

Software de simulación para la radiación solar (SSRS) en la Amazonía peruana (Iquitos, Nauta, Tamshiyacu)

Solar radiation simulation software (SSRS) in the Peruvian Amazon (Iquitos, Nauta, Tamshiyacu)

Gilmer Rojas Pisco¹, Josué Flores García¹, Juan Arturo Díaz Rengifo² y Marco Antonio Paredes Riberos³

Recibido: julio 2015

Aceptado: agosto 2015

RESUMEN

El presente trabajo es producto de un estudio de tesis de maestría en la Escuela de Postgrado de la UNAP en el tema de cambio climático en la Amazonía peruana. El objetivo principal del proyecto fue, inicialmente, evaluar un *software* para la simulación de la irradiación solar para la Amazonía peruana, con información registrada de tres estaciones meteorológicas experimentales seleccionadas de las 51 estaciones que tiene el Senamhi Loreto. Las estaciones seleccionadas fueron las de Iquitos, Nauta y Tamshiyacu en un periodo aproximado de diez años. Se hizo uso del instrumento virtual, *software* de simulación de la radiación solar (SSRS), que tuvo como objetivo principal conocer el potencial de la energía solar en las diferentes estaciones experimentales del Senamhi Loreto y elaborar un mapa solar en la Amazonía peruana, para que nos posibilite estudiar el cambio climático y sus efectos en la naturaleza como pueden ser la inundación y la sequía, los cambios en la flora y fauna, así como también, su influencia en las diversas actividades económicas como la agricultura, la pesca, el transporte fluvial, la aparición de plagas y epidemias de origen endémico, como la malaria y el dengue entre otros. La metodología del estudio fue de tipo experimental propiamente dicho por la manipulación de las latitudes en cada una de las estaciones meteorológicas seleccionadas y los registros de temperatura del lugar. El diseño fue de carácter descriptivo y explicativo. Los resultados fueron contrastados con otros estudios en la Amazonía latinoamericana.

Palabras claves: SSRS, LabVIEW, Amazonía, Iquitos, Nauta, Tamshiyacu.

ABSTRACT

This work is the product of a Master's thesis study at the Postgraduate School of the UNAP on the subject of Climate Change in the Peruvian Amazon. The main objective was to evaluate initially a software for the simulation of solar radiation in the Peruvian Amazon, based on data registered for approximately ten years in three selected Senamhi Loreto experimental meteorological stations chosen from 51 stations located throughout Loreto. The stations chosen were located in Iquitos, Nauta and Tamshiyacu. The simulation software for solar radiation (SSRS) as a virtual instrument was used and the main objective was to know the potential of solar energy in different experimental stations of Senamhi Loreto, and to prepare a solar map in the Peruvian Amazon, which allows the study of the climate change and its effects on nature such as flood and drought, changes in flora and fauna, as well as its influence on various economic activities such as agriculture, fishing, fluvial transport, the arise of plagues and epidemics of endemic origin, such as malaria and dengue, among others. The study was an experimental type by the manipulation of the latitudes in each one of the chosen stations and the temperature data of the sites. The design was descriptive and explanatory. The results were contrasted with other studies in the Latin American Amazon.

Key words: SSRS, LabVIEW, Amazon, Iquitos, Nauta, Tamshiyacu.

¹ Escuela de Postgrado. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP). Iquitos, Loreto, Perú.

² Facultad de Ingeniería Química. UNAP. Augusto Freyre 616, Iquitos, Loreto, Perú. arturodiaz37@yahoo.es

³ Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi) - Loreto. Iquitos, Loreto, Perú.

INTRODUCCIÓN

Es de conocimiento que la Amazonía peruana está siendo amenazada, debido a diversos procesos físicos, químicos y biológicos, afectando la floración y la fructificación. Los incendios forestales, la erosión de los suelos por las intensas lluvias, las inundaciones, sequías y el desequilibrio biológico de varias especies de importancia económica, afectan el apareamiento, el desove, la migración de las aves y producen el agusanamiento de productos de panllevar, que pone en riesgo la seguridad alimentaria.

