que el sensor es muy confiable.

**Efectividad.** Calidad de efectivo. Realizar una acción que se ha planeado.

**Eficaz.** Que produce el efecto deseado.

**Eficiencia.** Capacidad para realizar o cumplir bien una función.

**Error de medida.** Diferencia entre la medida producida por el instrumento y la medida ideal.

**Estabilidad.** De un instrumento, se ocupa de la magnitud con la cual el instrumento genera los mismos resultados en aplicaciones repetidas (**reproducibilidad**), es corroborado por técnicas de prueba y nueva prueba. Si provocamos una reacción al instrumento, el reacciona

---

desestabilizándose y con el transcurso del tiempo vuelve a su estabilidad reproduciendo los valores conocidos.

**Precipitación pluvial.** Descarga de aguas contenida en la atmosfera a la superficie de la tierra en mm/año.

**Precisión.** Grado en que la variable que se mide se aproxima al valor del patrón de medida o valor ideal.

**Presión.** Es una magnitud física que mide la proyección de la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie y sirve para caracterizar cómo se aplica una determinada fuerza resultante sobre una línea, sus unidades son: kPa, lbf/pulg<sup>2</sup>, atm, mmHg, etc.

**Ángulo horario solar ( $T$ ).** Es el ángulo entre el meridiano del observador y el meridiano que contiene al Sol. Se mide sobre el plano del Ecuador. Varía una tasa constante de 15 grados/hora y define el tiempo solar. Por convención se toma  $T = 0$  a medio día solar,  $T < 0$  en la mañana y  $T > 0$  en la tarde.

**Declinación solar ( $S$ ).** Ángulo formado por la línea Tierra-Sol con el plano ecuatorial. Es nulo en los equinoccios, negativo en el verano (hemisferio sur) y positivo en el invierno.

**Heliofanía.** Sinónimo de horas de sol. Estimación de la irradiancia diaria incidente sobre el suelo por encima del umbral (convencional) de 120 W/m<sup>2</sup>.

**Irradiancia ( $G$ ).** Potencia incidente por unidad de superficie (W/m<sup>2</sup>) sobre un plano dado. Es la integral de la irradiancia espectral.

**Constante solar.** Es la irradiancia solar media incidente sobre una superficie normal a la dirección de la propagación, ubicada en el exterior de la atmósfera y a una distancia media tierra-sol. Se adopta el valor convencional de  $K_S = 1367 \text{ W/m}^2$ .

---

**Irradiación ( $I$ ).** Es la energía incidente por unidad de área ( $J/m^2$ ) sobre un plano dado. Es la irradiancia acumulada en el tiempo. Resulta de integrar la irradiancia en un intervalo de tiempo  $I = \int_{t_1}^{t_2} G dt$ . Antiguamente se denominaba “insolación” a la irradiación diaria.

**Irradiancia espectral ( $G_\lambda$ ).** Se define de modo que  $G_\lambda d\lambda$  es la irradiancia sobre un plano dado en un intervalo diferencial de longitud de onda entre  $\lambda$  y  $\lambda + d\lambda$ . Sus unidades son  $W/(m^2nm)$ .

**Radiación difusa.** Es la componente de la radiación solar que llega al suelo luego de ser dispersada, al menos una vez, en la atmósfera.

**Radiación directa.** Es la componente de la radiación solar que llega al suelo procedente de un pequeño ángulo sólido (pero que subtiende un ángulo mayor a  $0.5^\circ$ ) centrado en el disco solar.

**Radiación global.** Es la radiación solar que llega al suelo, suma de las componentes directa y difusa.

**Rango.** Conjunto de valores de la variable que puede ser medido por el instrumento.

**Resolución.** Incremento más pequeño de la variable de medida que produce un cambio observable en la salida o lectura del instrumento. Se expresa en términos absolutos o en términos porcentuales sobre el alcance.

**Sesgo.** Es un error constante que afecta a la medida en todo su rango. Es un error que no tiene un carácter aleatorio y que puede ser corregido mediante la calibración del instrumento o la validez.

**Sistema.** Conjunto de elementos organizados metódicamente.

**Sistema de simulación de la irradiación solar.** Conjunto de elementos de software, debidamente organizados, mediante el cual se podrá simular los valores introducidos.

---

El comportamiento de la irradiación solar extraterrestre y la irradiación solar terrestre, a partir de datos de entrada como la latitud del lugar, el día del año y la temperatura máxima y mínima.

