



## 4. Ecofisiología

La ecofisiología es una disciplina empleada en las ciencias biológicas y agronómicas; su objetivo es estudiar los procesos fisiológicos que ocurren en las plantas debido al efecto del ambiente; Almanza (2000, p.3) la define como “la ciencia que se encarga del estudio de los procesos físico-químicos que ocurren en las plantas, y de sus respuestas frente a los agentes variables tanto externos como internos, en busca de la conservación del equilibrio dinámico del desarrollo para garantizar la autopropagación de las especies”.

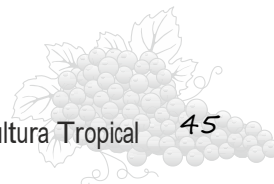
### 4.1 FACTORES DE CRECIMIENTO Y DESARROLLO

Son cuatro los factores de producción que determinan el crecimiento y desarrollo de los cultivos: clima, suelo, planta y hombre (Almanza, 2011).

#### 4.1.1 Clima

Para el caso del cultivo de la vid, el clima es el factor que con mayor intensidad determina la vocación vitícola de una región y su relación con las exigencias de las variedades cultivadas, bien sea para elaboración de vino o para consumo en fresco. La vid tiene unas exigencias climáticas definidas por tres factores: la temperatura, la luminosidad y las precipitaciones (Hidalgo, 1993). Bajo las condiciones agroecológicas de su lugar de origen (con estaciones), la vid produce una única cosecha al año, pues durante el invierno (cuatro meses) las plantas entran en “dormancia” profunda; mientras que bajo condiciones tropicales se pueden obtener hasta 2,5 cosechas al año (cerca al Ecuador), gracias a la intervención del hombre, mediante labores de cultivo como la poda, y a las condiciones agroclimáticas que representan en cada zona (Quijano, 2001). En la región productora de uva de mesa en el Valle del Cauca (1.000 a 1.200 msnm) se producen 2,5 cosechas; en los cultivos comerciales para elaboración de vinos que se encuentran en Boyacá, entre los 2.200 y 2.700 msnm, se producen 1,8 cosechas al año (Almanza, 2011).

“En zonas de mayor altitud y baja latitud, como es el caso de la viticultura de clima frío tropical” (Almanza *et al.*, 2010a; Almanza, 2011), el clima se convierte en el factor de producción al que se le atribuyen los límites (por ejemplo incidencia de heladas) para el desarrollo de este tipo de viticultura; de ahí que los cultivos han sido realizados en zonas



con pendientes orientadas siempre en busca de evitar heladas y lograr temperaturas más elevadas, que junto con la intensidad y composición espectral de la radiación solar, durante el periodo de crecimiento, y con la amplitud del cambio de la temperatura diurna y nocturna (salto térmico) favorezcan la mayor concentración de azúcares y productos del metabolismo secundario, importantes para la calidad del vino (Quijano, 2004; Almanza, 2008).

La temperatura es el componente del clima más importante para definir la época y velocidad de las distintas fases fenológicas de la vid (Branas *et al.*, 1946). Investigaciones recientes han encontrado que cada variedad tiene su propia temperatura fisiológica base, que se denomina acumulación de “grados día de crecimiento” (GDC), o calor acumulado por día (Almanza, 2011); la temperatura fisiológica base, también llamada, por los agroclimatólogos, “cero de vegetación”, corresponde para la vid a 10 °C, que es la temperatura media diaria por encima de la cual se produce crecimiento y desarrollo; aunque es importante indicar que, de acuerdo con los estadios de desarrollo fenológico, es variable (Antonacci *et al.*, 2001; Oliveira, 1998; Wilson y Barnett, 1983).

Antonacci *et al.* (2001) mencionan que con el aumento de la latitud, también se produce aumento en la estacionalidad ambiental; es así como a menores latitudes (cerca al Ecuador), la relación entre el tiempo fisiológico (grados día) y el tiempo cronológico (días) es casi rectilínea, hasta un determinado estado fenológico; mientras que a mayores latitudes la relación se describe en forma curvilínea, y se alarga el tiempo cronológico para alcanzar un estado fenológico determinado (Almanza, 2011).

En la investigación realizada por Almanza *et al.* (2010a) en el municipio de Nobsa (Boyacá), bajo condiciones de clima frío tropical, se caracterizó fisicoquímicamente el fruto de la variedad Pinot Noir durante su crecimiento y desarrollo; desde el día 21 después de la antesis (DDA) hasta la sobremaduración. Desde la fecundación hasta la sobremadurez del fruto se acumularon 826,2 GDC, representados como tiempo fisiológico, que corresponden a 126 días calendario. Tanto la acumulación de masa seca como la de masa fresca siguieron una curva doble sigmoideo (figura 15). Durante el inicio del crecimiento se observó una disminución de pH, sólidos solubles totales (SST) e índice de madurez tecnológica (IMT = SST /ATT), acompañada de un aumento en la acidez total titulable (ATT). Pasado este momento, y hasta la cosecha, se observó un aumento de pH e IMT. Los frutos, en el momento de la cosecha, presentaron 23,5 °Brix y una acidez total titulable que disminuyó hasta 0,94% (figura 16). Con base en los registros de masa fresca, SST e IMT fue posible establecer el punto óptimo de cosecha en 800,6 GDC.

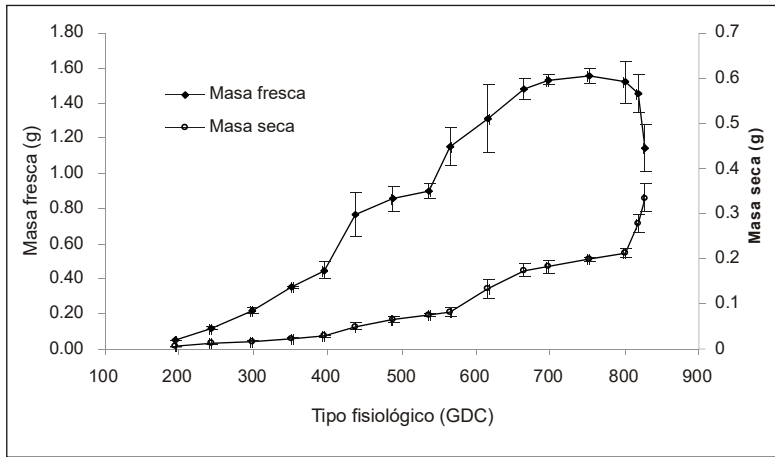


Figura 15. Comportamiento de la masa fresca y la masa seca en tiempo fisiológico (GDC) del fruto de uva Pinot Noir, en Nobsa-Boyacá, con base en el tiempo térmico acumulado.

