

Radiación solar UV-B y estrés en las plantas

ALMANZA M. Pedro José *

En el curso de la evolución unas plantas se han adaptado a una vida sometida a radiaciones extremas y otras han desarrollado una notable capacidad de acomodarse a la luz del momento.

F. Valladolid.

RESUMEN

Las plantas son las encargadas de la realización de procesos metabólicos esenciales. Ellas tienen la posibilidad de generar oxígeno y compuestos alimenticios a través de la fotosíntesis a partir del agua, el dióxido de carbono y la energía solar. Por lo tanto, son esenciales para el mantenimiento de la vida en el planeta. El lugar donde se desarrollan, se convierte en la fuente de información que determinará la cantidad y calidad de la cosecha. La luz es heterogénea y cambiante, de ahí que las plantas se hallan expuestas a radiaciones adversas para la realización de sus procesos metabólicos. Es así, como han desarrollado una serie de adaptaciones estructurales y fisiológicas que les permiten soportar y aprovechar la radiación disponible. La energía solar ultravioleta es inhibidora, y puede ocasionar algunos desbalances biosintéticos, que a su vez, mediante las rutas del metabolismo secundario, podrían generar propiedades especiales imprimiendo tipicidad en frutos producidos en climas fríos tropicales, con características regionales o de denominación de origen. La biosíntesis secundaria, suele hallarse restringida a fases específicas del desarrollo de la planta y a situaciones de estrés; condiciones que inducen a la expresión de genes que codifican varias enzimas de la ruta biosintética de compuestos fenilpropanoides.

ABSTRACT

Plants are in charge of essential metabolic processes. They have the responsibility of generating oxygen and nutritious compounds through photosynthesis; starting from water, dioxide of carbon and solar energy. Therefore, they are essential to maintain life on earth. The place they are developed becomes the source of information to determine the quantity and quality of the crop. The light is heterogeneous and changing, therefore they are exposed to radiations unfavourable to its metabolic processes. Thus they have developed a series of structural and physiologic adaptations which allow them to support and to take advantage of the available radiation. The ultraviolet solar energy is inhibitor and it can cause some biosynthetic unbalances which in turn, through secondary metabolism routs, can generate special properties instilling typology in those types produced in tropical cold climates, with regional characteristics or with Denomination of Origin. The secondary biosynthesis is usually restricted to specific phases of plant development and to stress situations. Such conditions induce to the expression of genes that code several enzyme in the biosynthetic route of fenilpropanoid compounds.

*Doctorado en Ciencias Agropecuarias (C), Área Agraria, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Especialista en Frutales de Clima Frio, UPTC, Examinero Agrónomo, UPTC, Docente Investigador, Fundación Universitaria Juan de Castellanos. E-mail: ppcalma@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

Los vegetales con sus ciclos fenológicos en el lugar en que germinan o han sido plantados, desarrollan sus procesos productivos; por tanto, no pueden ir en busca de condiciones ambientales y edáficas óptimas. El lugar donde crecen determina la disponibilidad de luz, en él procesan su alimento mediante la fotosíntesis utilizando la energía solar. La radiación UV-B del sol tiene efectos fotobiológicos en su desarrollo, morfología y fisiología, debido a la degradación de la proteína D del fotosistema II (Jansen et al, 1998; Chaparro, 2001; Frohnmeyer y Staiger, 2003; Caldwell et al., 2003).

