

Radiación fotosintéticamente activa

Mónica Monserrat Escobedo Sánchez, Sergio Miguel Durón Torres
Juan Manuel García González, Víctor Manuel García Saldivar,
Adriana Elizabeth González Cabrera

Universidad Autónoma de Zacatecas.
Carretera Zacatecas-Guadalajara Km. 6, Ejido La Escondida, Campus UAZ Siglo XXI.
Zacatecas, Zacatecas CP 98160 México.

Resumen

El objetivo de este estudio es analizar los datos de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) registrados en la Estación Solarimétrica ubicada en el Campus UAZ Siglo XXI. La PAR es la región del espectro solar que está comprendida entre los 400 nm y los 700 nm, esta radiación es absorbida por las plantas, almacenada y transformada a través de sus sistemas fotosintéticos para crecimiento y desarrollo de las mismas (Durán *et al*, 2015). Los valores de PAR son importantes como parámetro de entrada de energía para diversos procesos biológicos y su evaluación temporal tiene particular interés en el seguimiento y crecimiento de cultivos (Righini *et al*, 2005). Para la medición directa de PAR existen actualmente sensores cuánticos, como el sensor “PQS1 PAR Quantum Sensor”, estos utilizan como sensor un fotodiodo de silicio, al que se modifica su respuesta y se le agrega un filtro para el rango de longitudes de onda en los que la radiación es mejor aprovechada por las plantas (Righini *et al*, 2005). Para medir la PAR se utilizó un sensor PQS 1 PAR Quantum Sensor de Kipp&Zonen, la variable se mide cada segundo y se promedia cada minuto. El instrumento de medición se encuentra ubicado en el techo del edificio 6 del Campus UAZ Siglo XXI. Los datos se registran en un datalogger CR3000 de Campbell Scientific. Para el análisis de los datos, estos se recopilaron del datalooger. El periodo evaluación está comprendido del mes de noviembre de 2016 al mes de noviembre de 2017. Luego, la PAR se promedia por hora, por mes y por año. Es esencial para el instrumento que este siempre nivelado y se realice su limpieza y mantenimiento diariamente. Las observaciones realizadas al tratar los datos, muestran que en los meses pertenecientes a las estaciones de primavera y verano se obtienen valores de PAR mayores a los que se presentan en los meses pertenecientes a las estaciones de otoño e invierno. La mayoría de los máximos de la PAR se encuentran entre las 12:00 h y las 13:00 h, es decir, al medio día solar. De igual forma, la distribución de frecuencia de la radiación PAR en el periodo

analizado tiene un marcado sesgo positivo, lo cual sugiere que existe la posibilidad de que dicha distribución puede ser representada mediante una Distribución Gamma o una Distribución Weibull. También se encontró que se alcanzan valores de la radiación PAR hasta de 3000 m², y la PAR promedio diaria es de 300 m² (Considerando las 24 horas del día) y de 800 m² (solo considerando las horas sol). Al definir que Distribución ajusta de una manera más precisa los datos de la PAR, se pueden inferir valores para esta, y conociendo el cultivo que se ve favorecido con esta cantidad de energía se logrará orientar hacia un cultivo específico. Es de suma importancia el seguir llevando a cabo la medición de la PAR.

Palabras clave: Radiación fotosintéticamente activa, quantum, piranómetro

1.- INTRODUCCIÓN

La energía solar, ha sido fundamental para la evolución del ser humano. Al tener un impacto físico y biológico en la Tierra, la energía solar tiene presencia en el estudio de diversos fenómenos principalmente en la parte agrícola, ecológica, biológica, meteorológica, y energética, por ser un factor determinante. En los últimos años el estudio de la radiación solar se ha enfocado principalmente en ser una alternativa de energía para el abastecimiento energético tanto en el ámbito doméstico e industrial, sin embargo el siguiente trabajo no es acerca de el aprovechamiento de la radiación solar para la sustitución de los combustibles fósiles, esta investigación se relaciona con en el proceso más importante sin el cual la vida en la Tierra sería imposible, la fotosíntesis, y se centra en la radiación solar que le es útil a las plantas para llevar a cabo este proceso, la Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR). Para diversos aspectos de la planificación agropecuaria y productiva es muy importante contar con un conocimiento detallado de la radiación solar incidente en la superficie terrestre (Abal y Durañona, 2013), este es el principal objetivo de esta investigación, específicamente de la radiación fotosintéticamente activa para el área cercana a la zona de medición, ubicada en el Campus siglo XXI en Zacatecas, Zac. Caballinas (2017), insiste en su trabajo que la energía emitida por el sol es tan abundante que puede aprovecharse para satisfacer las

