



PLANILLA DE CÁLCULO DE VARIABLES ASTRONÓMICAS (VARAST 1.0)

María E. Fernández-Long¹, Rafael H. Hurtado² y Liliana Spescha¹

¹Docentes de la Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453. 1417, Buenos Aires, Argentina.

²Docente de la Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy
E-mail: flong@agro.uba.ar

NOTA

Recibido: 04-12-15

Aceptado: 28-12-15

RESUMEN

La radiación astronómica (RA), la heliofanía astronómica (HA) y el fotoperíodo (F) son variables que dependen sólo de la latitud del lugar, y son requeridas por el sector científico-tecnológico en estudios tan diversos como los modelos de simulación de cultivos o la estimación de la evapotranspiración potencial. Los cálculos de las mismas no son difíciles, pero presentan cierta complejidad y requieren de tiempo para su estimación. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es desarrollar una planilla de cálculo que, con sólo ingresar la latitud, estime RA, HA y F para los 365 días del año y pueda ser utilizada por los alumnos, docentes, investigadores y técnicos. La misma es de uso libre y se encuentra disponible en la página web del Centro de Información Agroclimática (CIAG) de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (FAUBA) (www.agro.uba.ar/centros/ciag/servicios#cal), presionando sobre el subtítulo “Índices de radiación” (la planilla se descargará automáticamente), y en la web de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Jujuy (FCA-UNJu).

Palabras clave. Heliofanía astronómica, fotoperíodo, radiación astronómica.

WORKSHEET FOR ASTRONOMICAL VARIABLES (VARAST 1.0)

SUMMARY

The extraterrestrial solar radiation (RA), sunshine duration (HA) and photoperiod (F) are variables that depend only on the latitude, and are required by the science and technology sector in such diverse studies such as simulation models crops or estimating potential evapotranspiration. While the same calculations are not difficult, they have some complexity and time required for estimation. Therefore, the goal of this work was to develop a spreadsheet that, by simply entering the latitude, estimate RA, HA and F for 365 days a year and can be used by students, teachers, researchers and technicians. It is free to use and available on the websites of Agroclimatic Information Center (CIAG), Faculty of Agriculture University of Buenos Aires (FAUBA) (www.agro.uba.ar/centros/ciag/servicios#cal) and Faculty of Agricultural Sciences, National University of Jujuy (FCA-UNJu).

Key words. Sunshine duration, photoperiod, extraterrestrial solar radiation.

INTRODUCCIÓN

La energía radiante emitida por el Sol que alcanza la superficie de la Tierra (también llamada radiación solar) constituye la principal fuente de energía que dispone el sistema climático; siendo el elemento fundamental de todos los procesos físicos y biológicos que ocurren en la biósfera. La luz solar recibida por la vegetación es utilizada de diversas maneras, que hacen tanto a su intensidad, como a su calidad. Sus efectos suelen estudiarse de acuerdo a su accionar en: fotoenergéticos (producidos por la cantidad de energía interceptada para el proceso de formación de materia orgánica, o hidratos de carbono por fotosíntesis) y efectos fotoestimulantes tales como: procesos de movimiento (orientación o tropismos), procesos formativos (como el alargamiento de tallos, expansión foliar, etc.) y la floración en plantas sensibles (relacionado a la duración relativa del período luminoso y oscuros) a través del fenómeno conocido como “fotoperiodismo” (Pascale y Damario, 2004).

Los procesos fotoenergéticos son cuantificados a través de la radiación solar que incide sobre la superficie terrestre, conocida también como radiación global. En la Argentina existen muy pocos sitios de medición, el Servicio Meteorológico Nacional posee sólo cuatro estaciones en las cuales se mide esta variable (Slodowicz, 2015) lo que ha determinado que se recurra a diferentes métodos de estimación. Todos estos métodos se basan en la radiación que se recibe en el tope de la atmósfera, conocida como radiación astronómica (RA) (Fernández Long y Murphy, 2013) o radiación extraterrestre (Allen *et al.*, 2006) y que depende solamente de la latitud del lugar.