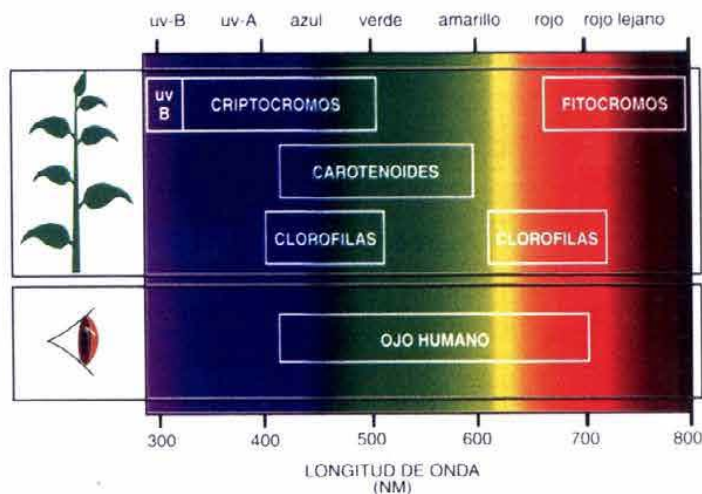
La luz es imprescindible para la vida en el planeta, con ayuda de ésta, las plantas realizan procesos metabólicos comunes. Mediante la fotosíntesis sintetizan compuestos orgánicos a partir de CO₂, agua y energía solar, que conducen a la formación de compuestos primarios, originados en el metabolismo primario, como azúcares simples, aminoácidos, nucleótidos, ácidos grasos y polímeros derivados de ellos (proteínas, ácidos nucleicos, lípidos) que son esenciales para la planta. Probablemente este sea el factor ambiental más complejo y variable que actúa sobre las plantas, desempeñando un papel crucial, pues, proporciona energía para la fotosíntesis y sirve como estímulo para su desarrollo. La fotomorfogénesis abarca el conjunto de procesos mediante los cuales las plantas adquieren información de calidad, cantidad, dirección y fotoperiodicidad de la luz ambiental que controla su crecimiento y diferenciación. Estos procesos resultan de la acción combinada de 3 fotorreceptores: el fitocromo, el criptocromo (fotorreceptor azul/ultravioleta A y fotorreceptor ultravioleta B) (Casal, 2000; Martínez, et al, 2002).

Se sabe que la radiación solar UV es inhibidora, y que ocasiona ciertos desbalances biosintéticos, pero a su vez puede generar, mediante las rutas del metabolismo secundario, ciertas propiedades especiales o imprimir tipicidad en los frutos producidos en climas fríos tropicales, lo que contribuiría a la tipicidad de productos de denominación de origen, como el vino (Quijano Rico, 1991, 1993, 1999; Alvarado y Cubides, 2002).

Las plantas desarrollan rutas derivadas biosintéticamente del metabolismo primario originando una gran variedad de compuestos químicos llamados metabolitos secundarios, producto del metabolismo secundario. Su biosíntesis suele hallarse restringida a fases específicas del desarrollo de la planta y a situaciones de estrés (Mora y Quijano, 1999; Piñol et al, 2001). El término secundario parece no ser de importancia, pero fisiológica y bioquímicamente, sí lo es, porque forman parte del mecanismo de protección inducido por el ataque de patógenos, exceso de O₃, radiación solar UV, frío, falta de nutrición y daños mecánicos. Estas condiciones inducen a la expresión de genes que codifican varias enzimas de la ruta biosintética de compuestos fenil propanoides, como la PAL, la p-cumarato CoAligasa, y la calcona sintasa, entre otras

Radiación solar

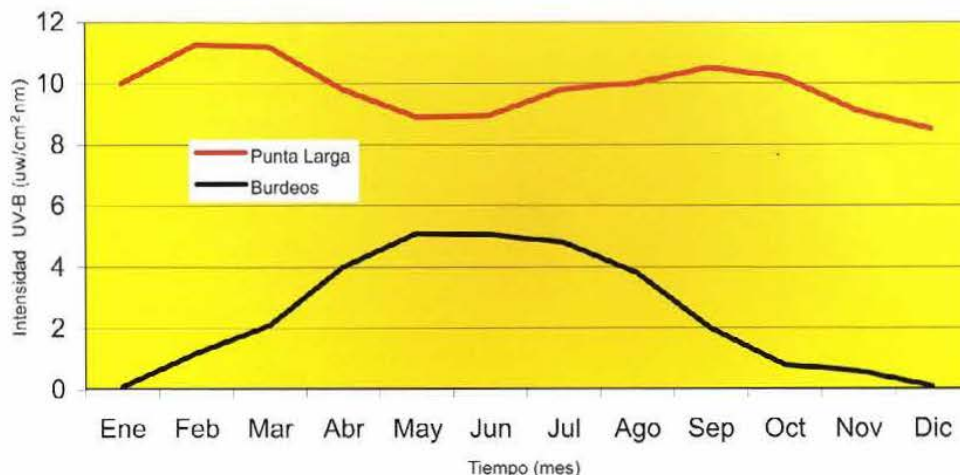
La radiación electromagnética emitida por el sol está comprendida entre las longitudes de onda de 0.01 nm (rayos gama) hasta 100 m (ondas de radio). La radiación fotosintéticamente activa (PAR) o visible, se ubica entre los 400 nm (violeta) y los 700 nm (rojo). El 7% se encuentra en el rango comprendido entre 200 a 400 nm, correspondiente a la radiación ultravioleta (UV). En el paso por la atmósfera, el flujo total transmitido se reduce gradualmente, y la composición de la radiación UV se modifica en tres segmentos: UV-C (200-280 nm), UV-B (280-320 nm) y UV-A (320-400 nm). La radiación UV-B en su mayoría es absorbida por el ozono, y una pequeña parte es transmitida a la tierra. En los últimos 50 años la concentración de ozono ha disminuido en un 5%, debido principalmente al uso de agentes contaminantes antropogénicos como los clorofluorocarbonados (Pyle, 1996). Por tanto, una proporción más grande del espectro UV-B alcanza la superficie terrestre con implicaciones serias para la vida en el planeta (Xiong y Day, 2001; Caldwell et al, 2003),