Fuente: Almanza *et al.*, 2010a.

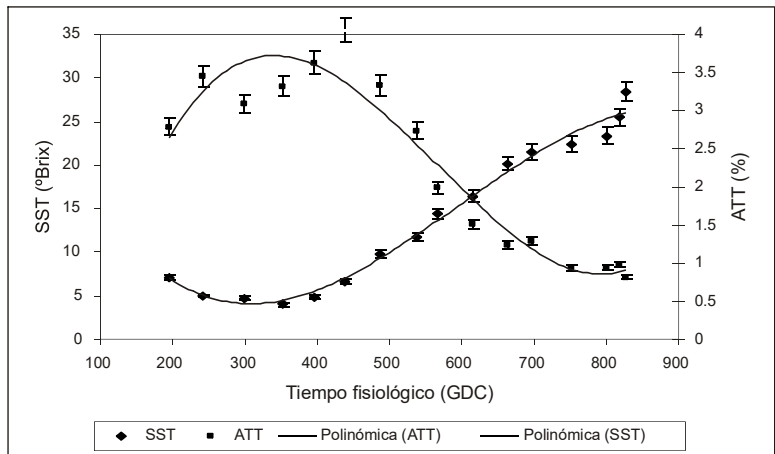


Figura 16. Comportamiento de sólidos solubles totales (SST) y la acidez total titulable (ATT), en tiempo fisiológico (GDC) del fruto de uva Pinot Noir, en Nobsa-Boyacá.

Fuente: Almanza *et al.*, 2010a.

En la investigación realizada por Villaseca *et al.* (1986) en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), la Platina, se encontró que los cultivares de uva de mesa de madurez temprana requieren de 850 a 950 grados día para alcanzar su madurez, mientras que los cultivares de madurez tardía requieren entre 1.150 y 1.350 grados día.

Reynier (1995) menciona que la temperatura es el factor climatológico que determina el cambio de los eventos fenológicos; así, el proceso metabólico de la fotosíntesis aumenta a medida que la temperatura sube, pero hasta 30 °C, pues a partir de este valor comienza a decrecer y presenta detenimiento a los 38 °C, debido a que se presenta degradación enzimática. Se ha determinado que las temperaturas óptimas para el cultivo de la vid, en sus distintas etapas de desarrollo, son las siguientes: apertura de yemas, de 8 a 12 °C; floración, de 18 a 22 °C; desde floración a envero se requieren de 22 a 26 °C; de cambio de color (envero) a maduración, desde 20 a 24 °C, y durante la vendimia (cosecha), de 18 a 22 °C. Las variedades de fruto blanco son menos exigentes en temperatura que las de fruto rojo; estas exigen mayor temperatura durante la fase de envero (Almanza, 2011).

En la zona productora de Boyacá, bajo condiciones de clima moderado, las temperaturas diurnas oscilan entre 18 y 24 °C, favoreciendo la fotosíntesis y, por ende, la síntesis de azúcares; mientras que en la noche las temperaturas son cercanas al cero fisiológico (10 °C), lo cual frena la respiración y, en consecuencia, ocasiona bajo gasto de sustrato respiratorio (carbohidratos), lo que genera frutos de buena calidad en contenidos de sólidos solubles; con base en estos argumentos, los investigadores han podido establecer el denominado índice de frío nocturno (Happ, 1999; Tonieto, 1999). En el periodo de maduración, las temperaturas nocturnas bajas son excelentes para la calidad del vino (Quijano Rico, 2004). Según Reynier (1995), las variedades de maduración tardía y las variedades de uvas de mesa solo se cultivan en zonas cálidas; es por ello que en el Valle del Cauca, en donde las temperaturas diurnas son superiores a 24 °C, y las nocturnas cercanas a 14 °C, se producen frutas de mesa de excelente calidad organoléptica.

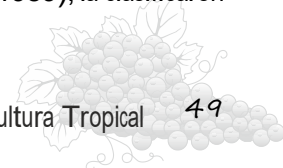
Hidalgo (1993) señala que “es conveniente una diferencia marcada de temperaturas [entre el día y la noche], especialmente durante la temporada de maduración de las uvas”; la maduración lenta, bajo estas condiciones, tiende a producir aromas intensos, que generan vinos finos afrutados; mientras que en zonas en donde el periodo de maduración es corto (climas cálidos y soleados), en donde la diferencia en temperaturas entre el día y la noche es amplia, se pueden producir frutos azucarados, pero con menor nivel de acidez, lo que incide negativamente en la calidad del vino. Otro factor de importancia es la acumulación necesaria de temperaturas por debajo de los 7,2 °C (horas frío), requeridas por los caducifolios para salir del periodo de endodormancia; según Westwood (1982), este valor es dependiente de la variedad. La acumulación está comprendida en el rango de 150 a 1.200 horas frío. Los requerimientos de frío en la vid son inferiores a los de la mayoría de frutales caducifolios, y la acumulación depende de los factores climáticos de cada localidad. La importancia de este factor climático radica en que la falta de acumulación de horas frío produce mala brotación,

que lleva a retrasar la maduración de los frutos (Pinto *et al.*, 2003); en zonas tropicales, por ser un factor deficitario, es necesario aplicar productos compensadores de horas frío.

En cuanto a la luminosidad, la vid es considerada una planta heliófila, por requerir abundante luz para su desarrollo; Hidalgo (1993) menciona que es necesario que acumule entre 1.500 y 1.600 horas anuales para que complete un ciclo de producción, 1.200 de ellas necesarias para el ciclo vegetativo; esto implica la necesidad de establecer viñedos en zonas en donde la luz llegue en mayor proporción. A medida que los cultivos se ubican más cerca del Ecuador, el brillo solar durante todo el año es más constante, factor que fomenta la producción durante todo el año (Almanza, 2011).