necesidades energéticas del hombre. Benavides et al (2017) resaltan la importancia de la radiación solar para la vida, debido a que es la principal fuente de energía para la mayoría de los procesos biológicos que ocurren en nuestro planeta, así como, determina la dinámica de los procesos de la atmósfera y el clima. De Las Rivas (2000), comentaba ya que la radiación solar es la fuente primaria de energía para la vida sobre la Tierra. Bidwell (1993), habla de lo importante que es la fotosíntesis para el hombre, tan simple es el hecho de que a través de ella se producen alimentos y oxígeno. Rojas (2015) concuerda con las observación realizada por Bidwell agregando que las plantas y otros organismos convierten la luz en energía química y luego en carbohidratos tales como el azúcar. Perez (2009), define la fotosíntesis como un único y complejo proceso físico-químico por el cual determinados organismos vivos autótrofos o fotosintéticos, es decir organismos capaces de elaborar su propio alimento, absorben y utilizan la energía luminosa para sintetizar compuestos orgánicos. Barceló et al (1987), en su trabajo comentan de las estructuras fotosintéticas de plantas superiores son de color verde, es decir que estas estructuras contienen compuestos capaces de absorber la luz de distintas zonas del espectro visible con excepción del color verde. Estos compuestos son los llamados pigmentos fotosintéticos que se encuentran en los orgánulos sub-celulares, llamados cloroplastos, presentes en las células con estructuras fotosintéticas. Los cloroplastos tienen unas estructuras laminares también llamadas membranas tilacoides o lamelas, es ahí donde los pigmentos fotosintéticos se encuentran, es en estas membranas donde se realiza la absorción de la energía luminosa. Dependiendo del tipo o tipos de clorofila que el organismo fotosintético tenga en su estructura, este va a reaccionar de manera diferente absorbiendo distintas longitudes de onda de la radiación incidente, esto se refleja en la eficacia relativa de la radiación recibida a distintas longitudes de onda para la fotosíntesis, a lo que se llama espectro de acción de la fotosíntesis, guarda un estrecho paralelismo con las absorción de luz a distintas longitudes de onda a lo que se le llama como su espectro de absorción. Durán et al (2015) define la PAR como una fracción del espectro solar que está comprendida entre los 400 nm y los 700 nm, que se encuentra en la zona visible del espectro, esta radiación es absorbida por las plantas, almacenada y transformada a través de sus sistemas fotosintéticos. Grossi (2004) encontró que los máximos del espectro de absorción coinciden con los máximos de absorción de la clorofila y los carotenoides: la clorofila y algunos pigmentos son los receptores de la radiación.

Righini et al (2005), La PAR puede ser expresada en términos de flujo de fotones o irradiancia solar (W/m^2). Alados et al (2000) Definen la densidad de flujo de fotones fotosintéticos, Q_p , como la densidad del flujo de fotones incidentes con longitud de onda entre 400 – 700 nm por unidad de tiempo sobre una unidad de superficie ($1 \mu mol \text{ foton}/m^2 \text{ s} = 6.022 \times 10^{17} \text{ foton}/m^2 \text{ s} = 1 \mu E/m^2 \text{ s}$). Los valores de PAR son importantes como parámetro de entrada de energía para diversos procesos biológicos y su evaluación temporal tiene particular interés en el seguimiento y crecimiento de cultivos. Debido a que las plantas usan la PAR como fuente de energía para realizar la fotosíntesis, conocer la distribución espacial y temporal de esta, es fundamental para el análisis de los procesos biológicos asociados.