La luz solar se compone de colores que corresponden a diferentes longitudes de onda. El espectro visible al ojo humano cubre desde la región de los 400 a 700 nm, mientras que las plantas tienen la capacidad de percibir desde el ultravioleta hasta el rojo lejano. Para ello, están dotadas de distintos tipos de proteínas: receptores de UV-B (280-320 nm) y azul-verde (400-500); criptocromos, que absorben mayoritariamente luz UV-A (320-390 nm) y azul-verde (400-500); clorofilas, que absorben azul, amarilla-roja (600-700 nm); carotenoides, que absorben luz verde y amarilla (400-600 nm) y los fitocromos, que absorben luz roja y roja lejana (700-800 nm). Fuente: Martínez, et al, 2002.

De la cantidad de energía que llega al límite superior de la atmósfera terrestre, 1367 W/m^2 (constante solar), solo las 2/3 partes alcanzan a la superficie de la tierra. Gracias a la presencia de una variedad alotrópica de oxígeno atmosférico, el ozono (O_3); la radiación UV-C es absorbida en su totalidad en la capa de la atmósfera, el 0.25% de radiación UV-B y el 4.75% de radiación UV-A llega a la superficie de la tierra (Zaratti, 1997). La declinación solar, en la zona tropical, varía en el rango de 23.45° tanto norte como sur, permitiendo que la radiación solar

llegue durante todo el año en una forma casi perpendicular, diferente a lo que sucede en las zonas templadas (46.9°) donde se presenta estacionalidad. Según Chaparro, 2001; el comportamiento promedio de la intensidad de radiación UV-B en zonas templadas, tiene mayor intensidad entre abril y septiembre, con valores máximos de junio a agosto ($5 \text{ W.m}^{-2}.\text{d}^{-2}$); mientras que en zonas tropicales, se presentan dos picos máximos; uno entre febrero y marzo ($11.77 \text{ W.m}^{-2}.\text{d}^{-2}$), otro entre septiembre y octubre ($10.45 \text{ W.m}^{-2}.\text{d}^{-2}$).



Intensidad de radiación solar UV-B solar, recibida en la zona tropical; Viñedo Loma de Punta Larga, Nobsa, Colombia y en la zona templada; Burdeos, Francia, durante el año 2000. Datos tomados a partir de concentraciones de ozono registradas por el satélite TOMS. Fuente: Chaparro, 2001.

Altitudinalmente la radiación UV-B, debido a la masa óptica que tiene que atravesar, sufre un incremento moderado de cerca de 14 a 18% por cada 1000 m de elevación (Caldwell, 1988). A medida que se incrementa la altitud, se disminuye la presión

atmosférica y, por tanto, la densidad de la atmósfera con ello, la posibilidad de absorber mayor radiación UV-B. Esto implica que, a mayor altura sobre el nivel del mar es mayor la dosis de radiación UV-B recibida por el suelo.