El contenido energético de la radiación solar extraterrestre y fundamentalmente la irradiación solar en la superficie de la selva baja en la Amazonía peruana, tiene características muy particulares, debido a su topografía, la naturaleza de sus suelos, la formación dinámica de las nubes y su altitud. Conocer el contenido energético de estas tres estaciones meteorológicas experimentales haciendo uso del *software* aplicativo (SSRS) nos da un idea del comportamiento del contenido energético incidente en las localidades de Iquitos, Nauta y Tamshiyacu, mediante su latitud y las temperaturas extremas, mínima y máxima promedio diario, otor-

gado por el Senamhi Loreto, lo cual, nos permite conocer el potencial de la energía solar en estas tres localidades y ser parte de la elaboración del mapa solar para iniciar el estudio del comportamiento de los microclimas en la Amazonía.

El *software* se elaboró haciendo uso de la plataforma de LabVIEW (Lázaro, 1997) y consta de dos modelos matemáticos, de Kleim S.A. para la radiación solar y de Bristow-Campbell para la irradiación solar (Bristow y Campbell, 1984).

ÁREA DE ESTUDIO DE IQUITOS

Iquitos es la capital de la provincia de Maynas en el departamento de Loreto (figura 1). 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 del Perú y la sexta ciudad más poblada del territorio peruano. Está rodeada por el lago Moronacocho y los ríos Nanay e Itaya, muy cerca del río Amazonas, y asentada en una gran planicie a 109 msnm (<https://www.travelblog.org>).



Figura 1. Vista panorámica del centro de la ciudad de Iquitos.

La ciudad de Iquitos, tiene una población aproximada de 500 000 habitantes, los que viven en el área de Iquitos Metropolitano. Las actividades económicas son de tipo comercial-turístico. Tiene un clima con un escenario lluvioso desde los inicios de noviembre, que es la etapa más húmeda (<http://www.world-guides.com>).

Bajo la clasificación climática de Köppen-Geiger, Iquitos experimenta un clima trópico-ecuatorial (*Af*) (Kottek *et al.*, 2006). 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 hasta los 33 °C. La temperatura promedio anual de Iquitos es 26,7 °C. La lluvia promedio en Iquitos es 2616,2 mm por año. Debido a que las estaciones del año no son sensibles en la zona ecuatorial, Iquitos tiene exclusivamente dos estaciones: invierno y verano.

El Senamhi Loreto en la ciudad de Iquitos cuenta con una estación meteorológica experimental donde se registran las temperaturas, horas de brillo solar, humedad y precipitación pluvial mediante un sistema convencional.

Iquitos tiene un lluvioso invierno, que llega a mediados de noviembre y termina a mediados de mayo. Las precipitaciones alcanzan entre 280 mm y 300 mm a diario. En mayo, el río Amazonas, uno de los ríos más caudalosos de la ciudad, alcanza sus niveles más altos con un promedio de 117 msnm, llegando a su cota más baja en octubre donde su nivel es entre 9 y 12 metros de manera cíclica.

El verano ofrece un clima muy diferente. A pesar que los meses de julio y agosto son los más secos, se mantienen algunos periodos de aguaceros. Los días soleados y el buen tiempo son usuales, y es aprovechado para secar las cosechas, alcanzando temperaturas mínimas de 22 °C y máximas de 32 °C, y como valor

promedio anual de 30 °C (<http://siar.region-loreto.gob.pe>).

Iquitos también experimenta microclimas: las lluvias o garúas pueden estar presentes 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, debido a la carencia de amortiguadores vegetales.

A pesar de tener un clima ecuatorial, Iquitos pasó por climas muy raros: nevó en 1976, 1977, 1994 y 1997; mientras registró caída de granizo blando en 1976, 1979, 1980, 1982, 1983, 1988, 1989, 1991, 1997, 2006, 2008, 2011 (<https://diariocorreo.pe>). En julio de 2000, se registró el enfriamiento más extremo en Iquitos: la temperatura descendió increíblemente hasta los 9 °C, obligando a la población a abrigarse (Mela, 1996).

El año 2012, ocurrió la inundación extraordinaria más importante en Iquitos que alertó a la población y afectó zonas ribereñas y varias poblaciones de su área metropolitana, que tiene una geografía inundable. Las inundaciones de 2012 fueron consideradas como el desastre natural más histórico para Iquitos a la fecha. El clima húmedo en Loreto llevó aguaceros y lloviznas, causando daños e inundaciones al departamento de Loreto desde noviembre de 2011. El clima lluvioso continuó hasta inicios de 2012, y aumentó el nivel de agua en el río Amazonas y sus afluentes hasta 117 msnm, siendo su cota habitual de 109 msnm. Entre febrero y marzo varios pueblos fueron afectados (19 209 familias damnificadas y 18 400 afectadas), 26 000 hectáreas de cultivo fueron inundadas 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.