Simao Peng et al (2015), presentan las posibles formas de medir la PAR. La primera es mediante mediciones directas con ayuda de instrumentos y la segunda a través de datos medidos indirectamente. Escobedo (2019) comenta para la medición directa de la PAR existen actualmente sensores cuánticos desarrollados a tal efecto, como el LI-190SA fabricado por LI-COR y el PAR Lite, de la empresa KIPP & ZONEN. En ambos casos se utiliza como sensor un fotodiodo de silicio, al que se modifica su respuesta y se le agrega un filtro para proporcionar la respuesta en el rango de longitudes de onda en los que la radiación es mejor aprovechada por las plantas. Sin embargo es poco frecuente contar con medidores PAR. Righini (2005), comentan que otra forma de obtener la PAR es mediante la diferencia de la lectura que proporcionan dos piranómetros donde uno de ellos estará cubierto con un filtro que solo permita pasar la radiación que se encuentre en el rango infrarrojo del espectro electromagnético y el otro midiendo la radiación global. Zhian Sun et al (2017), clasifican los métodos de estimación en tres categorías: modelos con bases físicas; modelos con base empírica, empíricamente basados y los basados en satélite. Gueymard (1989) desarrolló dos modelos físicos para el cálculo de PAR en condiciones de cielo despejado. Uno de los modelos fue diseñado específicamente por la banda espectral de la PAR, este usa la presión en la superficie, la cantidad de ozono, los coeficientes de turbiedad de Angstrom, dispersión única de albedo, superficie de albedo y el ángulo solar del zenit, esos son los parámetros considerados para poder calcular la PAR directamente. Quin et al (2012) desarrollaron un modelo con bases física para la estimación diaria de PAR con condiciones de cielo claro. El efecto de las nubes es considerado usando los datos de la duración de los rayos solares

para calcular los valores de la PAR diarios para las todas las condiciones del cielo. Zhian Sun (2017), en su trabajo presentan la ventaja de los modelos basados físicamente, estos modelos normalmente son desarrollados en función de la relación física entre la PAR y las variables de las que depende, por lo tanto no hay restricción por el clima local o las condiciones geográficas. De igual manera complementan su estudio comentan de los modelos empíricos que han sido desarrollados para poder estimar la PAR y han sido obtenidos en base a los datos de PAR ya conocidos y la irradiancia global directa. Estos modelos usualmente calculan el Q_p o Q_p/G_b , como función de las medidas de radiación, índice de claridad y el ángulo con respecto al zenit solar. El índice de claridad es definido como una relación observada en la irradiancia global horizontal y la irradiancia global horizontal extraterrestre, que representa el efecto de la atmosfera en la radiación, incluyendo la absorción por gases, nubes y aerosoles. La desventaja de estos modelos es que están usualmente restringidos por las condiciones climáticas locales y por lo tanto la dependencia en los datos observados localmente. Rubio et al (2005), encontró que la PAR también puede ser estimada con datos obtenidos de un satélite, usa las mediciones del satélite Meteosat para estimar la irradiancia global horizontal, posteriormente se estima la PAR usando la irradiancia global directa (horizontal) con un modelo empírico propuesto por Alados-Arbolesdas et al. (2000). Zheng et al. (2008) propone un método de usar GOES visible Imágenes para recuperar la PAR. Las ventajas del método de Zeng es que en ambas superficies la reflectante y la atmosférica los parámetros pueden ser simultáneamente derivados de las radiaciones observadas. Sin requerir información de los parámetros de la superficie de la atmosfera. La estimación de la PAR mediante métodos basados en satélite tiene las ventaja de poder evaluar la PAR en áreas remotas donde los datos para estimarla por otro método no están disponibles. Sin embargo los métodos basados en satélite no pueden ser usados en la predicción numérica del clima (NWP) o el modelado de simulaciones de la PAR en procesos de superficie terrestre.

La importancia de la predicción de variaciones temporales y espaciales de la intensidad de la PAR en los diferentes cultivos en donde se hacen los estudios es para poder así estimar mediante algunos modelos que se han desarrollado la simulación el crecimiento y la productividad a partir de la PAR, sin embargo los valores de PAR utilizados en estos

modelos se derivan de pequeño número de estudios empíricos debido a que esta variable no es evaluada rutinariamente. Datos más detallados de la PAR aumentarían la descripción y predicción de los modelos, muchas de las investigaciones de PAR están enfocados en los parámetros de cielo claro, muy pocos están enfocados en los efectos de las nubes sobre PAR.

2.- MATERIALES Y MÉTODOS

Zacatecas está ubicado en la región Centro-Norte del país cuenta con un clima templado subtropical de montaña. La temperatura media anual es de 17 °C, la temperatura máxima promedio es alrededor de 30 °C y se presenta en el mes de mayo, la temperatura mínima promedio es de 3 °C y se presenta en el mes de enero. La precipitación media estatal es de **510 mm** anuales, las lluvias se presentan en verano en los meses de junio a septiembre. El clima seco y semiseco de la entidad es una limitante para la agricultura, ésta se practica de riego y temporal, siendo los principales cultivos: maíz, avena, trigo, frijol, chile, sorgo, nopal y durazno (INEGI 2018).