Estrés en las plantas y calidad de la producción

El concepto de estrés implica la presencia de un factor externo a la planta, provocado por el medio ambiente cambiante, que puede ejercer una influencia negativa sobre su desarrollo óptimo. La inmovilidad es la causa de que las plantas hayan adquirido y perfeccionado, a través de su evolución, mecanismos de autodefensa que les permita vivir en ambientes diversos. La energía solar cumple un papel importante en las plantas, se constituye en fuente de información sobre el entorno, pues ellas perciben los diferentes segmentos del espectro luminoso desde la radiación ultravioleta hasta el rojo lejano (Quijano Rico, 2003). Pero la luz es muy heterogénea y cambiante, de esta forma las

plantas se hallan expuestas a radiaciones que distan de ser óptimas para sus procesos metabólicos. Es así, como han desarrollado en el curso de la evolución una serie de adaptaciones estructurales y fisiológicas que le permiten soportar y aprovechar la radiación solar disponible, a esto se le denomina plasticidad fenotípica (Valladares, 2001).

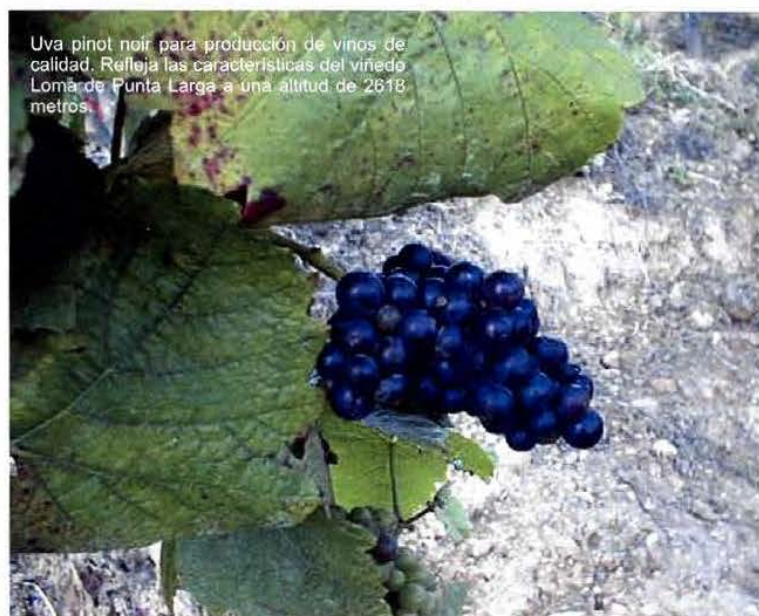
Las plantas responden a la radiación UV-B, estimulando mecanismos de protección o activando estructuras de reparación para hacer frente a este tipo de estrés. La herramienta protectora más común contra la irradiación potencialmente perjudicial es la biosíntesis de compuestos, que absorben las radiaciones UV (Hahlbrock y Scheel, 1989; Alvarado y Cubides, 2003).

Esta biosíntesis implica la formación de metabolitos secundarios; por ejemplo; taninos, flavonoles, antocianos, etc., que se acumulan en las vacuolas de las células epidérmicas. Como una de las respuestas a la radiación solar, se atenúa la penetración en la gama de la longitud de onda UV-B (Caldwell, 1988; Hahlbrock y Scheel, 1989; Blanke, 1996; Searles, 1995; Borman; 1999) y, pueden imprimir tipicidad en frutas producidas en climas fríos tropicales (Quijano Rico, 1991, 1993, 1999; Alvarado y Cubides, 2003).

En el Valle del Sol (Boyacá), en los últimos años, se ha venido ampliando el cultivo de vid, contando en la actualidad con 66 viticultores en 14 municipios (Quijano Rico, 2004). Desde 1984 en la Loma de Punta Larga, se viene realizando investigación en el cultivo para el Consorcio Sol de Oro; aprovechando la posición geográfica de la región (Quijano Rico, 2003), la elevada intensidad de la radiación UV-B, que puede incidir sobre el metabolismo de compuestos que favorecen el sabor, el aroma y el color de los frutos (Quijano Rico, 1991; Arakawa, 1993; Jackson, 1993; Blanke, 1996; Happ, 1999; Fregoni y Pezzutto, 2000; Quijano Rico 2004,) y otras condiciones apropiadas que se encuentran en climas fríos tropicales situados entre los 2400 y 2700 msnm (Quijano Rico, 2002), con el objeto de producir vinos de calidad superior (Quijano Rico, 1999, 2004).