Otros riesgos naturales son las olas de calor que pueden llegar a más de 37 °C con una sensación térmica de 45 °C, que lo provoca la poca humedad en días despejados (<http://www.andina.com.pe>). 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. Los vientos alisios (que van del norte y del sur hacia el ecuador) también llegan a provocar los ventarrones o torbellinos con velocidades de 60 km/h (Parry y Carter, 1998). En octubre de 2012, Iquitos experimentó temperaturas elevadas y tormentas eléctricas intensas.

ÁREA DE ESTUDIO DE NAUTA

La ciudad de Nauta es la capital de la provincia de Loreto, en el departamento de Loreto (figura 2). Es una apacible y acogedora ciudad situada en el área noreste de la Amazonía peruana, aproximadamente a 100 km al sur de Iquitos. Cuenta con 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 situada a orillas del río Marañón a 98 msnm (Rosenzweig y Parry, 1994), flanqueada por dos pequeños ríos: Gasparito y Zaragoza. Su territorio presenta una topografía ondulada con dos zonas fisiográficas bien definidas: la zona de altura o bosques de desierto y la zona baja, llamada bajeal, está conformada por terrenos de islas del río Marañón. Su clima es muy similar al de la ciudad de Iquitos.



Figura 2. Vista de la ciudad de Nauta.

El Senamhi Loreto en la ciudad de Nauta cuenta con una estación meteorológica experimental donde se registran temperaturas y precipitaciones pluviales mediante un sistema convencional. Tiene una población a la fecha de aproximadamente 30 000 habitantes en el área urbana y urbanomarginal. Sus principales actividades económicas son: el comercio, la pesca, la agricultura, la extracción de madera y frutos del bosque. Su clima es tropical y presenta precipitaciones durante todo el año. Aun en el mes más seco 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 de alrededor de 2448 mm; donde 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.

ÁREA DE ESTUDIO DE TAMSHIYACU

La ciudad de Tamshiyacu es la capital del distrito peruano de Fernando Lores en la provincia de Maynas (figura 3). Es uno de los trece distritos de esta provincia, ubicada en el departamento de Loreto. Se encuentra situada a 107 msnm y aproximadamente a una hora de la ciudad de Iquitos, en viaje por río (Mela, 1996).

El Senamhi Loreto en la ciudad de Tamshiyacu cuenta con una estación meteorológica experimental, donde se registran datos de temperatura mínima, máxima y la precipitación pluvial. El sistema de registro es de tipo convencional. Tamshiyacu cuenta aproximadamente con 6014 habitantes. Las actividades económicas son la pesca, la agricultura, la recolección de frutos del bosque. Sus cultivos emblemáticos son la piña y el humarí. Tiene un clima tropical. Se registran precipitaciones durante todo el año. Hasta en el mes más seco aún tiene mucha lluvia. De acuerdo con Köppen y Geiger su clima se clasifica como *Af*. Su temperatura media anual se encuentra en 26,5 °C. La precipitación es de 2738 mm al año.



Figura 3. Vista de la ciudad de Tamshiyacu.

El mes más seco es agosto, con una precipitación entre 164 mm y 310 mm; mientras que la caída media es en marzo. El mes más caluroso del año con un promedio de 27,2 °C es noviembre. El mes más frío del año es julio, con un promedio de 25,5 °C.

MATERIAL Y MÉTODO

Se contó con una laptop marca hp Compact con procesador AMD Turion 64 x 2 de 1.6 GHz, 1 GB de memoria RAM, en soporte Windows XP, la plataforma de LabVIEW V6i y el *software* de simulación de la radiación solar (SSRS) (Díaz y Paredes, 2015).

El diseño fue experimental propiamente dicho, mediante el uso de la técnica de ensayo y

error. El procedimiento experimental fue insertar las latitudes de los lugares experimentales de Iquitos, Nauta y Tamshiyacu y de las temperaturas mínimas y máximas, promedios diarios correspondientes en el programa SSRS.

