

LIGA AGRÍCOLA INDUSTRIAL DE LA CAÑA DE AZÚCAR

- LAICA -

Floración en la caña de azúcar



Marco A. Chaves Solera

San José, Costa Rica

ABRIL 2017

Índice

	Página
❖ Índice	1
❖ Introducción	3
❖ La inflorescencia	4
❖ Floración ¿Por qué es importante?	7
❖ Etapas y mecanismos de la floración	8
❖ ¿Cuándo y dónde ocurre la floración?	9
❖ Floración y madurez fisiológica de la caña	13
❖ Diferenciación floral	15
❖ Fotoperiodo: <i>significado, importancia e implicaciones</i>	18
❖ Factores interventores	22
– Edad de la planta	23
– Latitud y Longitud	23
– Fotoperiodo	26
– Altitud	27
– Radiación solar	28
– Temperatura	30
– Lluvia	32
– Humedad	32
– Nutrición	33
– Características genéticas	33
– Hormonas	35
❖ Afectación de la calidad agroindustrial	36
❖ Floración de la caña de azúcar en Costa Rica	41
❖ ¿Qué hacer? ¿Cómo controlarla?	47
– Luz y fotoperiodo	47

– Genético	48
– Riego	49
– Químico	50
– Fertilización	54
– Eliminación de hojas y cogollo	55
– Siembra escalonada	55
❖ Inducción de la floración	56
– Inducción natural	56
– Inducción artificial	58
❖ Recomendaciones	59
❖ Conclusión	61
❖ Literatura citada	63
❖ Anexo	68

Introducción ¹

En la caña de azúcar al igual que acontece con cualquier planta y ser vivo, existen manifestaciones biológicas naturales que dependiendo del interés inmediato, se tornan aceptables y deseadas, o por el contrario, resultan adversas y nada ambicionadas. La floración es una de esas propiedades que vista desde la perspectiva del genetista o del productor resulta anhelada, o en su caso discordante y divergente, virtud de que los objetivos pretendidos por ambos intereses son disimiles y hasta contrarios. Emitir flor es una propiedad natural de la planta de caña que asegura la perpetuidad de la especie, que resulta muy sensible a la presencia e incidencia de ciertos factores de carácter biótico y abiótico que pueden o no, promover e inducir su aparición, motivo por el cual su expresión es de intensidad variable (Figura 1).



Figura 1. Plantación de caña de azúcar floreada, clon CP 87-1248, La Ceniza, Pérez Zeledón.

¹ Ingeniero Agrónomo, MSc. Gerente. *Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA-LAICA)*, Costa Rica. E-mail: mchavez@laica.co.cr. Teléfono (506) 2284-6066 / (506) 2284- 6067 / Fax (506) 2223-0839. **Abril del 2017.**

De acuerdo con Caraballosa *et al* (2011), *“La floración es una cadena de procesos fisiológicos complejos en la cual intervienen diversos factores internos (genotipo, período juvenil, etc.) y externos (fotoperiodo, temperatura, etc.), pero puede considerarse como una respuesta de la planta a un determinado fotoperiodo.”* Chaves (1982) expresa por su parte, que *“La floración es una respuesta de la caña principalmente al fotoperiodo, donde, por inducción, la yema terminal se convierte en botón floral.”*; amplía al respecto ese autor anotando que *“La floración ha sido considerada por muchos investigadores como una pérdida de energía en la planta, energía que podría ser aprovechada mejor en otras actividades principalmente de síntesis de sacarosa.”*

Los efectos y consecuencias de la floración en el ámbito comercial se consideran negativos en razón de que la productividad agrícola se ve afectada y limitada, al dejar la planta de crecer y perder con ello tonelaje potencial; también ocurre una afectación en la calidad de la materia prima al aumentar el contenido de fibra en los entrenudos superiores, darse la formación de médula (corcho) y disminuir la concentración de sacarosa en los tallos y consecuentemente, en el azúcar recuperado en la fábrica. Hay adicionalmente en todo esto, una pérdida importante de energía metabólica por uso y consumo improductivo. Por esta razón, en mejora genética traducida en liberación de clones promisorios para uso comercial de caña, se procura evitar y descartar aquellas variedades que presentan abundante floración; o en caso de no poder, se busca minimizar y mitigar los impactos por varias vías.