**Temperatura.** Medida de la intensidad del calor. Es una magnitud referida a las nociones comunes de caliente o frío. Por lo general, un objeto más "*caliente*" que otro puede considerarse que tiene una temperatura mayor, y si es frío, se considera que tiene una temperatura menor. En física, se define como una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica. Más específicamente, está relacionada directamente con la parte de la energía interna conocida como "*energía sensible*", que es la energía asociada a los movimientos de las partículas del sistema, sea en un sentido traslacional, rotacional, o en forma de vibraciones.

**Umbral.** Es el valor mínimo que tiene que alcanzar la variable para que el instrumento o software proporcione un valor de medida.

**Validación.** Procedimiento con el cual se da por aceptado la validez de un instrumento para su aplicación mediante la opinión de expertos en el tema.

**Validez La validez.** Denota el grado con el cual un instrumento mide la variable que debe medir, es decir, para lo que está diseñado y esto puede ser; validez interna y validez externa.

**Validez interna.** Es el grado con el cual se deduce que en el tratamiento experimental o no experimental, la variable independiente es la causa de los efectos observados, y no, otros factores extraños no controlados dentro de un contexto específico.

**Validez externa.** Cuando los resultados de un estudio pueden ser generalizados a muestras o medios diferentes de lo estudiado.

**Viento.** Desplazamiento de las masas del aire por diferencia de presión o densidad.

---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arellano J. “La creciente del Amazonas y las inundaciones en Loreto”. Iquitos-Perú: Revista Ceta; 2012.
2. Rodrich R. “Inundación en Iquitos pone en riesgo a 53 mil personas”. Lima-Perú: Diario El Comercio; abril del 2012.
3. Cok-Moura J. “Loreto: Autoridades anuncian fin de la creciente pero sigue la emergencia”. Lima-Perú: Diario Correo; abril del 2012.
4. RPP Noticias. “Iquitos: Suspenden conexiones de agua por inundaciones”. Lima-Perú: RPP Noticias; abril del 2012.
5. Agencia Peruana de Noticias. “Crecida del río Amazonas inundó 26 mil hectáreas de cultivo en Loreto”. Iquitos-Perú: Andina; abril del 2012.
6. Agencia Peruana de Noticias. “MINSA brindó cerca de 4,600 atenciones en albergues de damnificados en Loreto Iquitos-Perú: Andina; abril del 2012.
7. Parry M. and Carter, T. “Climate Impact and Adaptation Assessment”. A Guide to the IPCC Approach. London: Earthscan Publications Ltd; 1998, p. 166.
8. Leemans R. and Solomon A. M. “Modeling the potential change in yield and distribution of the earth's crops under a warmed climate”. *Clim. Res.* 3: 79-96; 1993.
9. Rosenzweig C. and Parry M. L. “Potential impacts of climate change on world food supply”. *Nature* 367: 133-138; 1994.
10. Mela T. J. N. “Northern agriculture: constraints and responses to global climate change”. *Agric. Food Sci. Fin.* 5: 229-234; 1996.

- 
11. Reilly J., Baethgen W., Chege F. E., Van de Geijn S.C., Erda L., Iglesias A. *Climate Change 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp. 427- 467.
  12. Kenny G. J., Harrison P. A., Olesen J. E, and Parry M. L. “The effects of climate change on land suitability of grain maize, winter wheat and cauliflower in Europe”. *European Journal of Agronomy* 2: 325-338; 1993.
  13. Idso S.B., Kimball B. A., Anderson, M. G. and Mauney J. R. “Effects of atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment on plant growth: the interactive role of air temperature”. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 20: 1-10; 1987.
  14. Lawlor D.W. and Mitchell, A. C. “The effects of increasing CO<sub>2</sub> on crop photosynthesis and productivity: a review of field studies”. *Plant, Cell and Environ;* 1991.
  15. Wheeler, T.R, Batts, G. R., Ellis, R. H., Hadley, P. and Morison, J. I. L. “Growth and yield of winter wheat (*Triticumaestivum*) crops in response to CO<sub>2</sub> and temperature”. *J. Agric. Sci.* 127: 37-48; 1996.
  16. Hakala K. “Effects of climate change in the north on growth, yield formation and photosynthesis of spring wheat and meadow fescue”. *Academic dissertation. Turku University Publications; Series AII, N° 110, Turku, Finland; 1998.*
  17. Allen, L. H., Jr. “Plant responses to rising carbon dioxide and potential interactions with air pollutants”. *J. Environ. Qual.* 19: 15-34; 1990.
  18. Cure J. D. and Acock B. “Crop responses to carbon dioxide doubling: a literature survey”. *Agric. For. Met.* 38: 127-145; 1986.

