

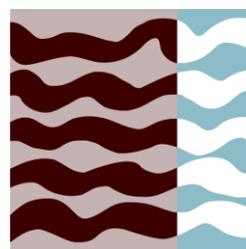
Bases de la producción vegetal

Tema III Balance de radiación

Ingeniería agrónoma grado en hortofruticultura y jardinería



Universidad
Politécnica
de Cartagena



ETSIA
Cartagena

Jorge Cerezo Martínez

1. Introducción

La radiación solar (R_s) es un conjunto de vibraciones electromagnéticas que se propagan con la misma velocidad, la de la luz, pero con diferente longitud de onda. De todas estas vibraciones la R_s es considerada fundamentalmente, de onda corta. Junto a ella, además, habría que considerar a la radiación térmica, que es de onda larga emitida por todo objeto situado en la corteza terrestre.

Las distintas radiaciones solares, de las cuales la luz visible es sólo una pequeña parte, viajan por el espacio en todas direcciones, como los radios de un círculo, de donde proviene su nombre. Propagan a la velocidad de la luz, c , es decir, a 300.000 km por segundo. Las radiaciones llegan a la Tierra ocho minutos después de ser generadas.

Debido a que las radiaciones viajan como ondas a la velocidad de la luz (c), tendrán como característica la longitud de onda (λ), que es la distancia entre dos máximos (Figura 1). La frecuencia es el número de ondas que pasan por un determinado punto a una velocidad constante; de esta forma si λ es pequeña, mayor cantidad de ondas pasarán por segundo. Si λ es mayor, la frecuencia será más pequeña.

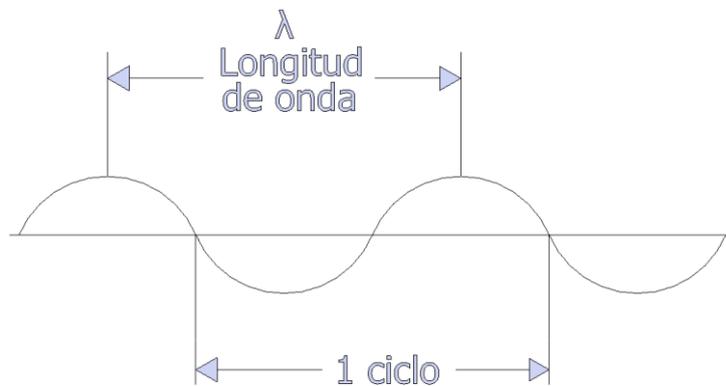


Fig.1.- Longitud de onda de una radiación

Las radiaciones de mayor frecuencia tendrán también mayor energía, ya que la energía (E) es igual a la frecuencia y multiplicada por la constante de Planck (h), siendo $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ Js. La energía será, por lo tanto, $E = hv$.

La pequeña porción del espectro electromagnético que percibe el ojo humano es llamada “luz visible” y está compuesta por radiaciones de poca energía, con longitudes de onda (l) que van de 400 a 800 (nm = nanómetro = 10^{-7} cm), La luz de menor longitud de onda ($l = 400$ nm) es de color violeta; le sigue la de color azul; después tenemos la luz verde, seguida de la luz amarilla y la anaranjada y, por último, a 800 nm, la luz roja con la que termina el espectro visible.

2. La radiación solar

La R_s es la fuente de energía de numerosos procesos que tienen lugar en la naturaleza, como la evaporación, el calentamiento del aire y del suelo, transpiración, etc. Es la fuente primaria de energía en la producción de los diferentes cultivos. Dependiendo de la calidad de la luz, es decir, de la longitud de onda que predomine en la propagación de esa onda, jugará un papel diferente en los numerosos procesos que realiza la planta durante su ciclo anual.

A partir de la siguiente ecuación se puede calcular la energía emitida por un cuerpo ($E_t, W/m^2$):

$$E_t = \epsilon \sigma T^4$$

Donde ϵ , es la emisividad de un cuerpo (efectividad del mismo en la emisión de la radiación); σ , es la constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \cdot 10^{-8} W/m^2 K^4$); T , es la temperatura absoluta del cuerpo emisor. Atraviesan la atmósfera hasta llegar a la superficie terrestre:

- Radiaciones de longitud de onda más corta que son absorbidas por el ozono de las capas más altas. Inferiores a $0,29\mu\text{m}$ de λ .
- Radiaciones luminosas que atraviesan la atmósfera con facilidad, teniendo más dificultades que las de más corta λ .
- Radiaciones térmicas son absorbidas en función del contenido de agua de la atmósfera y otros elementos. Llegan más debilitadas.