La radiación ultravioleta, en especial la del rango de UV-B, causa cierto estrés en las plantas, provocando mayor síntesis de compuestos fenólicos, especialmente durante la maduración del fruto (Caldwell, 1998; Flint *et al.*, Borman, 1999); esta síntesis, especialmente de carotenoides, antocianos y flavonoides, se da en mayor cantidad bajo condiciones de climas fríos, favoreciendo el sabor, el color y el aroma (Arakaw, 1993; Quijano Rico, 2002). En uva, la síntesis de antocianinas, en las variedades tintas, coincide con el envero, periodo en el que la baya comienza a tomar el color característico de la variedad (Winkler *et al.*, 1974). En regiones calurosas, los contenidos de sólidos solubles se logran antes que el mismo color, por lo que muchos viticultores acostumbran a dejar la fruta un tiempo más en el viñedo (Del Valle *et al.*, 2005; Almanza, 2011). Es conocido que la fruta, una vez alcanza cierto nivel de azúcar, bloquea la síntesis de antocianinas (Spayd *et al.*, 2002). Los racimos que reciben mayor radiación solar contienen mayor cantidad de flavonoides que los que se encuentran sombreados, debido a que se incrementa la concentración de los 3-glicósidos de quercetina, kaempferol y miricetina (Spayd *et al.*, 2002). La luz origina una mayor síntesis en la concentración total de antocianinas y flavonoles, pero, a su vez, se reduce por las altas temperaturas, que inciden sobre los racimos expuestos a la luz directa (Steyn *et al.*, 2000); estos factores afectan los contenidos de flavonoles y antocianos (Spayd *et al.*, 2002; Del Valle *et al.*, 2005).

Dentro de las necesidades hídricas, bajo condiciones tropicales, el cultivo de la vid está determinado por las prácticas de riego, debido a que, con la finalidad de lograr un adecuado control fitosanitario, se establecen programaciones que procuran que los ciclos de crecimiento ocurran durante los periodos menos lluviosos (Almanza, 2011); bajo estas condiciones, la demanda de evapotranspiración siempre supera el volumen de precipitación y la capacidad de almacenamiento del suelo, lo que origina la necesidad de riego, al menos en forma complementaria (Pire *et al.*, 1989). Los viñedos ubicados en zonas frescas y húmedas tienen menor probabilidad de presentar déficits hídricos que aquellos ubicados en zonas cálidas y secas; pero las zonas húmedas son más complicadas en el manejo agronómico, debido a la mayor incidencia de problemas fitosanitarios, especialmente por el ataque de enfermedades fungosas. Debido al alto poder de supervivencia de la vid bajo condiciones de extrema sequía, Veihmeyer y Hendrickson (1950), citados por Pire *et al.* (1989), la clasificaron



como hidrófoba; pero posteriormente comprobaron que se afectaba poco cuando la humedad del suelo era mantenida dentro del rango de agua útil y no se permitía que en la proximidad de las raíces se alcanzara el punto de marchites permanente.

Las necesidades hídricas en *V. vinifera* dependen de la variedad y del ciclo de desarrollo fenológico en que se encuentre la planta. Al respecto, Sellés *et al.* (2000) mencionan que es necesario contar con un coeficiente del cultivo (Kc) que relacione la demanda evaporativa de la atmósfera y la transpiración de la planta, a través de sus diferentes fases de crecimiento. En su investigación, Sellés *et al.* (2000) encontraron, para la variedad Red Globe, los siguientes valores de Kc: durante la brotación, caracterizada por una intensa actividad radicular y acelerado crecimiento de tallos, entre 0,15 y 0,20; durante la floración, 0,60, el exceso de agua durante esta fase resulta perjudicial; de floración a cuajado de frutos el Kc fluctúa entre 0,60 a 0,80; el mayor periodo de necesidad de agua es el comprendido entre el cuajado y el envero, con 0,90; para la época cercana a cosecha, las necesidades hídricas son de 20 mm (Kc de 0,80), y las lluvias resultan perjudiciales para la calidad del fruto. Las zonas en donde se desarrolla la mejor viticultura es aquella en donde se presentan condiciones de bajas precipitaciones, comprendidas entre 750 y 1.000 mm/año, con baja humedad relativa y disponibilidad de agua para riego, si es necesario; Estas zonas presentan poca nubosidad y abundante insolación a lo largo del año, lo que favorece una adecuada maduración de los frutos (Brancho, 1993). Para el desarrollo de la viticultura de calidad, bajo las características de las regiones tropicales, las zonas ideales son aquellas en donde se presenten dos periodos de lluvia separados por uno seco; en esta circunstancia la planta puede mantenerse en crecimiento continuo, dando como resultado la posibilidad de mantener lotes en diferentes estadios de desarrollo (Quijano Rico, 2002), permitiendo programación de cosechas.

#### 4.1.2 Suelo

Tradicionalmente se menciona que la planta de vid es muy poco exigente en cuanto a necesidades de nutrientes minerales (Martínez de Toda, 1991), por lo que fácilmente se adapta a suelos de escasa fertilidad. La vid presenta raíces que tienen la propiedad de absorber los elementos necesarios y portarse como órgano de reserva. Las plantas del género *Vitis*, debido a su origen, se adaptan muy bien a suelos livianos, de textura media, profundos, permeables, bien drenados, con suficiente materia orgánica y buena capacidad de retención de agua (Galindo *et al.*, 1996). La disponibilidad de los nutrientes para la planta está condicionada por el pH, que debe estar entre 5,5 y 6,5. En suelos ácidos se pueden presentar deficiencias de fósforo, calcio, magnesio, boro y molibdeno, y toxicidades de aluminio, hierro y magnesio; en suelos alcalinos pueden ser igualmente deficientes fósforos y los elementos menores; en suelos mal drenados se puede presentar toxicidad de hierro, magnesio y azufre (Almanza, 2011).