Los procesos fotoestimulantes son cuantificados a través del “fotoperíodo (F)”, definido como las horas en que el Sol se encuentra por encima del horizonte (tiempo denominado como heliofanía astronómica (HA) o duración del día) más los crepúsculos, definidos como el tiempo en que el

Sol va desde 6° por debajo del horizonte hasta llegar a él (Fernández Long y Murphy, 2013). Estas variables son requeridas en estudios tan diversos como la estimación de la evapotranspiración potencial (Fernández Long *et al.*, 2014), hasta en los modelos de simulación de cultivos como los DSSAT (Jones *et al.*, 2003), y utilizadas en investigación, docencia y/o en desarrollos tecnológicos del crecimiento y desarrollo de los cultivos.

En consecuencia, existe una necesidad de diversas áreas del sector científico-tecnológico de estimar estas variables que, si bien no son difíciles, presentan cierta complejidad y pérdida de tiempo por parte de los usuarios de las mismas. El objetivo de este trabajo es la creación de una planilla de cálculo que permita obtener rápida y fácilmente los datos diarios de fotoperíodo (F), duración del día (HA) y radiación astronómica (RA) ingresando solamente el dato de latitud del lugar donde se quiere estimar, sin necesidad de ningún nivel de entrenamiento para poder operarla.

MATERIALES Y MÉTODOS

La planilla fue realizada en Microsoft Excel, diseñada en cinco hojas. En la primera hoja (Fig. 1) se presentan los títulos y un breve índice de los datos y resultados. En la segunda hoja (Fig. 2) se deben ingresar los datos del lugar donde se quiere realizar la estimación escribiendo: nombre de la localidad (opcional); la latitud en grados, minutos y segundos; hemisferio en el que se encuentra (ingresar “S” si corresponde al hemisferio sur o “N” si corresponde al hemisferio norte); y por último, se deben optar por las unidades en la que se estima la radiación astronómica (“1” para cal/cm²min, “2” para MJ/m²día, “3” para W/m², o “4” para mm que equivale a la cantidad de agua evaporable).

Una vez ingresado estos datos la planilla devuelve la estimación de la duración del día (lapso entre la salida y la puesta del Sol) o heliofanía astronó-

Figura 1. Primera hoja de la planilla de cálculo dónde se encuentran los títulos y un breve índice.

Figura 2.
Hoja de datos.
La información requerida para la
estimación de las variables es
únicamente la latitud del lugar.

mica (HA) para los 365 días del año, calculada a partir de la ecuación:

$$HA = \frac{2}{15} \arccos(-\operatorname{tg} \delta \cdot \operatorname{tg} \varphi)$$

dónde φ es la latitud del lugar y δ , la declinación solar, que puede calcularse de manera simplificada a través de la ecuación:

$$\delta = 0,409 \operatorname{sen} \left(\frac{2\pi}{365} J - 1,39 \right)$$

dónde J corresponde al número de día del año, siendo 1 el 1 de enero y 365 el 31 de diciembre.

También se calcula el fotoperíodo (F), definido como a la suma de la heliofanía astronómica (HA) más ambos crepúsculos civiles, considerados como el tiempo en que el Sol se encuentra 6° por debajo del horizonte; a través de la ecuación:

$$F = \frac{2}{15} \arccos\left(\frac{\sin(-6) - \sin\varphi \cdot \sin\delta}{\cos\varphi \cdot \cos\delta}\right)$$

De esta forma, tanto la HA como el F quedan expresados en horas.

Por último, la planilla permite estimar la radiación astronómica (RA) para los 365 días del año calculada a través de la ecuación:

$$RA = \frac{24 \cdot 60}{\pi} C_{sc} [H \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \sin H]$$

dónde c_{sc} es la constante solar corregida y se estima como:

$$c_{sc} = c_s \left(1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right)\right)$$

dónde C_s es la constante solar (cantidad de energía recibida en forma de radiación solar por unidad de tiempo y superficie, medida en la parte superior de la atmósfera terrestre en un plano perpendicular a los rayos del Sol y a la distancia media Tierra-Sol) y se la tomó como valor medio: $C_s = 1365 \text{ W/m}^2$ (Lee *et al.*, 1988; Allen *et al.*, 2006).