Un vino de calidad procede de una uva de calidad. Sus caracteres organolépticos dependen de la composición fitoquímica de la baya. Es importante conocer su composición para comprender los fenómenos que se producen en la etapa de maduración. El vino es el producto de la transformación de la uva por el

hombre, considerado como una solución hidroalcohólica, producto de la biosíntesis primaria y secundaria de la planta; es una sinfónica química impulsada por la luz, contiene hidratos de carbono (azúcares especialmente glucosa y fructuosa), ácidos (málico y tartárico), sales minerales, compuestos fenólicos (aldehídos, cetonas, carotenoides, antocianos, taninos, vitaminas) y muchas más sustancias mezcladas en un armonioso y equilibrado conjunto, que le imprimen sabor y aroma propios de acuerdo con el territorio donde crece (suelo, planta, clima y cultura).



Uva pinot noir para producción de vinos de calidad. Refleja las características del vitigno Loma de Punta Larga a una altitud de 2618 metros.

Funciones de los polifenoles en las plantas

Los fenoles desempeñan importantes funciones fisiológicas en los vegetales, generalmente y debido a su condición de polifenoles se oxidan con mucha facilidad y actúan como antioxidantes. También, cumplen la función de inhibidores del crecimiento de las plantas, aunque se han encontrado algunas estructuras, que de forma específica lo activan al inhibir la degradación de una hormona vegetal, la auxina. Particularmente, las semillas acumulan importantes cantidades de fenoles en sus cubiertas que actúan como un filtro para que el oxígeno no llegue al embrión, inhibiendo su germinación (Palazón, 2002). Otra acción característica de estos

compuestos es el establecimiento de relaciones químicas de las plantas con su entorno (alelopatías).

En el caso de la uva, los compuestos fenólicos resultantes del metabolismo secundario, son básicos para la elaboración de vinos de calidad superior, un ejemplo de esto son los taninos aportados por los hollejos de vendimias bien maduras, que aseguran un óptimo equilibrio que evoluciona con el tiempo durante la maduración del vino, pues ellos participan activamente en el balance enzimático. De hecho, cumplen una función reguladora en la planta.