La constante solar es la densidad de flujo de la radiación solar en el límite de la atmósfera y a una distancia media de la tierra al sol (Fig. 2). Es la cantidad de R_s por unidad de superficie y adquiere un valor de $1350 - 1400 \text{ W/m}^2$. Es la máxima energía recibida en la superficie externa de la atmósfera terrestre.

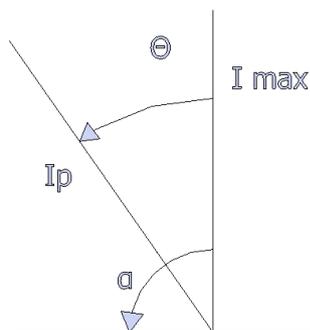


Fig. 2.- Inclinación de la radiación solar incidente. Ángulo cenital.

La R_s es máxima cuando α es igual a 90° . En cambio si esta radiación llegase inclinada, a partir de la ley del coseno se determinaría su valor:

$$I = I_p \cdot \cos \Theta$$

Donde Θ , es el ángulo cenital, es decir, el ángulo de incidencia con respecto a la vertical de la radiación. Éste depende, para una superficie horizontal sobre el planeta de la Latitud¹ del lugar considerado, del ángulo de declinación (DEC), determinado por la época del año en que nos encontremos, y de la hora del día, ángulo horario (h), expresada en grados (donde 0° correspondería a mediodía solar, es decir a las 12h).

DEC se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{DEC} = 23,5 \cos(360(\text{DDA} - 172)/365)$$

Donde DDA, es el día del año. Para el día 172 (21 de junio) DEC alcanzará su valor máximo ($23,5^\circ$).

El $\cos \Theta$ se puede calcular a través de la siguiente expresión:

$$\cos \Theta = \sin(\text{LAT}) \sin(\text{DEC}) + \cos(\text{LAT}) \cos(\text{DEC}) \cos(h)$$

Donde h, es el ángulo horario. Existen tres bandas fundamentales en relación a la ecología de cultivos del espectro de la R_s que llega a la capa externa de la atmósfera:

- Banda del infrarrojo (40% del total que llega).
- Banda del visible (40% del total que llega), la longitud de onda en la que se propaga es entre $0,4$ y $0,7 \mu\text{m}$. Es la denominada radiación fotosintéticamente activa (RFA).
- Banda de la ultravioleta (8% del total que llega).

La R_s es modificada al atravesar la atmósfera en cantidad, calidad y dirección de la luz, debido a los procesos de absorción y dispersión:

¹ La latitud es la distancia angular, sobre un meridiano, entre un punto terrestre y el paralelo del ecuador. La Longitud es el ángulo formado entre el meridiano que pasa por el punto considerado y el meridiano de Greenwich

- La absorción supone una disminución de la energía que llega a la tierra, con el consiguiente calentamiento de la atmósfera, este proceso lo realizan fundamentalmente el ozono (banda del ultravioleta) y el vapor de agua (banda del infrarrojo).
- La dispersión ocurre al chocar los fotones de la radiación contra las moléculas que componen el aire, junto a las partículas que se encuentran en suspensión y los aerosoles. Estos choques suponen un cambio en la dirección de la Rs.

En la banda visible del espectro, la absorción es menos importante que la dispersión, mientras que en la banda del infrarrojo ocurre lo contrario (la absorción es mayor).

Como consecuencia de estos dos procesos, la Rs tiene dos componentes:

- Rs directa (Rd), que llega con la dirección de los rayos solares.
- Rs difusa (Rdif), incluye aquella fracción de Rs que llega a través de la dispersión.

La radiación global (Rg) es la suma de los dos componentes.

La RFA supone un 45% de la Rg. La Rs supone un 75% de la constante solar, debido a los dos procesos anteriores.

La radiación difusa aumenta con respecto a la directa con la latitud y Θ , es decir, la relación Rdif / Rd es mayor al atardecer y al amanecer que al mediodía.

La Rs puede ser medida con piránómetros o actinómetros, son aparatos que miden la intensidad de la Rs, transforman la energía química y luminosa en térmica. El valor energético de Rs se expresa en $cal/cm^2 min$. Se puede estimar a partir de la radiación extraterrestre (R_A), y el cociente entre el número real de horas de sol (n) y el número máximo de horas de sol (N):

$$R_s = (0,25 + 0,5 n/N)R_A$$

Para días despejados $R_s = 0,75 R_A$; y para días nublados $R_s = 0,25R_A$.