Los datos fueron obtenidos de la Estación Solarimétrica Zacatecas_04 (Figura 1.) ubicada en el edificio E6 de la Unidad Académica de Ciencias Químicas en el Programa Académico de Ingeniería Química en el Campus UAZ Siglo XXI ubicada en Carretera Zacatecas-Guadalajara Km. 6, ejido "La Escondida", Zacatecas, Zac con coordenadas Latitud (N) 22°46.35' Longitud (W) 102°38.619' y una altitud de 2325 msnm (metros sobre el nivel del mar), mediante un sensor cuántico de PAR "PQS 1 PAR Quantum Sensor" LI-COR Q 52613. Este equipo consta de un fotodiodo de silicio de alta calidad y un filtro óptico de vidrio para crear una sensibilidad uniforme a la luz entre 400 nm. y 700 nm. Cuenta con un difusor proporcional una excelente respuesta, el equipo hace una corrección automática al coseno, brindando respuesta de coseno excelente que garantiza la precisión de las mediciones en luz difusa y cuando la luz solar proviene de un ángulo solar bajo. La brida del montaje incluye un nivel de burbuja.



Figura 1. Estación Solarimétrica Zacatecas_04

Los datos se registran a través de un datalogger CR3000 de Campbell System, registrando datos en intervalos de un minuto. Los datos recopilados para este análisis comprenden un periodo de tiempo entre noviembre 2016 y noviembre 2017, Fueron reacomodados en promedio por hora, promedio por día y promedio por mes.

3.- RESULTADOS

En la Figura 2, se presentan los promedios que se obtuvieron en el periodo evaluado del 4 de noviembre de 2016 al 30 de noviembre del 2017. Se puede observar que los valores más altos de la PAR se exhiben a las 12:00 pm, al medio día solar.

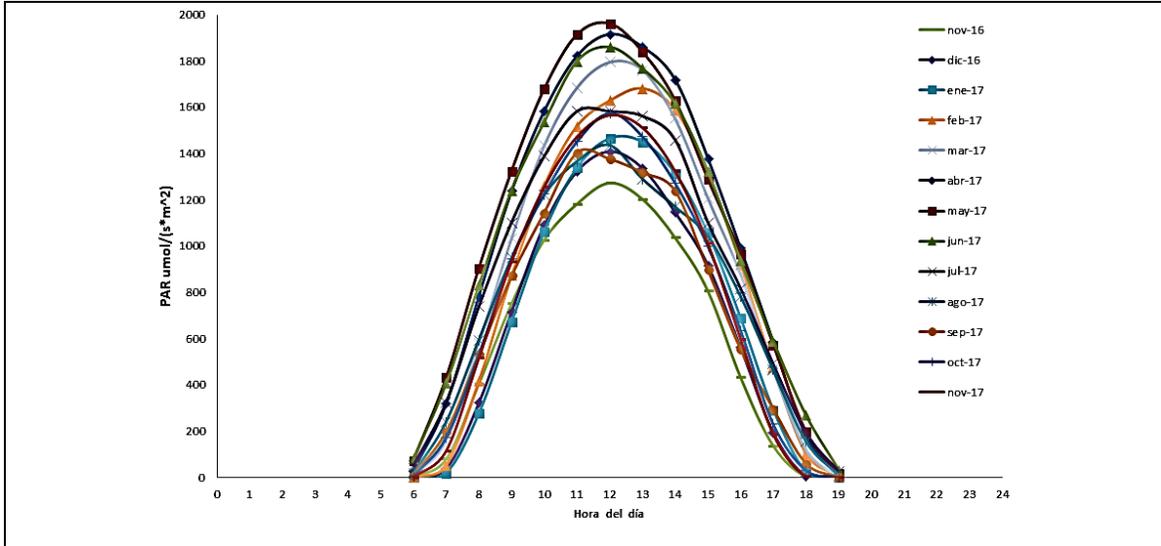


Figura 2. La PAR promedio por hora mensual en el periodo evaluado.

En la Figura 3, se presentan los promedios que se obtuvieron en el periodo evaluado del 4 de noviembre de 2016 al 30 de noviembre del 2017. Se observa que los meses de abril, mayo y junio de 2017 son en los que se alcanzan los valores más altos de la PAR, siendo el mes de mayo donde se exhibe el mayor promedio.