Observar floración en una plantación de caña de azúcar es algo tan común y normal en nuestro país, pero tan importante por sus consecuencias, que el tema merece y justifica ser abordado aunque sea de manera general, lo cual pretende y motiva el presente documento.

La inflorescencia

Superadas varias etapas fenológicas propias del desarrollo vegetal de la planta entre las que están la germinación, el retoñamiento, el ahijamiento y el crecimiento vegetativo, la planta de caña puede bajo ciertas condiciones favorables del entorno y, superado algún tiempo, alcanzar el estado reproductivo, el cual se manifiesta y expresa con la manifestación y emergencia de la flor (Figura 2).



Figura 2. Inflorescencia de la caña de azúcar

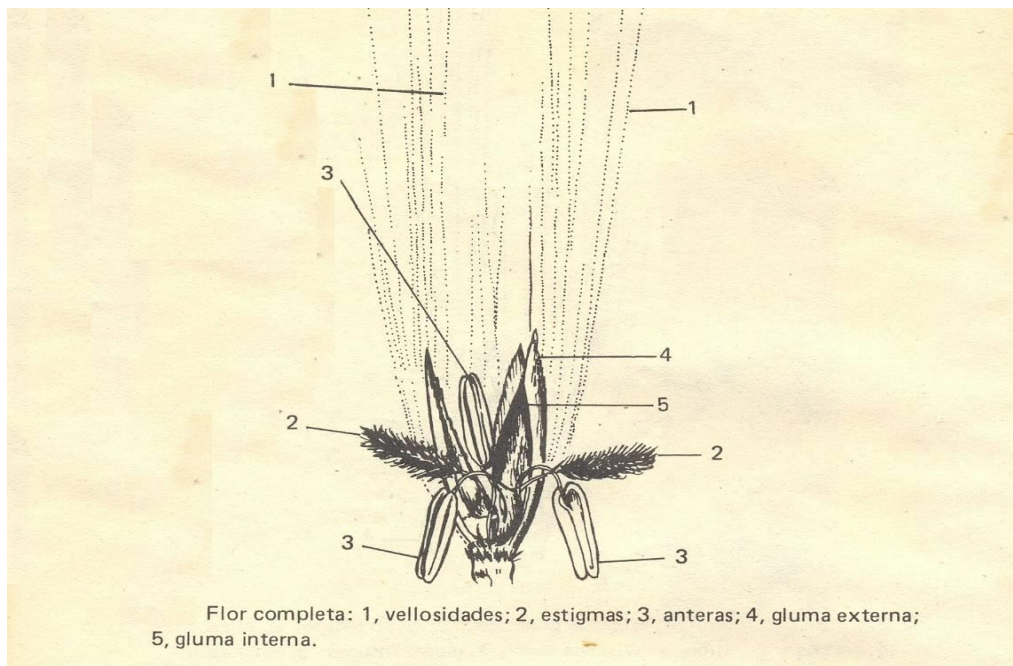
La biología floral de la caña de azúcar es muy particular, pues la inflorescencia es una panícula (*panoja, espiga, flecha o güin*) terminal abierta, ramificada con muchas espiguillas; se dice por eso que la inflorescencia de la caña es por estructura una “*flor de flores*”. Las flores se reúnen en una panícula de forma casi piramidal que es ancha en la base y se reduce en la sección superior para terminar en un solo eje. Se estructura en un eje principal (raquis) que se divide y ramifica en ejes secundarios y terciarios donde hay espiguillas dispuestas en pares, una sésil o asentada y otra pedunculada, unidas por un pedicelo con una sola flor. Su tamaño, forma y color es variable según la especie y variedad de caña; pudiendo alcanzar hasta un metro de longitud (Figuras 2 y 3).



Figura 3. Panícula de caña con órganos reproductores.

La caña es una planta alógama que tolera la autofecundación, su flor es bisexual (hermafrodita), ocasionalmente presenta autoesterilidad. La estructura masculina (androceo) posee un verticilo con tres estambres con filamentos largos donde están las anteras versátiles, biloculares (dos lodículas), dehiscentes con dos hendeduras longitudinales conteniendo el polen. La estructura femenina (gineceo) posee un solo ovario liso (mal nombrado óvulo) conectado a dos estilos plumosos color rojo (Figura 4). El perianto se reduce a una gluma externa y otra interna, seguida de una lemma estéril o tercera gluma.