R_A es aquella radiación que llegaría a una superficie horizontal en ausencia de atmósfera y depende de la Latitud y del ángulo de declinación (momento del año).

A partir de la ley del coseno, si se integra desde $\theta = 90^\circ$ (amanecer), hasta el anochecer $\theta = 90^\circ$, se obtiene la expresión de R_A .

$$R_A = 37,7 dr (\sin(LAT) \sin(DEC))hs + \cos(LAT) \cos(DEC) \sin(hs 180/\pi)$$

Donde hs, es la mitad de la duración del día en radianes y cuya expresión es:

$$hs = \pi/180 \arccos(-\tan(LAT) \tan(DEC))$$

dr es la corrección debida a las variaciones en la distancia entre el sol y la tierra, que depende del día del año, su expresión es:

$$dr = 1 + 0,033 \cos(360DDA/365)$$

$$N = 2hs 180/\pi/15 = 24 hs/\pi$$

Una vez que la Rs alcanza la superficie terrestre, parte de ella se refleja. Así el albedo (α) es la proporción de la radiación incidente que es reflejada en la banda del visible. De esta forma la radiación de onda corta permanece en la superficie terrestre se calcula:

$$R_{OC} = (1 - \alpha)R_s$$

Donde R_{OC} , es la radiación de onda corta; α , es el albedo, su valor puede oscilar para los cultivos entre 0,15 y 0,25. Para un suelo humedecido que es más oscuro que para uno seco, tendrá un valor de albedo más bajo (0,16 sobre 0,23).

3. La radiación terrestre

La radiación terrestre (R_b) es una radiación de onda larga, en torno a 10 micras. La mayor parte de la radiación emitida por la superficie de la tierra es absorbida por las moléculas que componen la atmósfera (vapor de agua CO_2 , N_2O y CH_4) y por otra parte es perdida hacia el espacio exterior.

Las pérdidas netas de radiación son de onda larga:

$$R_b = (0,9 \frac{n}{N} + 0,1)(0,34 - 0,14e \cdot a^{0,5})4,9 \cdot 10^{-9}T^4$$

Donde e_a , es la presión de vapor del aire (kPa); T , la temperatura absoluta del aire (K); n/N , es la relación entre el número real de horas de sol y el máximo posible y la constante de Stefan Boltzman es $4,9 \cdot 10^{-9} \text{ (MJ/m}^2/\text{K}^4\text{)}$.

Las pérdidas de onda larga serán mayores con cielos despejados, con baja humedad del aire y altas temperaturas, de acuerdo a la anterior expresión.

4. La radiación neta

La cantidad de radiación neta que queda en una superficie de albedo α tiene la siguiente expresión:

$$R_n = (1 - \alpha)R_s - R_b$$

Es decir, la radiación neta (R_n) es la diferencia entre los flujos de radiación hacia la superficie terrestre y desde ella. Es la energía que queda disponible para los procesos de evaporación, transpiración, calentamiento del aire, del suelo y del cultivo, fotosíntesis, etc.

La R_s es positiva durante el día y nula durante la noche, el flujo de radiación neta es negativo durante la noche.

5. La producción vegetal y la radiación solar

Dentro de los diferentes factores que afectan a la producción primaria de los cultivos, uno de ellos es la R_s . Las plantas que son seres autótrofos, captadores de R_s . Transforman la energía radiante en química, que queda asociada a los compuestos orgánicos de la biomasa.

La producción vegetal total es la biomasa total (raíces y biomasa aérea). Productividad vegetal es la producción vegetal por unidad de superficie de terreno y unidad de tiempo.

El índice de cosecha (IC) es el cociente entre la producción económicamente útil y la producción de biomasa total.

De la R_s incidente, debido a los pigmentos encargados de captar esa radiación, sólo una proporción es útil para la fotosíntesis, y ésta es la RFA.

La RFA absorbida (energía para la fotosíntesis) se obtiene del siguiente balance:

$$RFA_{ab} = (RFA_i + RFA_{ts}) - (RFA_r + RFA_t)$$

Donde el primer término de la ecuación es la que entra en la planta, en ella RFA_i es la radiación fotosintéticamente activa incidente y RFA_{ts} la reflejada por el suelo hacia la planta; el segundo término es la fracción que sale del sistema sin ser aprovechada, y en ella RFA_r es la reflejada por la cubierta vegetal y RFA_t es la transmitida al suelo.

Simplificando la anterior ecuación:

$$RFA_{interpretada} = RFA_i - RFA_t$$

La RFA_i se puede medir a través de sensores, y la RFA_t es más complicada, debido a la heterogeneidad de la cubierta vegetal, existen sensores de tipo lineal que abarcan una superficie extensa.