RESULTADOS

Radiación solar extraterrestre

Para la obtención de los resultados se introdujeron los valores en el *software* de simulación para la radiación solar (SSRS) en el panel frontal (figura 4), las latitudes de Iquitos 3,45, Nauta 4,31 y Tamshiyacu 4,00 medidos al sur, donde se generó la tabla 1 de los valores correspondientes de la radiación solar extraterrestre y sus gráficas respectivas para

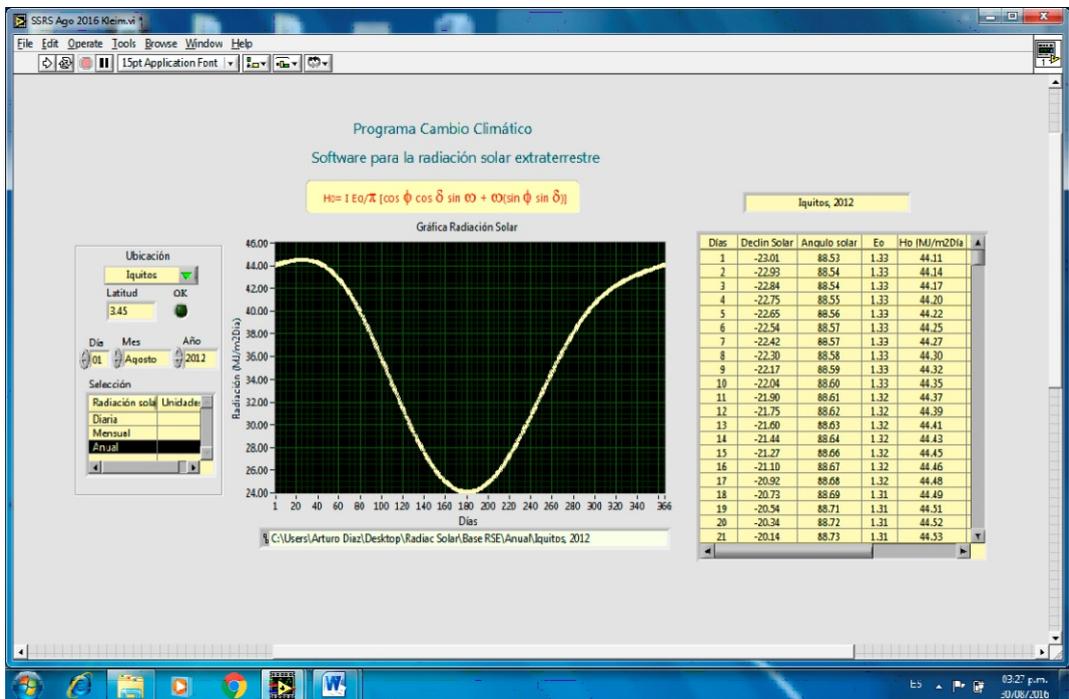


Figura 4. Panel de la radiación solar en el SSRS. Muestra el comportamiento de la radiación solar en la ciudad de Iquitos en el 2012.

cada estación meteorológica experimental en cada ciudad.

Los valores de las tres estaciones meteorológicas experimentales de Iquitos, Nauta y Tamshiyacu, se presentan en la tabla 1, un resumen de la radiación solar extraterrestre, con una tendencia similar entre ellas en unidades MJ/m²día.

Estos valores encontrados, son similares en la exósfera, debido a que se hallan exentos de contaminantes atmosféricos y de nubosidad.

En la figura 5 se muestran las tendencias de las radiaciones solares extraterrestres de las latitudes de Iquitos, Nauta y Tamshiyacu en el periodo del 2003 al 2013.

Tabla 1. Valores de la radiación solar extraterrestre (MJ/m²día).

	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

Fuente: elaboración de los autores.