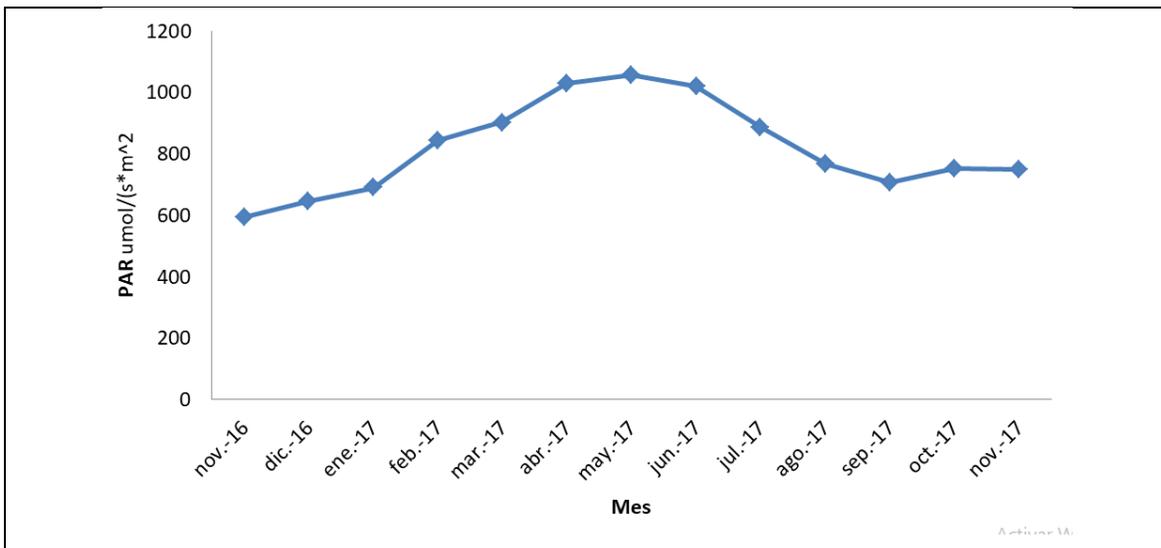


Figura 3. La PAR promedio mensual en el periodo evaluado.

4.- DISCUSIÓN

Para facilitar la evaluación se consideró el rango entre el amanecer y el crepúsculo, por esa razón en la Figura 2, solo se grafica a partir de las 6:00 h a las 19:00 h. Este rango fue definido para que todos los valores en los que el valor de PAR es significativamente mayor a cero. En la misma Figura 2, se puede observar que en algunos meses los valores de PAR se encuentran entre las 6:30 h a las 18:00 h (como el mes de Febrero), En los meses pertenecientes a las estaciones de primavera y verano se obtuvieron valores de PAR mayores a los de los meses de otoño e invierno.

5.- CONCLUSIONES

Los datos registrados con el sensor se ordenaron y se construyeron los gráficos, para posteriormente ser analizados, en donde se encontraron los comportamientos esperados para la región y temporada.

Con respecto a las perturbaciones en las Figuras podrían deberse a diferentes factores, una de ellas podría ser la nubosidad. Otro factor responsable de esto puede ser que los sensores tienen algunos errores espectrales causados por las respuestas no ideales de los sensores a la radiación con varios patrones espectrales, errores coseno causados por la respuesta de un ángulo incidente no ideal y también la degradación a largo plazo de la respuesta debida a la exposición a la lluvia y radiación. Son muchos factores que pueden modificar la respuesta PAR y están siendo investigados pero no se han establecido perfiles claros de como PAR se modifica por estos factores que combinación influyen en los sensores quantum de manera muy compleja.

La PAR necesaria para el desarrollo de cultivos y plantas también está relacionada ampliamente con el tipo de planta, ubicación geográfica, las características del lugar, y muchos otros factores; por lo tanto esta investigación deja muchas preguntas que podría generar investigaciones posteriores y multidisciplinarias, ¿Cuáles plantas se ven

beneficiadas con la PAR que se tiene en Zacatecas?, ¿Cómo afectaría de manera económica y productiva la creación de estrategias para la agricultura usando las bases de datos PAR?