En las investigaciones realizadas por Martínez de Toda (1991) se concluyó que las necesidades nutricionales de la vid dependen del estadio fenológico; en el estadio juvenil es muy importante

el nitrógeno, y cuando el viñedo inicia la producción, las necesidades de nutrientes orgánicos e inorgánicos son mayores; el efecto de la fertilización se ve reflejado en el crecimiento subsiguiente al de la cosecha actual, porque depende de las reservas acumuladas en las raíces, tronco y sarmientos.

## 4.2 FENOLOGÍA

La *V. vinifera*, por ser una especie originaria de zonas de clima templado, requiere de “variaciones estacionales bien marcadas” (Santibañez *et al.*, 1989) para que pueda cumplir eficientemente con su desarrollo fenológico. Se define fenología como el estudio de las distintas fases de crecimiento de las plantas durante una temporada; básicamente, se refiere al estudio de fenómenos vinculados a ciertos ritmos periódicos de desarrollo, como, por ejemplo, la brotación, la floración o la maduración del fruto, y su relación con factores medioambientales tales como: luz, calor y humedad (Mullins *et al.*, 1992). Para el caso de la vid, el conocimiento adecuado de la fenología, y la relación con los factores climáticos de una determinada zona tienen aplicaciones prácticas en la planificación de las labores por efectuar en los viñedos, obteniendo de esta forma una optimización de los recursos y un aumento de la productividad (Almanza, 2011).

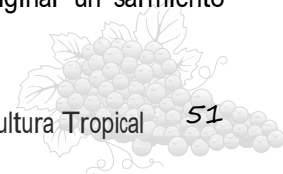
Una planta de uva, con manejo adecuado, puede producir durante 30 a 50 años (Reynier, 1995); normalmente, las plantas inician la producción en el tercero o cuarto año después de sembradas; bajo condiciones de clima tropical, la producción inicia entre los 18 y los 20 meses después de injertada (Almanza, 2011), y en climas templados el desarrollo está determinado por ciclos anuales, mientras que en climas tropicales es por ciclos de cultivo (6 a 7 meses); estos ciclos son dependientes de las condiciones agroclimáticas y del manejo del cultivo, pues son factores que tienen una influencia marcada en los siguientes ciclos vegetativos (Reynier, 1995). De acuerdo con diversas investigaciones (Martínez, 1991; Hidalgo, 1993; Reynier, 1995), se ha determinado que el crecimiento y desarrollo de la vid se divide en dos ciclos: vegetativo y reproductivo.

### 4.2.1 Ciclo vegetativo

Se expresa en el crecimiento y desarrollo de raíces, pámpanos, hojas, zarcillos, nietos y chupones (órganos vegetativos); dentro de este ciclo se incluye el almacenamiento de sustancias de reserva, conocido como agostamiento, y el inicio al reposo o dormición de yemas (Reynier, 1995). Los siguientes son los principales estadios del ciclo vegetativo (Rivera y Devoto, 2003):

- Brotación

La vid posee yemas laterales ubicadas en sarmientos del crecimiento anterior y en grupos de escamas protectoras; la yema central primaria puede ser mixta y originar un sarmiento



portador de inflorescencia; la yema secundaria compuesta, en algunas variedades, puede originar racimos florales; a este tipo de yemas se les conoce como mixtas; se caracterizan porque el número de inflorescencias es menor (Gil, 2000).

Las temperaturas demasiado bajas antes de la brotación pueden dañar la yema primaria, con pérdida consecuente de la producción, pero sin afectar el crecimiento del pámpano (Almanza, 2011). Variedades que tienen yemas secundarias fértiles, como Cabernet Sauvignon y Tokay, por ser más tolerantes al estrés por baja temperatura, solo reducen un poco su producción, en comparación con otras como Chardonnay, Sauvignon y Riesling (Gil, 2000). Rivera y Devoto (2003) mencionan que el efecto estimulante que ejercen las bajas temperaturas sobre los tejidos meristemáticos de las yemas dormantes se produce cuando el requerimiento de frío se ha cumplido, y las primeras temperaturas máximas sobrepasan los 20 °C. Los requerimientos de horas frío cambian según la variedad, pero se estima que la mayoría de variedades necesitan entre 250 y 600 horas con temperaturas inferiores a los 7 °C, para que se presente brotación y los brotes crezcan homogéneamente, evitando el desarrollo de racimos con distintos estados de maduración y, por tanto, de baja calidad. Una vez que las yemas se han hinchado se pueden dañar cuando las temperaturas son cercanas a -2 °C; en el estado de puntas verdes se presentan daños con temperaturas entre -1 °C y 2 °C (Santibáñez *et al.*, 1989). Según Fregoni, citado por Rivera y Devoto (2003), el límite inferior aceptable para que no se presenten daños es 5 °C.

- Crecimiento de brotes, hojas y área foliar

El crecimiento vegetativo de la vid, típicamente, se describe mediante una curva tipo sigmoideal, ya sea en el tiempo cronológico o en el tiempo fisiológico (Almanza, 2011). El control del crecimiento se debe a un cambio en el equilibrio entre sustancias hormonales endógenas, bien sea estimuladoras o inhibitoras, en respuesta al ambiente y al propio estado de desarrollo de la planta (Rivera y Devoto, 2003). El equilibrio entre el ácido indol acético (AIA) y las citoquininas sobre el ácido absicico (ABA) y algún componente fenólico puede ser el agente regular de la actividad en la división celular en el ápice, especialmente al inicio del crecimiento de los brotes y de las hojas.