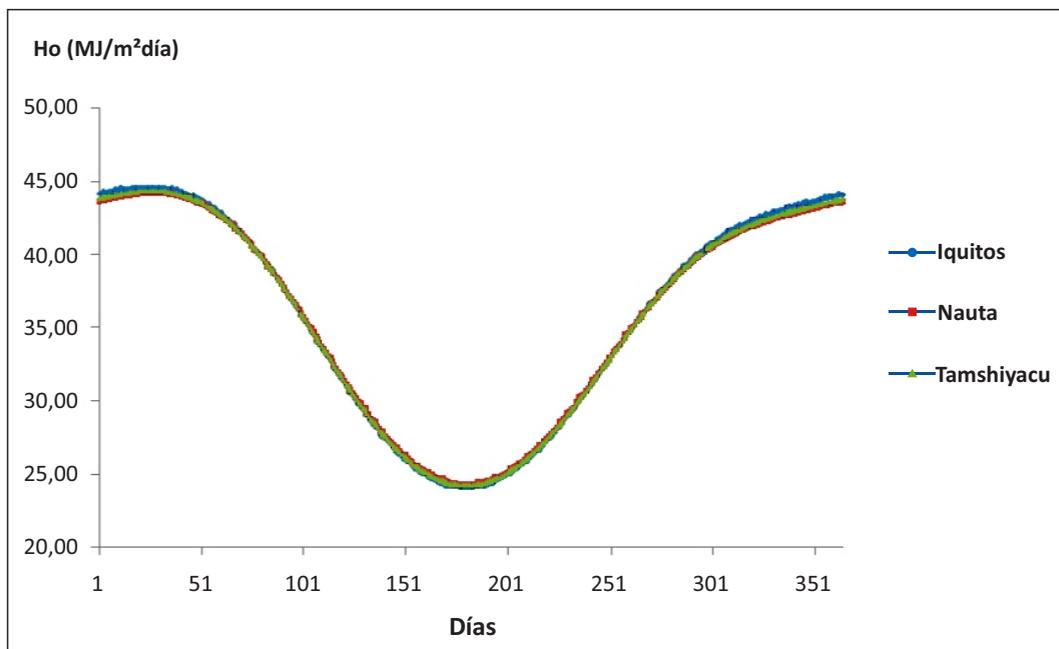


Figura 5. Radiación extraterrestre Iquitos, Nauta y Tamshiyacu 2003-2013.

Irradiación solar

Para determinar los valores de la irradiación solar en las latitudes de Iquitos, Nauta y Tamshiyacu, se hizo uso del SSRS. En el panel frontal (figura 6) se introdujeron los valores de las latitudes y las temperaturas máximas y mínimas, promedios diarios, los cuales generan los valores de los coeficientes de transmitancia (α), el coeficiente que depende del aire, la contaminación y la altitud (γ), el coeficiente que depende de la latitud y la temperatura promedio (β), siendo α , el coeficiente de mayor importancia. Con estos valores se generan los valores de la irradiación

solar en MJ/m²día y sus gráficas respectivas. En la parte inferior, podemos apreciar la dirección del registro de la información procesada de manera automática en el modo seleccionado de texto (.txt) u hoja de cálculo (.xls).

Para la obtención de los valores de la irradiación solar, se tuvo en cuenta el modelo matemático de Bristow-Campbell y se consideró inicialmente el valor de la transmitancia de $\alpha = 0,75$; valor promedio entre 0,70 y 0,80 para una zona tropical, con una atmósfera no contaminada y con nubes de elevación moderada (Allen, 1998; Donatelli y Campbell, 1998).