La importancia de la medición periódica de PAR reside que al poder definir por su comportamiento, que distribución ajusta de una manera más precisa los datos de la PAR y con ello poder inferir valores para esta a futuro. Con el conocimiento detallado de la radiación PAR esperada cierta temporada, se podría orientar hacia un cultivo específico que se vea beneficiado por la energía recibida en la región y sus características para obtener productos agropecuarios de mejor calidad. Para ello también sería importante realizar una investigación que cultivos se ven favorecidos con la cantidad de energía que se recibe. Es de suma importancia el seguir llevando a cabo la medición de la PAR.

REFERENCIAS

- Abal, G. y Durañona, V. (2013). Manual técnico de Energía Solar Térmica Vol I: Fundamentos. Publicación electrónica Facultad de Ingeniería, UDELAR, Uruguay, Disponible en: http://www.energiasolar.gub.uy/documentos/capacitacion_/manual_tecnico_solar_termica.pdf
- Alados-Arboledas L., Olmo F.J., Alados I., Perez M. (2000) Parametric models to estimate photosynthetically active radiation in Spain. *Agricultural and Forest Meteorology*, 101; 187-201
- Bidwell, R. (1993) *Fisiología Vegetal*. A. G. T. Editor S. A. México, D. F.
- Barceló, J., Nicolás, G., Sabater, B. y Sánchez R. (1987). *Fisiología Vegetal* 4ª Ed. Ediciones Pirámide, S. A. Madrid, España
- De Las Rivas, J. (2000). La luz y el aparato fotosintético. En: *Fundamentos de la fisiología vegetal*. Azcón-Bieto, J. y Talón M. (Coords.) 2ª Ed. Edicions Universitat de Barcelona. Barcelona, España.
- Durán E., Ángel Y. y Suárez J. (2015) Dinámica de la radiación fotosintéticamente activa en arreglos agroforestales con hevea brasiliensis en el norte de la Amazona colombiana. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica* 18 (2), 365-372

- Becker, P. and D. S. Weingarten. (1991). A comparison of several models for separating direct and diffuse components of solar irradiation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 53; 347-353.
- Benavides, H., Simbaqueva O. y Zapata H. (2017). Atlas de radiación solar U.V. y Ozono de Colombia. IDEAM. Bogotá, Colombia.
- Bonhomme, R. (1993). The solar irradiation: Characterization and distribution in the canopy. In: Varlet-Grancher, C. et al (eds). *Crop structure and light microclimate; characterization and applications*. INRA (Francia), pp. 17-28.
- Brown, T. L., LeMay, H. E. y Bursten, B. E., (2004), *Química, la Ciencia Central*, 9 ed. Pearson Educación, México.
- Caballinas, R. (2017). El recurso solar. En: Octavio G., Pilatowsky I. (Coords.) *Aplicaciones térmicas de la energía solar*, 1a. Edición, editorial, México, D.F.
- Duffie, John A., William A. Beckman, (2013). *Solar Engineering of the Thermal Processes*, John Wiley & Sons, 4a. Edición,.
- Grossi, H. (2005) *Distribución Espacial de la Radiación Fotosintéticamente Activa en Argentina*
- INEGI 2018 obtenido de: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/zac/territorio/clima.aspx?tema=me&e=32>
- Licor.com (2018) Obtenido de licor.com: <https://es.licor.com/env/products/light/quantum.html>
- Resnick R., Halliday D. y. Krane K. S., (1997) *Física*, v 2 4a edición, CECSA, México
- Righini R., Grossi Gallegos H. (2005) *Análisis de la correlación entre la radiación fotosintéticamente activa y la radiación solar global en San Miguel, provincia de Buenos Aires. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol.9
- Rojas, E. (2015). *La radiación PAR y su efecto en los índices de crecimiento, rendimiento y calidad del cultivo del tomate. (Tesis de Maestría en Ciencias en Agroplasticultura) Centro de Investigación Aplicada CIQA Coahuila México.*
- Simao Peng, Quingyun Du, Aiwon Lin, Bo Hu, Ke Xiao, Yuliang Xi, (2015) *Observation and estimation of photo syntetically active radiation in Lhasa (Tibetan Plateau). Advances in space research*, 55; 1604-16012.
- Tomoko Akitsu, Kenlo Nishida Nasahara, Yasuo Hirose, Osamu Ijima, (2015) *Quantum sensors for accurate and stable long-term photo syntetically active radiation observations. Agricultural and Forest Meteorology* 237-238; 171-183

Zhian Sun, Lian Hong, Liu Jingmiao, Shi Guoping, (2017) Estimation of photo syntetically active radiation using solar radiation in the UV-visible spectre band. Solar Energy, 153; 611-622.