- Senectud y caída de hojas

El envejecimiento de las hojas, en condiciones normales, se desarrolla desde la base del brote hacia el ápice; se desarrolla sensibilidad de las células del peciolo al etileno, que se transforman en una capa de abscisión; debajo de esta zona ocurre un mayor crecimiento celular, con síntesis y secreción de enzimas que degradan la pared de las células (Rivera y Devoto, 2003). Esta manifestación es correlativa, es decir, responde a la relación con otros órganos, tejidos y el ambiente (Gil, 1997). El primer signo es la degradación de clorofila, y luego hay pérdida de sustancias proteicas, cuyos aminoácidos son enviados hacia el brote. También hay pérdida del ARN ribosómico, y finalmente muerte celular, después de un abrupto



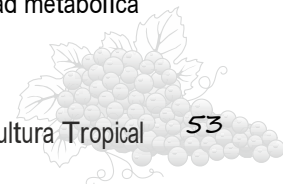
incremento de la tasa de respiración. Varias sustancias, especialmente de tipo hormonal, están involucradas en la senectud celular. Hormonas como el ácido abscísico y el etileno inhiben la síntesis de proteínas. Los radicales libres, superóxido e hidroxilo, oxidan y degradan los lípidos de las membranas celulares (Gil, 1997).

- Reposo

La entrada en reposo de las yemas axilares, bajo condiciones de climas templados, se produce cuando empieza a descender la temperatura en el otoño (8 °C); este fenómeno es conocido como agostamiento; en este periodo se produce una inducción de los tejidos al reposo metabólico, quedando bloqueada toda actividad inductora de crecimiento celular (Rivera y Devoto, 2003); los niveles de humedad en las yemas bajan desde un 80 a un 50%, pero durante el periodo de posdormancia los niveles vuelven rápidamente a ascender al 80% (Lavee, 1997). La vid es una de las especies caducifolias que no tiene una exigencia dominante de reposo invernal; sin embargo, las mayores producciones y las mejores cosechas en producción y calidad se presentan cuando sus meristemas han sido expuestos a un periodo invernal intenso (Rivera y Devoto, 2003); parece ser que las temperaturas altas podrían inducir el inicio de la dormancia, como ocurre en el trópico, o reemplazar el frío al activar algún mecanismo alternativo (Lavee, 1997). La planta manifiesta el reinicio de la actividad metabólica mediante el “lloro”, que es una emisión de líquido en los cortes de la poda, visible como un simple goteo durante algunos días (figura 17). Los lloros corresponden a la entrada en actividad del sistema radicular, fomentado por el aumento, en climas templados, de la temperatura en el suelo; el mecanismo se debe a la activación de la respiración celular, con la consecuente absorción de agua y sustancias minerales y la transformación y movilización de sustancias de reserva (Reynier, 1995).



Figura 17. Lloro de la vid como manifestación de inicio de actividad metabólica



- Desborre

El desborre es la primer expresión del crecimiento vegetativo después del lloro; se observa porque las yemas comienzan a hincharse, las escamas que las envuelven se separan y aparece la yema recubierta por un tejido algodonoso, que se conoce como borra (Martínez, 1991). Todas las yemas de una cepa no desborran al mismo tiempo; se establece la fecha de desborre cuando el 50% de las yemas están en el estado B de Baggiolini o 0.5 de la BBCH. Por ser una planta de crecimiento acropétalo, las yemas de la parte superior de cada sarmiento desborran primero; la consecuencia de esta característica es que las yemas inferiores se retrasan en su brotación debido a una inhibición gradual, posiblemente por actividad hormonal (Reynier, 1995). Bajo condiciones de climas tropicales, esta brotación no uniforme lleva a que el potencial de cosecha se disminuya en calidad, surgiendo la necesidad de practicar agobios de los sarmientos y la utilización de sustancias inductoras de la brotación (Almanza, 2011).

#### 4.2.2 Ciclo reproductivo

El ciclo reproductivo de la vid ocurre en forma paralela con el ciclo vegetativo, y hace referencia a la formación y desarrollo de las inflorescencias, flores, bayas y semillas, y a su maduración (Salazar y Melgarejo, 2005); por ser ciclos simultáneos, los órganos vegetativos y reproductores están en continua competencia por la utilización de sustancias nutritivas, formadas en las fuentes; es así como la relación fuente-vertedero influye decisivamente en la producción y calidad de la cosecha en curso y en la del ciclo siguiente (Almanza, 2011).

- Floración

La fertilidad de las yemas es resultado de la actividad de factores externos e internos ligados a la planta. La iniciación floral es el efecto de dos fenómenos distintos (Salazar y Melgarejo, 2005): la inducción floral, que es la respuesta fisiológica que determina la diferenciación de un meristemo hacia la constitución de una inflorescencia, y la iniciación floral, propiamente dicha, que es la manifestación morfológica de la diferenciación de la inflorescencia y de las flores. Coombe (1995) menciona que el inicio de la floración se relaciona con el momento en que se inicia la apertura de la caliptra y comienza a caer; este ciclo coincide cuando hay unas 16 hojas separadas en el pámpano. La floración tiene su origen y desarrollo inicial dentro de la yema fructífera a partir del primordio no diferenciado en la temporada anterior a la cosecha; sin embargo, la diferenciación floral ocurre solo 3 a 4 semanas luego de la brotación (Buttrose, 1974). El número de primordios florales desarrollados en cada yema depende de diferentes factores, como la variedad, la juvenilidad, el vigor, la nutrición, el nivel de carbohidratos, los reguladores de crecimiento, el estrés hídrico y los factores climáticos. Uno de los reguladores de crecimiento durante esta fase son las citoquininas, que se ven favorecidas por la alta temperatura (Gil, 2000); este tipo de fitorreguladores son inductores de la floración, y su dosis, con sustancias antagónicas, como las giberelinas, determina la iniciación floral.

- Cuajado y formación del fruto

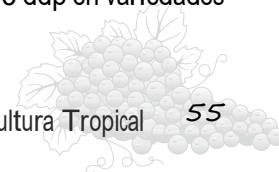
Este estado se caracteriza cuando las bayas sobrepasan los 2 mm de diámetro, y el racimo forma un ángulo de 90° con el brote (Coombe, 1995). En condiciones normales, el porcentaje total de cuajado en la mayoría de los cultivares de *Vitis vinifera* varía de un 5 a un 40% (Ebadí, 1995). En variedades con semillas, el cuajado ocurre después de la polinización, de la fecundación y del inicio del desarrollo de las semillas. El tamaño del pericarpio, generalmente, aumenta cuando existen más semillas; en la uva se forman entre 1 y 4 (Almanza, 2011). La concentración de ácido málico generalmente aumenta con el número de semillas, mientras que los azúcares, el ácido tartárico, el ácido cítrico y el nitrógeno disminuyen (Ribereau-Gayon y Peynaud, 1960). Hardie y Anggenbach (1996) determinaron que el desarrollo de la semilla depende de las diferencias entre las temporadas de crecimiento, del lugar de crecimiento, del origen de las variedades, del riego durante y después de floración y del manejo agronómico como: sistemas de conducción, poda y la manipulación del follaje (deshoje).