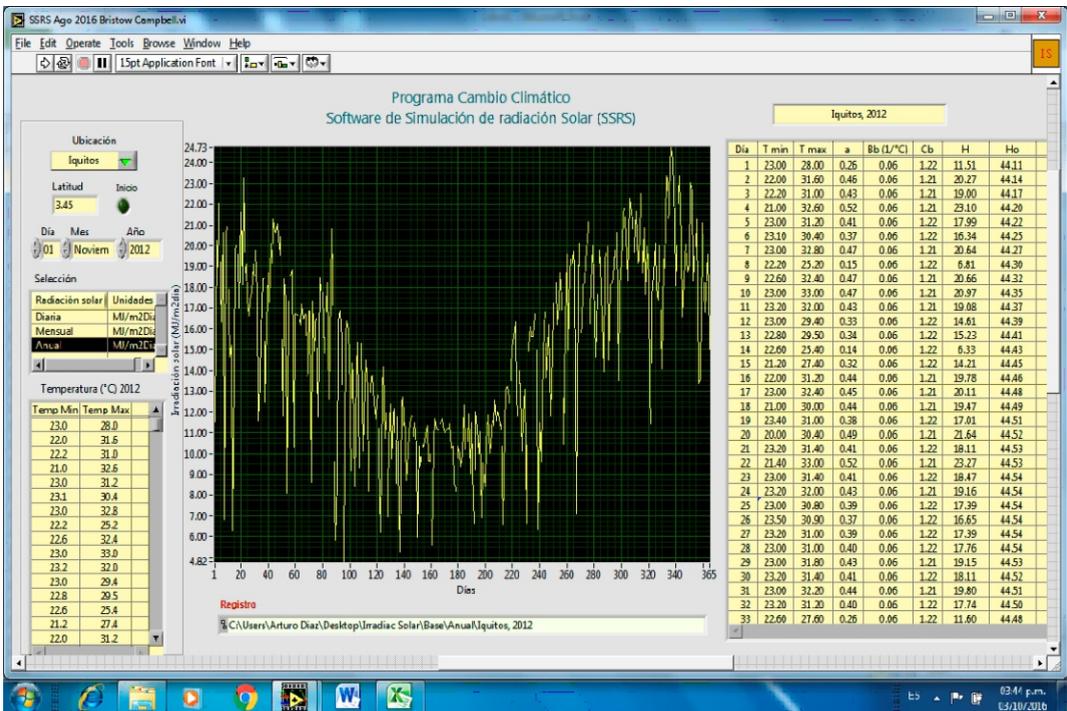


Figura 6. Panel frontal de SSRS para la irradiación solar. Muestra el comportamiento de la irradiación solar en la ciudad de Iquitos en el 2012.

Para la irradiación solar de Iquitos, Nauta y Tamshiyacu, se introdujeron los valores desde el año 2003 hasta el 2013 de cada estación

experimental, obteniéndose los resultados gráficos, como se aprecian en las figuras 7, 8 y 9, respectivamente.

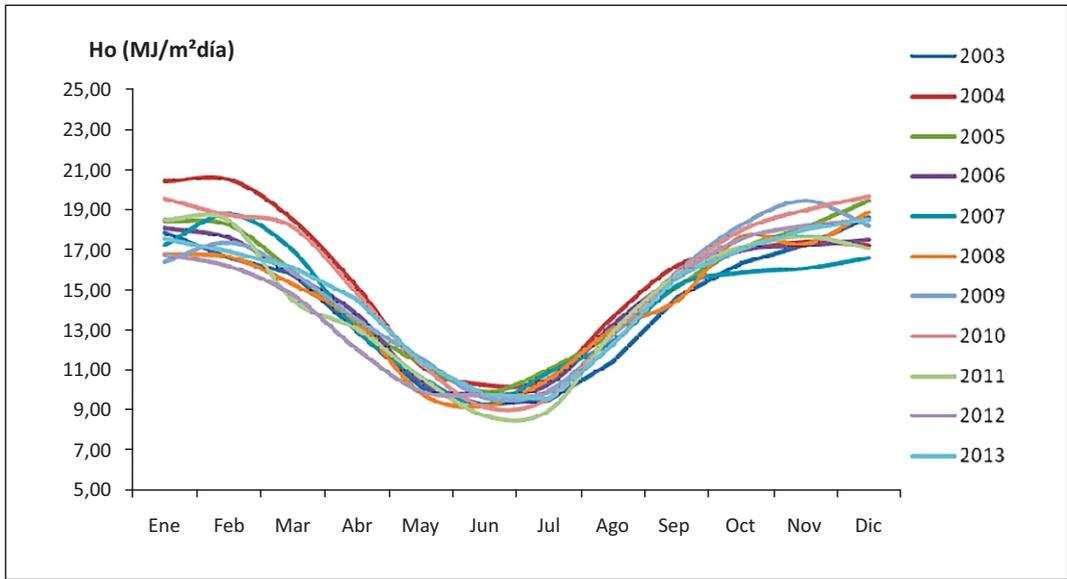


Figura 7. Irradiación solar en la ciudad de Iquitos 2003-2013.