Los frutos o cariósides miden cerca de 1,5 mm de largo y 0,5 mm en su diámetro transversal, generalmente estériles. La semilla es fértil (excepto en el género *Saccharum edule* cuya inflorescencia es estéril), muy pequeña y la polinización es anemófila (Van Dillewijn 1952). El pequeño grano de polen tiene un periodo de vida muy corto, estimado en promedio en apenas 12 minutos luego de su dispersión por el viento; estimándose que después de 35 minutos ningún grano mantiene su viabilidad (Scarpari y Beauclair 2008). El grado de ramificación y longitud de la inflorescencia depende de la variedad de las formas de *Saccharum officinarum* que son más grandes y ramificados que los de *S. spontaneum*.



Flor completa: 1, vellosidades; 2, estigmas; 3, anteras; 4, gluma externa; 5, gluma interna.

Figura 4. Detalle estructural de la inflorescencia de la caña de azúcar

Floración ¿Por qué es importante?

Calificar y juzgar la importancia de una propiedad natural como es la presencia de flor resulta interesante de abordar por predominar intereses diferentes, como demuestran las valoraciones realizadas desde una perspectiva: **a) Genética**: la flor es imprescindible como órgano reproductor, pues la meta final del mejorador de plantas es obtener nuevas variedades con características y propiedades especiales, superiores en relación a los clones comerciales empleados en el momento; **b) Productiva**: procura mantener y desarrollar plantaciones sin flor que puedan afectar y mermar sus índices de productividad agroindustrial; **c) Panorámica**: el efecto paisajístico de un cañaveral floreado resulta innegablemente muy agradable a la vista, por lo que goza de una gran aceptación popular (Figura 5).



Figura 5. Panorámica de cañaverales floreados.

Sin flor no hay ninguna posibilidad de habilitar mediante el trabajo de mejora genética el cruzamiento natural entre plantas de caña, para obtener híbridos superiores potencialmente promisorios; ahí su relevancia y notoriedad. Asegura Polo (2005), que *“En todo programa de mejoramiento de caña de azúcar, la floración, es una limitante, ya que de ella depende la generación de nuevos híbridos”*. Ampliando el tema, el mismo autor expresa que *“Cuando se quieren generar nuevos híbridos, se pueden presentar algunas limitantes tales como: la incidencia (presencia de inflorescencia), intensidad (porcentaje de floración), viabilidad de polen y fechas de floración, las cuales al integrarse, hacen que se*

disminuya la probabilidad de poder aprovechar todo el potencial genético, limitando así el número de cruzamientos posibles.”.

No hay duda en reconocer que la búsqueda de genotipos sobresalientes que se adapten satisfactoriamente a los diversos ambientes productivos, mediante la identificación y aplicación de nuevas y mejores combinaciones híbridas, es la parte esencial de la labor de mejora genética de la caña, la cual continúa siendo la base primordial para la obtención de variedades comerciales (Chaves 2016). De hecho, en casi todos los cultivos agrícolas la obtención de variedades mejoradas por este medio ha demostrado ser la vía práctica correcta para incrementar los rendimientos, cosechar productos de mejor calidad y hacer de la agricultura un negocio provechoso y redituable. La caña de azúcar no es una excepción; ahí la importancia irrefutable de la flor como instrumento para ese fin.

Donde y cuando las condiciones no favorecen la floración natural y esta es limitada, los procesos de cruzamiento e hibridación se ven impedidos, lo cual se ha técnicamente resuelto construyendo Cámaras de Fotoperiodo o Floración que permiten inducirla por medios artificiales, procurando disponer la sincronización floral de las variedades de caña de azúcar por cruzar. Por medio de estas cámaras, es posible controlar la longitud del día, la temperatura y la humedad, logrando porcentajes altos de floración y consecuentemente la posibilidad de realizar un mayor número de cruzamientos con lo cual que incrementa la probabilidad de obtener variedades sobresalientes, como lo han señalado Viveros y Cassalet (1993), Silva *et al* (2013), Gómez (2015) y CINCAE (2017).

La cantidad de variedades que florecen (incidencia) y el número de inflorescencias disponibles (intensidad), determinan en alto grado el éxito que pueda, o no, tener un programa de mejoramiento expresado en la cantidad de cruzamientos y selecciones que se realicen por periodo y, por lo tanto, en la optimización que se le provea al germoplasma disponible (Chaves 2016).