H es el ángulo horario en el momento de la puesta del Sol expresado en radianes y calculado como:

$$H = \arccos(-\tan\delta \cdot \tan\varphi)$$

RESULTADOS Y CONCLUSIÓN

En la tercera hoja de la planilla se presentan los resultados de las tres variables calculadas:

HA, F y RA para cada uno de los 365 días del año (Fig. 3). La HA y el F están expresados en horas y la RA en las unidades elegidas por el usuario. Además, en las hojas 4 y 5 se presentan los gráficos de la marcha anual de la HA y F y de la RA. A modo de ejemplo en la Figura 4 se muestra la HA y el F para Pergamino (Fig. 4.a) y para Ushuaia (Fig. 4.b) donde puede apreciarse: por un lado, la marcha anual de las variables con un máximo en el solsticio de verano y un mínimo en el solsticio de invierno; y por otro, la amplitud de las mismas poniendo de manifiesto el efecto de la latitud. La Figura 5 corresponde a la RA para Pergamino (Fig. 5.a) y para Ushuaia (Fig. 5.b), donde la latitud también juega un rol fundamental poniéndose de manifiesto los bajos valores de RA que se registran en Ushuaia durante el invierno debido, no solamente a la menor duración del día, sino también a la menor altura a la que llega el Sol en su recorrido diario.

Las regiones polares reciben la cantidad máxima de RA durante el solsticio de verano, que corresponden a períodos de día continuo (24 horas). La cantidad de RA recibida durante el solsticio de diciembre (perihelio) en el hemisferio sur es mayor que la recibida por el Hemisferio Norte durante el solsticio de junio (afelio) a causa de la órbita elíptica. En el Ecuador (Fig. 6) se observan dos máximos de RA en los equinoccios porque en ese momento los rayos del Sol inciden en forma perpendicular y los mínimos se producen en los solsticios. El mínimo del 21 de junio es algo menor debido a que en ese momento la Tierra se encuentra más alejada del Sol muy cerca del afelio, día en que esa distancia es mayor y que ocurre entre el 3 y 4 de julio (Murphy y Fernández Long, 2013).

CONCLUSIONES

La planilla de cálculo de variables astronómicas (VARAST 1.0) permite estimar la HA, el F y la RA para los 365 días del año, siendo la latitud del lugar la única variable de entrada requerida.

Pergamino			
Fecha	HA (hs)	F (hs)	RA (cal/cm2dia)
1-ene	14.2	15.3	1054.5
2-ene	14.2	15.3	1053.6
3-ene	14.2	15.3	1052.7
4-ene	14.2	15.3	1051.6
5-ene	14.2	15.3	1050.5
6-ene	14.2	15.3	1049.3
7-ene	14.1	15.3	1048.0
8-ene	14.1	15.2	1046.6
9-ene	14.1	15.2	1045.2
10-ene	14.1	15.2	1043.6
11-ene	14.1	15.2	1042.0
12-ene	14.1	15.2	1040.3
13-ene	14.1	15.2	1038.5
14-ene	14.0	15.1	1036.7
15-ene	14.0	15.1	1034.7
16-ene	14.0	15.1	1032.7
17-ene	14.0	15.1	1030.6
18-ene	14.0	15.0	1028.4
19-ene	13.9	15.0	1026.1

Figura 3.
Hoja de Resultados.
Valores estimados de la
heliofanía astronómica (HA),
fotoperíodo (F) y radiación
astronómica (RA) para
los 365 días del año.