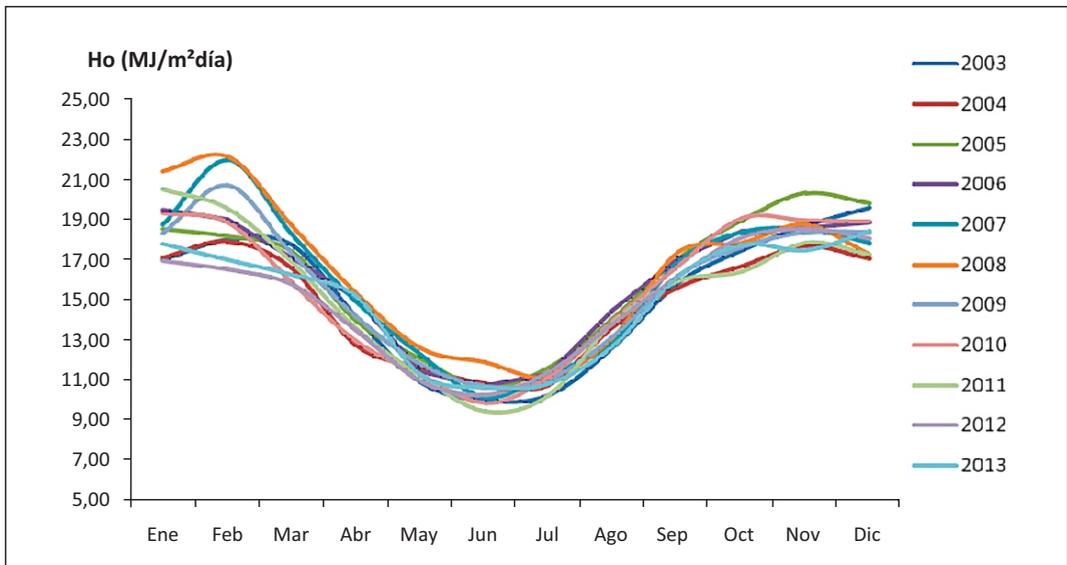


Figura 8. Irradiación solar en la ciudad de Nauta 2003-2013.

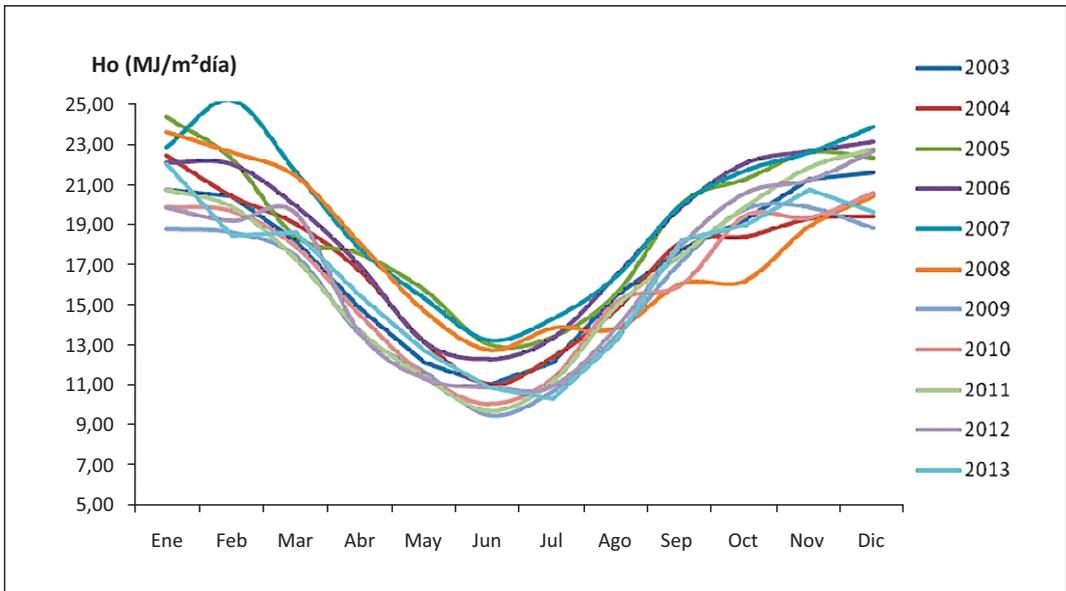


Figura 9. Irradiación solar en la ciudad de Tamshiyacu 2003-2013.

Se observan los entramados de las curvas, unas más que otras, que probablemente se debe a las mayores superficies de las ciudades y a las coberturas boscosas en su interior.

En las respectivas figuras, las curvas más altas de la irradiación solar, muestran un aumento de sus valores, menor cielo abierto (mayor nubosidad) y mayor frecuencia de las precipitaciones pluviales entre noviembre y mayo; en cambio, las curvas más bajas tienen una disminución de los valores de la irradiación solar, mayor cielo abierto (menor nubosidad) y pocas precipitaciones pluviales, que concuerda con las estaciones de invierno y verano.

DISCUSIÓN

El centro de automatización, robótica y tecnología y de la fabricación, ha desarrollado un *software* haciendo uso de la plataforma de LabVIEW, para simular la radiación solar incidente sobre superficies bajo diferentes

condiciones y que permite su diseño modular, ampliar para mejorar su capacidad. Así, el *software* puede realizar estudios de seguimiento, ángulo de inclinación, latitudes, orientación y sombreado para días claros. La limitación del *software* es que no permite un estudio para días nublados en la región, puesto que, presupone una radiación solar mayor de la que realmente es. El programa solamente estudia sistemas de seguimiento azimutal (Sáenz *et al.*, 2001).