BIBLIOGRAFÍA

- ALVARADO, C. Y CUBIDES, N. 2002. Efectos de la radiación solar sobre el contenido en carotenos de las hojas y las uvas de *Vitis vinifera* L. en el viñedo de Punta Larga. Tesis Química de alimentos, UPTC. Tunja.
- ARAKAWA, O. 1993. Effect of ultraviolet light on anthocyanin synthesis in light-colored sweet cherry, cv. Sata Nishiki. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*. 62(3): 543-546.
- BLANKE, M. 1996. Transmisión de UV irradiance in to nectarine fruit. *Angew botany*. 70: 76-77.
- BORNMAN, J. 1999. Localization and functional significance of flavonoids and related compounds. Rozena, J. Stratospheric ozone depletion: the effects of enhanced UV-B radiation on terrestrial ecosystems. Netherlands: backhuys publishers. 59-69.
- CALDWELL, M. 1998. Effects of increased solar ultraviolet radiation of terrestrial ecosystems. *Journal of photochemistry and photobiology*. 46 (41-52).
- CALDWELL, M.; BALLARÉ, C.; BORMAN, J.; FLINT, S.; BJORN, L.; TERAMURA, A; KULANDAYVELU, G.; TEVINI, M. 2003. Terrestrial ecosystems, increased solar ultraviolet radiation and interactions with other climatic change factors. *Photochemistry Photobiology Science* 12: 29-38.
- CASAL, D. 2000. La luz como factor regulador del crecimiento. Elementos de fisiología vegetal. Azcón-Bieto, J. y Talón M. Mc Graw Hill. Barcelona, 377-388.
- CHAPARRO, G. 2001. Asimilación carbónica de la vid (*Vitis vinifera* L.) en condiciones de altitud tropical. Alta irradiancia UV-B. Tesis Biología, Bogotá. Universidad Nacional de Colombia, 89p.
- FREGONI, C. Y PEZZUTTO, S. 2000. Principes et premières approches de l'indice bioclimatique de qualite de fregoni. *progrés agricole et viticole* 117(18): 390-396.
- FROHNMEYER, H. AND STAIGER, D., 2003. Upgrade in the answers slight ultraviolet b. protection radiation half fillet ultraviolet b in plant. Damages and protection that balance. *Plant Physiology*. 133: 1420-1428.
- HAHLBROCK, K. AND SCHEEL, D. 1989. Physiology and molecular biology of phenyl propanoid metabolism. *Annu Rev plant Physiology plant molecular biology*. 40: 347-369.
- HAPP, H. 1999. Indices for exploring the relationship between temperature and grape and wine flavor, *Winw Industry Journal*. 4(68-75).
- JACKSON, D. Y LOMBARD, P. 1993. Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality a review. *American Journal enology viticulture*. 44: 409-430.
- JANSEN, M.; GABA, V. AND GREENBERG, B. 1998. Higher plants an UVB radiation: balancing damage, repair and acclimation. *Trends plant science*. 3:131-135.
- MARTINEZ, F.; MONTE, E. Y RUIZ F. 2002. Fitocromos y desarrollo vegetal. *Investigación y ciencia*. 1: 20-29.
- MORA, A. PARRA, L. Y QUIJANO RICO, M. 1999. Efectos de la radiación ultravioleta b solar sobre mildew polvoso en vides de la variedad Ehrenfelser. Trabajo seleccionado por la OIV para el 24 congreso mundial del vino, Mainz.
- PALAZÓN, J., CUSIDÓ, R. M., Y MORALES, C. 2002. Metabolismo y significación biológica de los polifenoles del vino. *ACE de enología*. 22-26.
- PIÑOL, M.; PALAZÓN, J. Y CUSIDO, R. 2000. Introducción al metabolismo secundario. Elementos de fisiología vegetal. Azcón-Bieto, J. y Talón M. Mc Graw Hill. Barcelona, 261-283.
- PYLE, J. 1996. Global ozone depletion. P.J. Lumsden, ed, plants and UVB responses to environmental change. Cambridge University press. 3-12.
- QUIJANO RICO, M. 1991. De la ecología de la vid a la biotecnología del vino en Punta Larga, Boyacá. *Actas del VIII congreso Colombiano de Química*, Cali, 198-200.
- _____, 1993. Viticultura y Enología en altitud en el trópico. *Agrodesarrollo*, Tunja. 4: 321-328.
- _____, 1999. Viticultura y Enología Tropicales en Altitud. Similitudes y diferencias con regiones templadas tradicionales. Trabajo seleccionado por la OIV para el 24 congreso mundial del vino, Mainz.
- _____, 2001. los vinos del Valle del Sol. *Nacimiento de la Viticultura y la Enología de clima tropical frío*, Cultura científica, FUJC. Tunja. 5-11.
- _____, 2003. la luz como factor de tipicidad y calidad en el "terroir" tropical de altitud. Conferencia. Seminario. Luz y Nutrición como factores de producción.
- _____, 2004. Ecología de una conexión solar. De la adoración del sol al desarrollo vitivinícola regional. Inédito.
- SEARLES, P.; CALDWELL, M. Y WINTER, K. 1995. The response of five tropical dicotyledon species to solar ultraviolet-b radiation. *American journal of botany*. 7: 445-453.
- TADEO, F. 2000. Fisiología de las plantas y estrés. Elementos de fisiología vegetal Azcon B y Talón, M. Mc Graw Hill. Madrid , 481-498.
- Valladares, F. 2001. Luz y evolución vegetal. *Investigación y ciencia*. 2: 73-79.
- XIONG, F. AND DAY, T. 2001. effect of solar ultraviolet radiation during spring time ozone depletion on photosynthesis and biomass production of antarctic vascular plants. *Plant physiology*. 125: 738-751.
- ZARATTI, F. 1997. La radiación solar. Naturaleza y efectos de la radiación ultravioleta y la capa de ozono. Forno, R y Andrade, M. Instituto de investigaciones físicas. UMSA. Bolivia. 1-7.