Eficiencia en la interpretación de R_s .

$$RFA_{int} = E_i RFA_i$$

Donde E_i , es la eficiencia en la interpretación de la cubierta vegetal, varía entre 0 y 1, o suelo desnudo y una cubierta vegetal que dejase pasar la RFAi en su totalidad.

Depende de numerosos factores:

- Arquitectura de las plantas
- Característica de la cubierta vegetal (recubrimiento de ceras, etc.)
- Cantidad de hojas y tejidos vegetales en la cubierta vegetal

Todos estos factores se condensan en el concepto de índice de área foliar, que es el grado de densidad de hojas de una cubierta vegetal dada.

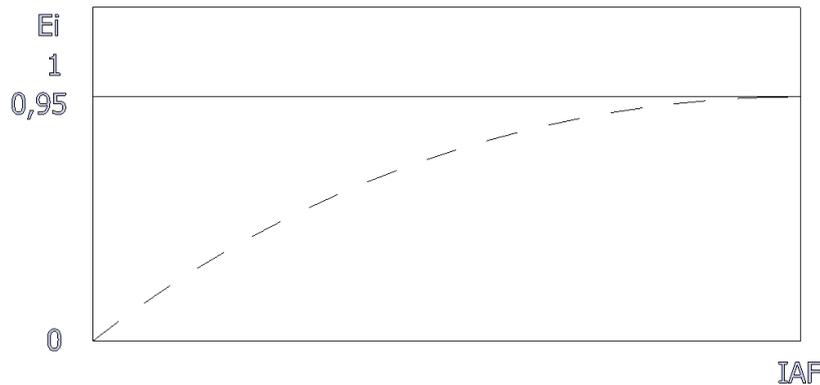


Fig. 3.- Valor de la eficiencia en la interpretación solar de la planta y el índice de área foliar de la misma.

Su expresión es la siguiente:

$$IAF = \text{superficie de hojas (m}^2 \text{ de hoja)} / \text{superficie de terreno (marco de plantación) (m}^2 \text{ de suelo)}$$

Una gran densidad de hojas no es rentable, económicamente hablando, ya que se gasta reservas del árbol en ellas, incluso más poda y hace más sombra a cierta parte del árbol.

Incremento de la producción vegetal a través del IAF, a través en definitiva del marco de plantación, o de la densidad de siembra. Altas densidades, provoca una densidad espesa, interceptación por unidad de superficie de la RFAi será elevada, puede ocurrir competencia por la luz, competencia por recursos, nutrientes y agua.

En cambio, bajas densidades de plantas, E_i será baja, la interpretación también lo será, recursos serán escasos.

La estimación de la producción potencial de cultivo se puede determinar a partir de la siguiente expresión:

$$Mst = f(RFA_{int}) = f(RFA_i, E_i)$$

La R_s se obtendría de una estación climática, a partir de ella la RFA_{int} , considerando un valor máximo de E_i para un cultivo adulto. Se podría comparar la producción potencial de un cultivo con el realmente obtenido, y se podría de esta forma optimizar los recursos empleados.

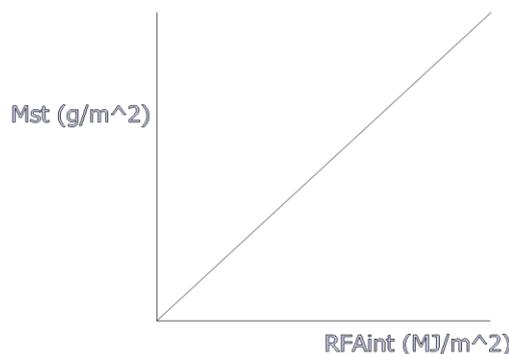


Fig. 5.- Producción potencial el cultivo en función de la radiación fotosintéticamente activa interceptada.

6. Bibliografía

- CURT, MD.; MARTÍN, I.; MANZANARES, P. 1991. *La producción vegetal en relación a la radiación solar*. Agricultura 60 (705): 344-350 p.
- ROMO, A. 1996. *Química, Universo, Tierra y Vida*. Fondo de Cultura Económica. México.
- URBANO, P. 2002. *Fitotecnia. Ingeniería de la Producción Vegetal*. Mundi Prensa. 528 pp.
- VILLALOBOS, F.J.; MATEOS, L.; ORGAZ, F.; FERERES, E. 2002. *Fitotecnia: Bases y Tecnología de la Producción Agrícola*. Ed. Mundi-Prensa. 495 pp.