Los valores obtenidos del programa elaborado para la radiación solar extraterrestre (SSRS) se contrastaron con los valores encontrados por Julián (los datos históricos de temperatura del periodo de diez años 1975-1985 fueron proporcionados por el Senamhi Loreto) con un valor promedio de radiación solar de 32 MJ/m²día (Julián, 1986). Comparando con los valores obtenidos con el *software* SSRS se encontró un valor promedio de la radiación solar de 35 MJ/m²día.

Haciendo uso de modelos matemáticos recomendados por el Senamhi Lima en el Atlas de Energía Solar del Perú 2003 (Senamhi, 2003), se han encontrado similares valores de γ y β de 0,06 y 1,22 para la selva con escasa variación, mediante la aplicación del SSRS.

CONCLUSIONES

Mediante el *software* de simulación para la radiación solar (SSRS) elaborado, se ha logrado conocer la radiación solar que incide sobre las latitudes locales seleccionadas, con lo que se da inicio a la obtención de un mapa solar en la Amazonía que nos permitirá estudiar el comportamiento de los microclimas y predecir los riesgos de los desastres naturales de inundación y sequía en particular.

El *software* constituye una importante herramienta para contribuir al estudio del cambio climático en la Amazonía peruana, brindar información sobre los desplazamientos estacionales, las posibles sequías, inundaciones, friaje, floración, fructificación, apareamientos, desoves, aparición de plagas, entre otros factores.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana por el apoyo brindado para su difusión, al Senamhi Loreto por los datos de temperaturas facilitados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen LH. 1998. Plant responses to rising carbon dioxide and potential interactions with air pollutants. *J. Environ. Qual.* 19: 15-34.
- Bristow KL, Campbell GS. 1984. *Agric. For. Meteorol.*, 31, 159.
- Díaz JA, Paredes MA. 2015. Software de simulación para la radiación solar (SSRS). *Conocimiento Amazónico* 6:2, 137-143.
- Donatelli M, Campbell GS. 1998. A Simple Model to Estimate Global Solar Radiation. *Proceedings of the 5th ESA Congress*. Nitra. Slovak Republic. 133-134 Nitra.
- Julián C. 1986. Estimación de la radiación solar en Iquitos. Convenio IIAP-UNAP.
- Kottek M, Grieser J, Beck C, Rudolf B, Rubel F. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z.*, 15, pp. 259-263. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130.
- Lázaro A. 1997. LabVIEW. Programación gráfica para el control de instrumentación. Editorial Paraninfo. Madrid.
- Mela TJN. 1996. Northern agriculture: constraints and responses to global climate change. *Agric. Food Sci. Fin.* 5: 229-234.
- Parry M, Carter T. 1998. *Climate Impact and Adaptation Assessment. A Guide to the IPCC Approach*. Earthscan Publications Ltd, London, UK. 166 pp.
- Rosenzweig C, Parry ML. 1994. Potential impacts of climate change on world food supply. *Nature* 367: 133-138.
- Sánchez H, Díaz J, Caballero P, Poncela M. 2001. Software de simulación de la radiación incidente sobre superficies bajo diferentes condiciones. Cartif, Parque Tecnológico de Boecillo. México.
- Senamhi. 2003. Atlas de Energía Solar en el Perú. Lima.

Recursos electrónicos:

<https://www.travelblog.org/South->

- America/Peru/Loreto /Iquitos/blog-215087.html. (Consulta: 19 abr 2012).
- http://www.world-guides.com/latin-america/peru/loreto/iquitos/iquitos_weather.html. (Consulta: 19 abr 2012).
- <http://siar.regionloreto.gob.pe/novedades/se-namhi-reporta-clima-comportamiento-hidrologico-region-loreto>. (Consulta: 2012).
- <https://diariocorreo.pe/peru-360deg/Cok-Moura,Jaime/loreto-autoridades-anuncian-fin-de-la-creciente-pero-sigue-la-emergencia-217181/>. (Consulta: 25 abr 2012).
- <http://www.andina.com.pe/agencia/noticia-minsa-brindo-cerca-4600-atenciones-albergues-damnificados-loreto-409181.aspx>. (Consulta: 7 abr 2012).