Ebadí (1995) menciona que la fecundación ocurre 24 horas luego de la floración en condiciones de campo. Las condiciones climáticas influyen significativamente en el cuajado de frutos. Debido a la inhibición del crecimiento del tubo polínico y al desarrollo del óvulo, el porcentaje de frutos fecundados disminuye significativamente con temperaturas inferiores a 18,3 °C y superiores a 37,8 °C. Las bajas temperaturas, el exceso de lluvias y la alta humedad impiden el desprendimiento de la caliptra. Además, las lluvias diluyen los fluidos estigmáticos perjudicando la adhesión del polen. La luz es otro factor que influye en el porcentaje del cuajado. Ebadí *et al.* (1996) demostraron que el sombreado disminuye el porcentaje de frutos cuajados.

La caída de flores y de frutos pequeños se inicia normalmente con la floración y finaliza dos semanas después. La zona de abscisión es la base de cada pedicelo floral. Un factor hormonal importante en la caída de frutos es el etileno que actúa en la zona de abscisión, estimulando la síntesis de hidrolasas. Parece que el ACC (1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid), que es un precursor metabólico del etileno, también provoca la abscisión de frutos (Bessis *et al.*, 2000).

- Crecimiento y madurez del fruto

El crecimiento y desarrollo del fruto se inicia con la polinización y la fecundación del óvulo, y continúa hasta el estado de madurez (Salazar y Melgarejo, 2005). La polinización, en variedades de mesa, en el Valle del Cauca, se inicia a los 25 días después de poda (ddp), y en las variedades para elaboración de vino, en la zona de Boyacá, a los 50 ddp, y continúa hasta la madurez (120 ddp variedades de mesa, 200 ddp para vino); Salazar y Melgarejo (2005) y Almanza (2008) mencionan que en algunos casos puede ir hasta la sobremaduración en la planta, especialmente en variedades destinadas para vinos y pasa. En las bayas de uva existe un estadio intermedio llamado envero que tiene una duración de 80 ddp en variedades



de mesa y de 150 para vino. El crecimiento y desarrollo se traduce en un aumento en parámetros físicos (volumen, tamaño, color, dureza) y en una evolución de compuestos químicos (azúcares, pH, acidez, compuestos fenólicos). La transformación armónica de los diferentes componentes químicos de la baya, junto con el desarrollo óptimo de los aspectos físicos, durante el crecimiento de los frutos de la vid, para llegar en óptimas condiciones al momento de cosecha, es clave para la poscosecha en variedades de mesa, y para la elaboración de vinos de calidad (Almanza, 2008; Almanza y Balaguera-López, 2009; Almanza, 2011). El peso final del fruto está establecido por el número de células durante la división celular antes de la antesis y en la fase juvenil, y por el volumen o elongación celular y la densidad durante la fase de maduración; adicionalmente, pero en menor proporción, contribuye la división celular después de la antesis y el aumento de la concentración de solutos (Rivera y Devoto, 2003).

De acuerdo con Almanza y Balaguera-López (2009) y Almanza (2011), el crecimiento de los frutos de la vid se efectúa mediante una curva doble sigmoideal y se puede representar mediante el comportamiento de la biomasa seca (figura 18). En esta curva se observan las diferentes etapas de crecimiento del fruto, las cuales se describen a continuación:

I. Etapa verde o herbácea: se inicia con el estadio 73 de la escala BBCH, correspondiente al tamaño perdigón, y termina cuando se inicia el cambio de color (de verde a rojo, en variedades tintas, o a amarillo, en variedades blancas), estadio conocido como envero (Almanza, 2011). El aumento de tamaño es rápido, especialmente el de la semilla; la acidez es elevada y las bayas son duras. La uva verde, sin madurar, contiene una gran carga de ácidos tartáricos, málicos y, en menor medida, cítricos; el contenido de estas sustancias dependerá en gran medida del tipo de variedad y de las condiciones edafoclimáticas, ya que luz, temperatura y humedad son decisivas en la conformación de los ácidos orgánicos, importantes en la calidad organoléptica en uvas de mesa y en la estabilidad microbiológica en uvas para elaboración de vino. En esta etapa la uva se comporta como un órgano capaz de realizar fotosíntesis (Salazar y Melgarejo, 2005). En la investigación de Almanza y Balaguera-López (2009), en la variedad Pinot Noir, esta etapa finalizó a los 63 días después de antesis (dda), es decir, comprendió desde cuajado de fruto hasta envero. Al final de la etapa herbácea, los frutos obtuvieron un peso fresco de 0,78 g, pH de 2,18, acidez total titulable (ATT) de 4,12 y sólidos solubles totales (SST) de 6,63 °Brix.

El momento en que la uva cambia de color recibe el nombre de envero; durante el proceso de maduración de la uva, los ácidos orgánicos descienden y los azúcares procedentes de la actividad fotosintética ejercida por las hojas empiezan a aumentar. El tronco y los sarmientos de la cepa también contribuyen al aumento de los sólidos solubles de la uva, ya que actúan como acumuladores de azúcares (Martínez de Toda, 1991); debido a esta razón, las plantas viejas son capaces de proporcionar frutos más regulares, que inducen en los vinos mejores calidades. El envero ocurre al finalizar la fase de crecimiento herbácea de la baya. Al observar el comportamiento de la variedad Pinot Noir, bajo condiciones de clima frío tropical, el

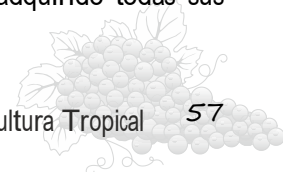
envero tuvo una duración de 14 días y se caracterizó por un cambio gradual de color de verde a rojo, debido a la degradación de clorofilas y síntesis de antocianos y carotenoides (Almanza y Balaguera-López, 2009).