- 
19. Bowes, G. "Growth at elevated CO<sub>2</sub>: photosynthetic responses mediated through". Rubisco. *Plant, Cell and Environ.* 14: 869-875; 1991.
  20. Warrick, R. A., Gifford, R. M. and Parry, M. L. "CO<sub>2</sub>, climatic change and agriculture". In: Bolin, B., Döös, B.R., Jäger. J. and Warrick, R.A. (Eds). *The Greenhouse Effect, Climatic Change and Ecosystems. SCOPE 29*, Wiley, Chichester, UK. pp. 393-474; 1986.
  21. Batts, G. R., Morison, J. I. L., Ellis, R. H., Hadley P. and Wheeler T. R. "Effects of CO<sub>2</sub> and temperature on growth and yield of crops of winter wheat over several seasons". *Eur. J. Agron.* 7: 43-52; 1997.
  22. Rosenzweig C. and Hillel D. "Climate Change and the Global Harvest. Potential Impacts of the Greenhouse Effect on Agriculture". Oxford University Press, New York, USA; 1998. 324 p.
  23. Marengo J. "Climatología de la zona de Iquitos en el Perú". Libro de Kalliola R. y Flores Paitan S; 1998.
  24. Benites J. C. "Estimación de la radiación solar en Iquitos". Convenio IIAP-UNAP; 1986.
  25. Díaz J. A., et al. "Estudio de las variables climáticas y su influencia en el comportamiento del clima en la ciudad de Iquitos". Proyecto – OGINV-UNAP; 2013.
  26. SENAMHI. "Atlas de la energía solar en el Perú". Lima; Junio del 2003.
  27. FAO.
  28. OMS.

- 
29. Almanza R. y López S. “Radiación solar en la República Mexicana mediante datos de insolación”. Series del Instituto de Ingeniería, UNAM, 357, México, 1-23; 1975.
  30. Fernández J. L. y Estrada-Cajigal V. “Cálculo de la radiación solar instantánea en la República Mexicana”. México, D.F. Instituto de Ingeniería, *Series del Instituto de Ingeniería, UNAM*, N°. 472; 1983.
  31. Galindo I. y Chávez A. “Estudio del clima solar en la República Mexicana”. México, D.F. Instituto de Geofísica, UNAM; 1977.
  32. Jáuregui E. “La radiación global en México”. Revista recursos hidráulicos (SARH). VII (2): 95-106; 1978.
  33. Hernández E. “La distribución de la radiación global en México evaluada mediante la fotointerpretación de la nubosidad observada por satélites meteorológicos”. México, D.F. Centro de Investigación de Materiales, UNAM; 1976.
  34. Justus C. G., Paris M. V. y Tarpley J. D. “Satellite - measured insolation in the United States, México, and South America”. *Remote Sensing of Environment*. 20: 57-83; 1986.
  35. Estrada-Cajigal V. “Datos de radiación solar en la República Mexicana, alcances y limitaciones”. Asociación Nacional de Energía Solar. *La Revista Solar*. N° 21; verano de 1992.
  36. Bahm R. y Estrada-Cajigal V. “Encuesta acerca de la experiencia y opinión de la industria de México y de los EE.UU. respecto a la confiabilidad, utilidad y disponibilidad de los datos de la intensidad de la radiación solar en México”. Contrato AD-718, Sandia National Labs; 1993.

- 
37. Gueymard C. “Mathematically integrable parameterization of clear-sky beam and global irradiances and its use in daily irradiation applications”. *Solar Energy*. 50(5): 385-397; 1993.
  38. Renné D., George R. Brady L., Marion B. y Estrada-Cajigal V. “Estimating solar resources in México using cloud cover data”. Proceedings of the Millenium Solar Forum 2000, International Solar Energy Society y Asociación Nacional de Energía Solar, México; 2000.
  39. Estrada-Cajigal V. y Almanza R. “Irradiaciones global, directa y difusa, en superficies horizontales e inclinadas, así como irradiación directa normal, para la República Mexicana”. Serie Investigación y Desarrollo del Instituto de Ingeniería, UNAM, SID/646, México; 2005. pp. 64.
  40. Galindo I. y Cifuentes G., “Irradiación Solar Global en la República Mexicana, Valores Horarios Medios”. Programa Universitario de Energía. Instituto de Geofísica, (UNAM); 1996.
  41. Estrada-Cajigal V. y Rodríguez I. “Irradiación global medida en la República Mexicana. *Memorias del XXX Congreso de la Asociación Nacional de Energía Solar*. Veracruz; 2006A.
  42. Estrada-Cajigal V. y Rodríguez I. “Irradiación global medida en la República Mexicana. *Memorias del XXX Congreso de la Asociación Nacional de Energía Solar*. Veracruz; 2006B.
  43. Castelli F. “Evaluation of three practical methods for estimating daily solar radiation in dry climates”. *The open atmospheric science journal*. 2: 185-191; 2008.
  44. Incropera F. P., DeWitt D. P., “Fundamentos de Transferencia de Calor”, 4a. edición, México: Prentice-Hall; 1999. pp. 8-30.