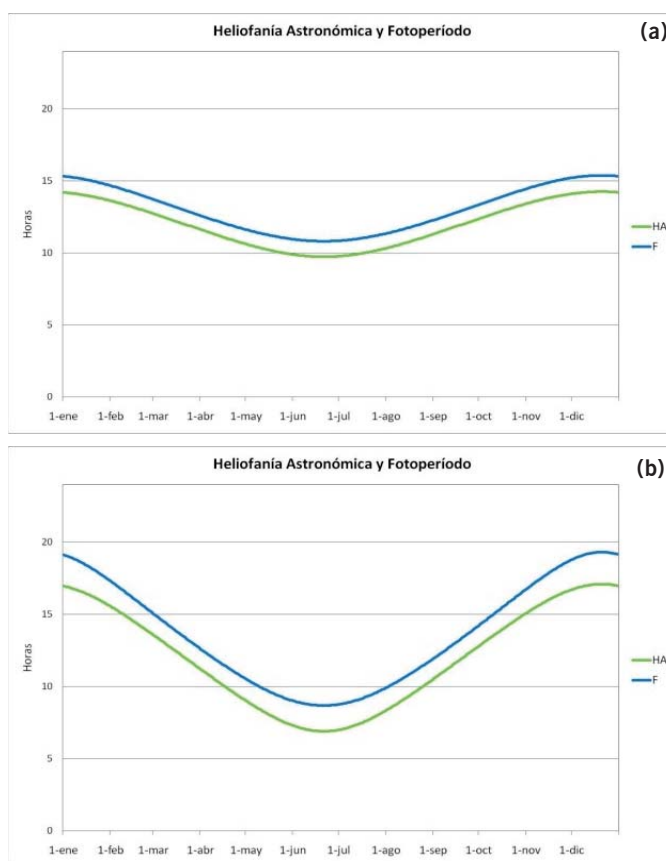


Figura 4.
Heliofanía astronómica (HA)
y fotoperíodo (F) para
Pergamino (a) y Usuhaia (b).

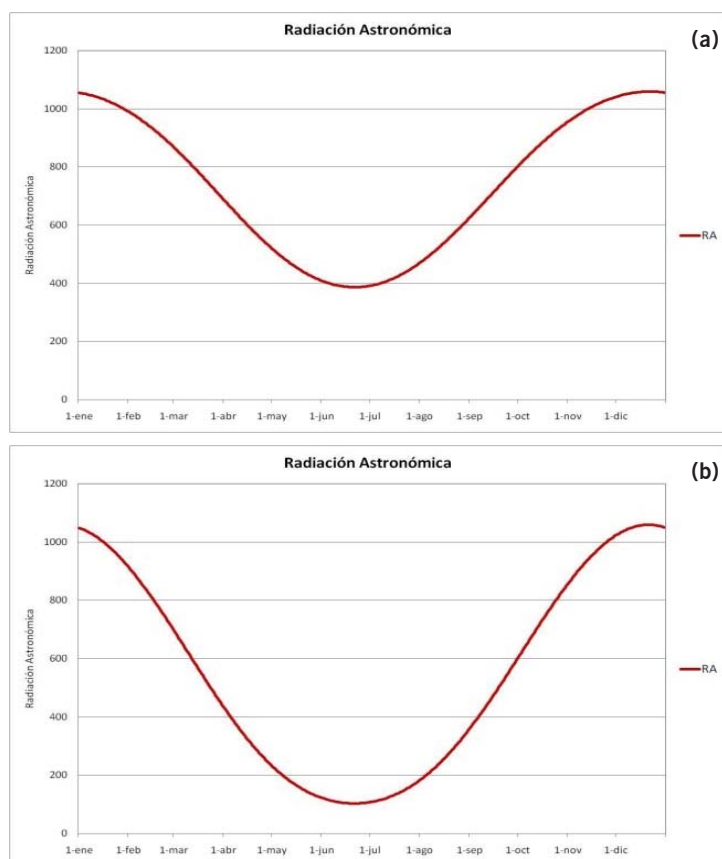


Figura 5.
Radiación astronómica diaria
(RA) en $\text{cal/cm}^2\text{min}$ para
Pergamino (a) y Ushuaia (b).