II. Etapa de maduración: se inicia desde el envero y va hasta la madurez organoléptica. En esta etapa se realiza la disminución de los ácidos orgánicos, debido a su desdoblamiento, y el consecuente aumento de azúcares; el fruto adquiere el color característico, sigue engrosando y se comporta como un órgano de transformación (Salazar y Melgarejo, 2005). Según Glories (1975), las altas temperaturas tienen un efecto negativo en esta etapa, porque por acción del aumento de la respiración se consumen azúcares y ácidos orgánicos, mientras que la iluminación directa sobre los frutos favorece una mayor síntesis de polifenoles. Almanza y Balaguera-López (2009) reportan que la maduración, en altitudes de 2.650 msnm, para la variedad Pinot Noir, se inició a los 77 dda y terminó a los 119 dda, con duración de 42 días; caracterizándose por un incremento de pH (2,35 a 3,22) y de SST, que llegaron a 23,07 °Brix, mientras que la ATT decreció de 3,34 a 1,11.

III. Etapa de madurez: se caracteriza porque el fruto ha terminado su crecimiento y ha adquirido todas sus características fisicoquímicas y organolépticas, para ser consumido (Almanza, 2011). Martínez de Toda (1991) menciona que, en climas templados, en el momento en el que el fruto alcanza la maduración se detiene el enriquecimiento fisiológico de azúcares desde las fuentes; en climas tropicales ocurre lo contrario, porque la planta no detiene su crecimiento y la fotosíntesis continúa hasta la caída de la hoja con una disminución progresiva hasta su senectud. Un problema que se presenta bajo condiciones tropicales es la falta de uniformidad en la coloración de la epidermis del fruto, por lo que, bajo estas condiciones, algunos viticultores emplean, al final de la maduración, etileno para homogenizar el color.

Según Salazar y Melgarejo (2005), la madurez ideal debe precisarse para cada zona vitícola, inclusive para cada viñedo, en función de los objetivos técnico-comerciales y del mercado, y con ella determinar la fecha de vendimia; en este sentido, estos autores definen los siguientes tipos de maduración:

- Maduración fisiológica: cuando las semillas están aptas para germinar adecuadamente, el color pueden usarse como referente e indicador del envero (semillas amarillas marón).
- Maduración vitícola: se caracteriza porque la cepa deja de crecer y cesa la competencia de los brotes por fotoasimilados, dirigiéndose preferiblemente hacia los vertederos (frutos y ramas, tronco y raíces) como sustancia de reserva.
- Maduración fenológica: se presenta cuando ha terminado el ciclo fenológico de las cepas; la duración de esta fase depende del cultivar y de las condiciones climáticas. Para la determinación de este tipo de maduración se tiene en cuenta el ciclo fenológico completo de la planta, y el indicador físico es el inicio de la senescencia de las hojas (agostamiento).
- Maduración enológica: es el momento en el cual los frutos han adquirido todas sus



- características organolépticas y químicas, que favorecen la elaboración del vino deseado.
- **Maduración fenólica:** esta maduración es empleada exclusivamente en variedades tintas, y permite determinar el momento de vendimia basándose en los contenidos de polifenoles (antocianos y taninos) en el fruto maduro; está relacionada con la forma de extracción de color, sabor y aroma de los vinos, y con su aptitud para envejecimiento.

IV. Etapa de sobremaduración: durante esta etapa el fruto pierde agua por deshidratación, los azúcares se concentran y se presenta pasificación de la baya; en este estado el fruto es muy sensible al ataque de patógenos (Navarrete, 2003). En esta etapa, el desarrollo del fruto está condicionado por el clima, la nutrición, el riego, las prácticas de cultivo y la fertilidad de las cepas (Salazar y Melgarejo, 2005). En la investigación realizada por Almanza y Balaguera-López (2009) se encontró que a los 21 días, el fruto de Pinot Noir, en Puntalarga (Nobsa-Boyacá), durante la sobremaduración, decreció en masa fresca (por transpiración y respiración), pasando de 1,58 a 1,15 g, y la ATT pasó de 1,11 a 1,0, mientras que el pH ascendió de 3,22 a 3,57 y los SST pasaron de 23,07 a 27,77.

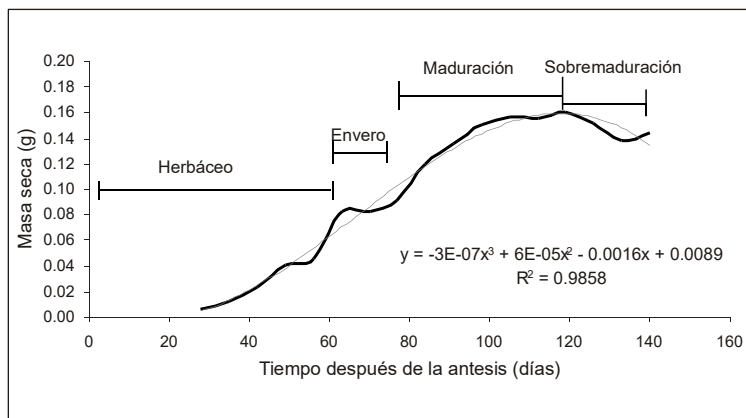


Figura 18. Comportamiento fenológico de las biomasa seca durante el crecimiento en frutos de uva Pinot Noir, en Puntalarga, Boyacá. Fuente: Almanza y Balaguera-López (2009).

El estudio de la fenología es muy importante, pues ayuda a comprender el comportamiento de las diferentes variedades y facilita la posterior aplicación de este conocimiento en cada uno de los factores de producción del cultivo. En viticultura se han propuesto dos escalas fenológicas: la primera fue propuesta por Baggiolini, que utiliza una escala, clasificada por letras, que va desde el estado A (yema de invierno) hasta el estado J (cuajado de fruto) (Martínez, 1991, p. 113); la segunda, y utilizada actualmente, es la escala descriptiva de la BBCH (Biologische Bundesanstalt Bundessortenamt Chemise), de los estados fenológicos de desarrollo de la vid (*Vitis vinifera* L. ssp. *Vinifera*), propuesta por Lorenz *et al.* (1994) (tabla 4).