- 
45. Holman J.P., “Transferencia de Calor”, 10a. reimpresión, México: Compañía Editorial Continental; 1999. pp. 10-25.
  46. Jaramillo G. “El bosque amazónico y el cambio climático”. El papel de la amazonia en el clima global y continental: impactos del cambio climático y la deforestación”. Colombia. Cap. 4; 2010. pp. 146-156.
  47. Sombroek W. “Spatial and temporal patterns of Amazon rainfall”, *Ambio* 30 (7): 388-396; 2001.
  48. Almorox J. y Hontoria C. “Energy Convers”. *Manage.* 45: 1529; 2004.
  49. Hargreaves G. H., Samani Z. A. “Irrig J. and Drain. Engr. 108: 223; 1982.
  50. Hargreaves G. H. “Simplified coefficients for estimating monthly solar radiation in North America and Europe”: Utah State University (Logan, Utah.); 1994. p. 9.
  51. Annandale J. G., Jovanic N. Z., Benade N., Allen R. G., “Irrig. Sci”. 21: 57; 2002.
  52. Bristow K. L. y Campbell G. S. “Agric. For. Meteorol”. 31: 159; 1984.
  53. Meza F. y E. “Agric. For. Meteorol”. 100: 231; 2000.
  54. Huschke R. E. “Glossary of Meteorology”. Boston: American Meteorological Society, Second printing; 1970.
  55. McIntosh D. H. “Meteorological Glossary”. Her Majesty's Stationery Office, Met. O. 842, A.P. 897; 1972. p.319.

- 
56. Kotték M. J. Grieser C. Beck B. R. and Rubel F. “World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated”. *Meteorol. Z.*, 15, DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130; 2006. pp. 259-263.
  57. <http://maps.google.com.pe/maps>.
  58. SENAMHI. “Informe técnico 010”. Iquitos-Perú; 2012.
  59. Rodríguez M. “Crecimiento Urbano de Iquitos: Condicionamientos Estructurales en la década del 70 y sus Perspectivas”. IIAP; julio de 1994.
  60. Climate Classification and Climatic Regions of the World [Physical Geography.net](http://PhysicalGeography.net). Consultado el 30 de agosto de 2012.
  61. Geography and Climate Information for Iquitos Peru. [TravelBlog](http://TravelBlog.com). Consultado el 19 de abril de 2012.
  62. Iquitos Weather and Climate: Iquitos-Loreto-Perú. [World-Guide](http://World-Guide.com). Consultado el 19 de abril de 2012.
  63. Clima en Iquitos. [Tu Tiempo](http://TuTiempo.net). Consultado el 2 de septiembre de 2012.
  64. [Tu Tiempo.net](http://TuTiempo.net). Consultado el 19 de abril de 2012.
  65. Diario La Región. “SENAMHI pronostica continuación de friaje en Iquitos”; 30 de junio de 2011. Consultado el 19 de abril de 2012.
  66. Weather in Iquitos-Peru. [The Titi Tudorancea Bulletin](http://TheTitiTudoranceaBulletin.com). Consultado el 2 de setiembre de 2012.

- 
67. Climatological Information for Iquitos-Peru. Hong Kong Observatory. Consultado el 2 de setiembre de 2012.
  68. Iquitos Climate Guide. Shooting on Location. Consultado el 2 de setiembre de 2012.
  69. Agencia Peruana de Noticias. Loreto soporta nueva ola de calor con temperaturas de hasta 37 grados Andina; abril del 2012.
  70. Agencia Peruana de Noticias. “Loreto soporta ola de calor, lluvias y friaje, informa SENAMHI”. Andina. Consultado el 28 de setiembre del 2012.
  71. “Un total de 52 viviendas fueron afectadas por ventarrón”. Iquitos-Perú: Diario La Región; 2012.
  72. “Altísima temperatura combinada con lluvias signo del cambio climático”. Diario La Región; 2 de noviembre del 2012.
  73. Lázaro A. “LabVIEW. Programación gráfica para el control de instrumentación”. 1a. edición. Madrid-España: Editorial Paraninfo; 1997.