Etapas y mecanismos de la floración

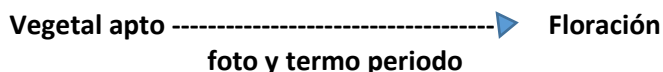
La transición del crecimiento vegetativo al crecimiento reproductivo es incuestionablemente un evento complejo e importante en el desarrollo de las plantas

superiores. Previo a comentar sobre floración es necesario contextualizar lo que ocurre en las plantas que poseen flor y producen semilla (angiospermas), cuyo desarrollo presenta dos fases principales: **a) fase vegetativa y b) fase reproductiva**. En la primera se dan procesos importantes y muy conocidos en la caña como son la germinación de la semilla (yemas), el desarrollo de raíces, el retoñamiento, ahijamiento, encepamiento, crecimiento de tallos y desarrollo del sistema foliar; todo asociado con el aumento de tonelaje.

En la fase reproductiva acontecen procesos vinculados directamente con la formación y emergencia de flores, frutos y semillas; en la caña, esta fase coincide con la maduración de los tallos y la concentración de sacarosa. En la fase reproductiva se ubican además dos estados importantes: **a) floración y b) fructificación**, con marcadas diferencias morfológicas y fisiológicas entre ellos.

Subirós (1995) organiza el proceso reproductivo en cinco fases: 1) inducción del estímulo floral, 2) diferenciación del ápice e inicio del desarrollo de la inflorescencia, 3) crecimiento y desarrollo del raquis y partes de la flor, 4) emergencia de la inflorescencia y 5) apertura de las partes florales. Paliatseas y Chilton citados por Torres y Acosta (s.f.), califican la floración como una secuencia de procesos fisiológicos sobre cuyas etapas los factores ambientales tienen efectos diferentes, reconociendo cuatro etapas en el proceso: a) Iniciación del primordio, b) Organización floral, c) Maduración floral y d) Aparición del güin.

Superada la fase juvenil el vegetal esta pronto a florecer, por lo cual con foto y termo periodos adecuados ocurrirá floración:



¿Cuándo y dónde ocurre la floración?

Algunas especies de plantas pasan de la fase vegetativa a la reproductiva, o de inducción floral, solamente cuando son expuestas a ciclos de luz (fotoperiódicos) de duración determinada, o sea, días o noches con duración mayor o inferior a determinados periodos críticos, propios de cada especie en particular; la caña de azúcar posee el propio.

La floración surge cuando la planta de caña supera la fase juvenil y en edad madura se ve favorecida por un periodo de inducción, que transforma la yema apical de vegetativa a floral o reproductiva. Esa inducción se da en latitudes que van de 0 a 30 grados siendo abundante entre el ecuador y los 21° de latitud. También cuando hay reducción del periodo de luminosidad, pasando de 12 a 12,5 horas de luz por día, como es característico en aquellas plantas clasificadas como de día corto, como indicara Barbieri (1993).

La intensidad de floración está fuertemente influenciada por el lugar geográfico donde se ubique la plantación, siendo el Fotoperiodo concluyente en este fenómeno; el cual está determinado por la latitud, pues se asocia a la duración de los días y las noches.

Se ha determinado que conforme aumenta la distancia respecto a la línea ecuatorial el periodo de floración se torna más definido o limitado por variación en la longitud del día, lo que hace que la intensidad de floración sea diferenciada entre los biotipos de variedades de caña. En el Hemisferio Norte, incluyendo Costa Rica, el estímulo y diferenciación ocurren en los meses de agosto, setiembre y octubre, y el periodo normal de emergencia de la flor en los cañaverales se daría desde octubre hasta finales de diciembre e inicios de enero. En el Hemisferio Sur, el estímulo y la diferenciación meristemática para la formación de la flor ocurre en los meses de febrero, marzo y abril, dándose la floración en los meses de abril, mayo, junio hasta mediados de julio (Casagrande y Vasconcelos 2008). No debe confundirse inducción de floración con emisión y emergencia de la inflorescencia, pues son actividades diferentes de un mismo proceso. En las condiciones de la zona azucarera de Colombia, el estímulo de la floración ocurre al inicio del segundo semestre y se manifiesta en los últimos meses del año.