Tabla 4. Codificación BBCH de los estadios fenológicos de desarrollo de la vid

| CÓDIGO   | DESCRIPCIÓN   |
|--|---|
| <b>Estadio principal 0. Brotación</b>                      |   |
| 00.  | Letargo. Las yemas de invierno, de puntiagudas a redondeadas, marrón brillante u oscuro según la variedad; escamas de las yemas cerradas, de acuerdo con la variedad. |
| 01.  |   |
| 03.  | Comienzo del hinchado de las yemas. Los botones empiezan a hincharse dentro de las escamas.   |
| 05.  | Fin del hinchado de las yemas. Yemas hinchadas, pero no verdes.   |
| 07.  | «Estadio lanoso». Lana marrón, claramente visible.  |
| 09.  | Comienzo de la apertura de las yemas. Ápices foliares verdes, apenas visibles.<br>Apertura de las yemas. Ápices foliares claramente visibles.                         |
| <b>Estadio principal 1. Desarrollo de hojas</b>            |   |
| 11.  | Primera hoja, desplegada y fuera del brote.   |
| 12.  | Dos hojas desplegadas.  |
| 13.  | Tres hojas desplegadas. Los estadios continúan hasta... 18.   |
| 19.  | Nueve hojas desplegadas.  |
| <b>Estadio principal 5. Aparición del órgano floral</b>    |   |
| 53.  | Inflorescencias claramente visibles.  |
| 55.  | Inflorescencias hinchándose. Las flores apretadas entre sí.   |
| 57.  | Inflorescencias desarrolladas completamente; flores separándose.  |
| <b>Estadio principal 6. Floración</b>                      |   |
| 60.  | Primeros capuchones florales separados del receptáculo.   |
| 61.  | Comienzo de floración. Alrededor de 10% de capuchones caídos.   |
| 62.  | Alrededor de 20% de capuchones caídos.  |
| 63.  | Floración temprana. Alrededor de 30% de capuchones caídos.  |
| 65.  | Alrededor de 50% de capuchones caídos.  |
| 68.  | Alrededor de 80% de capuchones caídos.  |
| 69.  | Fin de la floración.  |
| <b>Estadio principal 7. Formación del fruto</b>            |   |
| 71.  | Cuajado de frutos. Los frutos jóvenes comienzan a hincharse.  |
| 73.  | Bayas tamaño perdigón, los racimos comienzan a pender.  |
| 75.  | Bayas tamaño guisante (arveja). Racimos colgantes.  |
| 77.  | Las bayas comienzan a tocarse.  |
| 79.  | Todas las bayas del racimo se tocan.  |
| <b>Estadio principal 8. Maduración de frutos</b>           |   |
| 81.  | Comienzo de la maduración. Las bayas comienzan a madurar.   |
| 83.  | Bayas permanecen brillantes.  |
| 85.  | Bayas blandas. Comienza el ablandamiento de las bayas.  |
| 89.  | Fin de maduración. Bayas listas para recolectarse.  |
| <b>Estadio principal 9. Comienzo del reposo vegetativo</b> |   |
| 91.  | Después de la vendimia; fin de la maduración de la madera.  |
| 92.  | Comienzo de la decoloración foliar.   |
| 93.  | Comienzo de la caída de las hojas.  |
| 95.  | Alrededor de 50 % de las hojas caídas.  |
| 97.  | Fin de la caída de las hojas.   |

Fuente: Lorenz *et al.* (1994).

En las figuras 19 a 29 se presentan los estadios fenológicos tradicionales de Baggiolini, y su equivalencia con la notación decimal de la escala propuesta por la BBCH. Las notaciones utilizadas para la interpretación de las figuras son las siguientes:

EF: Estadio fenológico

00, 05, 07, 11, etc.: notación decimal de la escala BBCH

A, B, C, D, etc.: notación fenológica tradicional de Baggiolini



Figura 19. EF 00/A. Yema aguda con escamas (yema de invierno)



Figura 20. EF 03/B. Yema hinchada con aspecto algodonoso (borra)



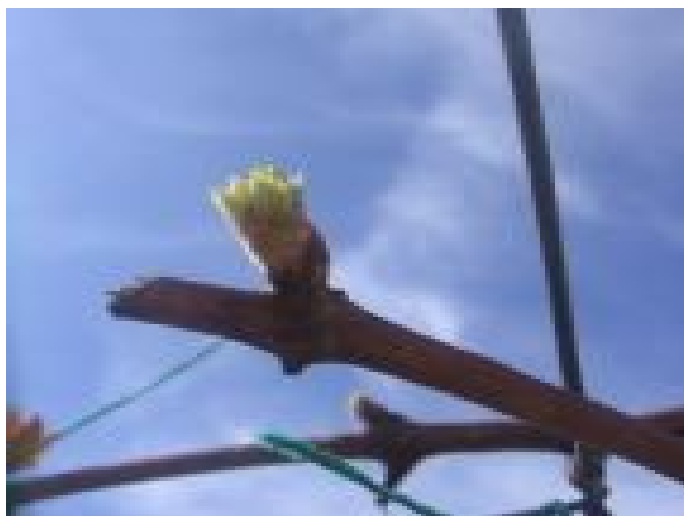


Figura 21. EF 07/C. Yema visible (punta verde)



Figura 22. EF. 12/D. Desarrollo de hojas (2 hojas desplegadas)



Figura 23. EF. 61/F. Racimos visibles, separados



Figura 24. EF. 65/H. Botones florales



Figura 25. EF.69/I. Floración



Figura 26. EF 73/ J. Cuajado de fruto



Figura 27. EF 81. Comienzo de la maduración (envero)



Figura 29. EF 92. Agostamiento e inicio de caída de hojas



Figura 28. EF 89. Frutos maduros y listos para cosecha