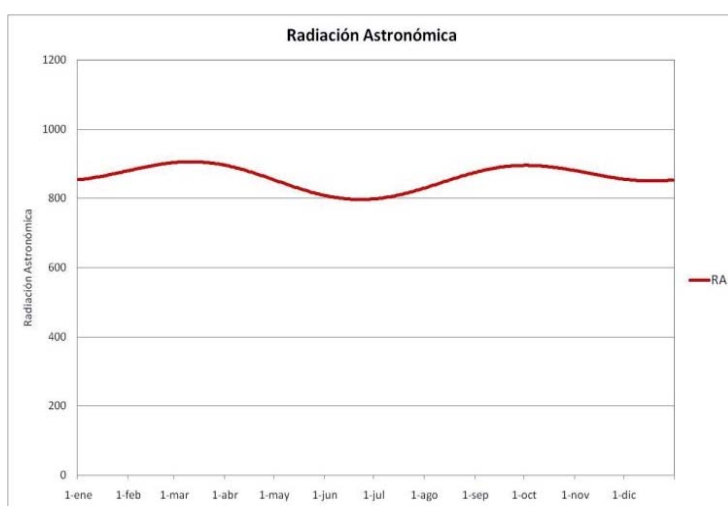


Figura 6.
Radiación astronómica
diaria (RA) en $\text{cal/cm}^2\text{min}$
sobre el Ecuador.

Es un desarrollo de docentes e investigadores de la cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (FAUBA) y ha sido registrada bajo propiedad intelectual en el expediente UBA N° 5198709.

Como el objetivo de la misma es facilitar la tarea de los alumnos, investigadores y técnicos de todas las áreas que puedan llegar a necesitar

de esta información, la planilla es de uso libre y se encuentra disponible en la página web del Centro de Información Agroclimático (CIAG) en el link de Servicios, sobre el título de Índices de radiación (www.agro.uba.ar/centros/ciag/servicios#cal), y en la web de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Jujuy (FCA-UNJu).

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R.; L.S. Pereira; D. Raes y M. Smith: 2006. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Cuadernos de riego y drenaje* N° 56. FAO. 298pp. Roma, Italia.
- Fernández Long, M.E. y G.M. Murphy. 2013. Energía Atmosférica. *En: Agrometeorología*. Murphy y Hurtado (eds). Editorial Facultad de Agronomía. pp 23-39. ISBN 978-950-29-1324-7. (Capítulo de Libro).
- Fernández Long, M.E.; S. Cañas; D. Ocampo y R. Rivas. 2014. Estimación de la evapotranspiración potencial en la Argentina: comparación de metodologías. *Actas XV Reunión Argentina de Agrometeorología y Reunión binacional Uruguay-Argentina*. 1 al 3 de Octubre de 2014, Piriápolis, Uruguay. 41-42. ISBN: 978-987-688-082-4.
- Jones, J.W.; G. Hoogenboom; C.H. Porter; K.J. Boote; W.D. Batchelor; L.A. Hunt; P.W. Wilkens; U. Singh; A.J. Gijssman and J.T. Ritchie. 2003. The DSSAT Cropping System Model. *European Journal of Agronomy* 18, 235-265.
- Murphy, G.M. y M.E. Fernández Long. 2013. La Tierra. *En: Agrometeorología*. Murphy y Hurtado (eds). Editorial Facultad de Agronomía. pp 17-22. ISBN 978-950-29-1324-7. (Capítulo de Libro).
- Pascale, A.J. y E.A. Damario. 2004. Bioclimatología agrícola y agroclimatología. Ed. Facultad de Agronomía, UBA. 550 pág.
- Lee III, R.B.; B.R. Barkstrom; E.F. Harrison; M.A. Gibson; S.M. Natarajan; W.L. Edmonds; A.T. Mecherikunnel and H. Lee Kyle. 1988. Earth radiation budget satellite extraterrestrial solar constant measurements: 1986-1987 increasing trend. *Advances in Space Research* Volume 8(7) 1988, Pages 11-13.
- Slodowicz, Alan. 2015. Estimación de la Radiación Global a partir de datos meteorológicos en la Argentina. Tesis para optar por el título de Ingeniero Agrónomo de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires.