Se reconoce y acepta que cada variedad de caña tiene respuesta propia y particular a la longitud del día (**Fotoperiodo Crítico**), por lo que su periodo de diferenciación floral se ubica en ese ámbito de tiempo, el cual puede ser en algunos casos amplio, lo que hace que la planta florezca luego de muchos días. En otros casos por el contrario, la diferenciación se da en un tiempo corto, lo cual justifica investigar y conocer los periodos de diferenciación de los tejidos de cada variedad. Resulta igualmente cierto, aceptar que la floración de la

caña ocurre por lo general en la estación del año cuando la tasa y ritmo de crecimiento disminuye, inducido y favorecido por el acortamiento de la longitud del día asociada a la disminución de la temperatura. La fecha de floración se considera depende básicamente de tres factores: a) fecha de inducción, b) número de hojas del cogollo y c) velocidad de desarrollo foliar.

Reporta el CINCAE (2017) del Ecuador, que *“en las condiciones naturales de la zona cultivada con caña de azúcar, sólo el 30% de variedades de caña de azúcar florecen, por lo que es necesario realizar trabajos de inducción a la floración para hacer cruzamientos y con estos empezar el proceso de selección. Desde el 2003 CINCAE dispone de una casa de fotoperiodo donde se aplica a las plantas días largos y cortos manteniendo la temperatura en 23 ± 1 oC, en estas condiciones se ha logrado entre el 60 hasta 98% de variedades florecidas. También se utiliza un sistema de inducción en “campo abierto”, donde se proporciona a las variedades días largos desde 13 horas de luz hasta alcanzar el fotoperiodo natural. Con este procedimiento se obtuvo 92% de variedades florecidas en el 2011”*. Como se infiere, aún zonas ubicadas sobre la línea ecuatorial presentan limitantes en floración.

La floración se expresa con la emergencia de la panícula, que se da en todas las variedades que encuentran la cantidad y calidad necesaria y suficiente de horas luz para que ocurra la diferenciación de tejidos, expresada por la formación del primordio floral (Figura 6).



Figura 6. Plantación comercial homogéneamente floreada, San Carlos.

La floración en la caña se encuentra influenciada tanto por factores ambientales como por el fotoperiodo, la temperatura (máxima-mínima), la humedad del suelo, el brillo solar, la intensidad de la luz, la condición de fertilidad del suelo, la latitud y altitud (msnm) del lugar; teniendo participación asimismo factores intrínsecos de la planta como son la edad fisiológica, el estado nutricional e hídrico (estrés) de la planta, y los biológicos asociados con hormonas como la Auxina que interfieren el crecimiento vegetativo. La sensibilidad y disposición natural (genética) de la variedad para florear es también determinante.

La intensidad de la floración corresponde a la cantidad de panículas que irrumpe en relación al número de tallos existente, expresado en porcentaje. Esta característica varía dependiendo de la cantidad y calidad de luz, las temperaturas y la humedad presente, lo cual provoca que una misma variedad de caña florezca en porcentajes variables en áreas diferentes, aún de una misma zona cañera.

Para evaluar el grado de floración, Alexander (1973b) propuso la siguiente escala de medición basada en la intensidad de floración (porcentaje de floración), definida como sigue:

$$\text{Intensidad \% de floración} = \frac{\text{Número total de inflorescencias} \times 100}{\text{Número total de tallos maduros}}$$

Cuadro 1. Escalas de calificación para flor propuesta por Alexander *et al* (1973b).

Calificación	Incidencia (%)
Nula	0
Leve	1 -20
Media	40 - 60
Intensa	80
Muy Intensa	90 - 100

Por considerarla muy amplia e incompleta se sugiere y recomienda alternativamente (Cuadro 2), aplicar las siguientes categorías que darán más especificidad, mejor cobertura y exactitud a la medición realizada en el campo.

Cuadro 2. Escalas de calificación para flor

Calificación	Incidencia (%)
Nula	0
Leve	1 -19
Baja	20 – 39
Media	40 – 59
Alta	60 – 79
Intensa	80 – 89
Muy Intensa	90 – 100

Fuente: Sugerida por el autor.

Floración y maduración fisiológica de la caña

Visto como sistema simple, la caña de azúcar está constituida fundamentalmente por un componente productivo representado por una sección fotosintéticamente activa (hojas), un sistema con sitios escurrimiento de distribución a sumideros y sitios de consumo (raíces, tejidos jóvenes en desarrollo, tejidos meristemáticos y órganos reproductores) y un componente para el acumulo y almacenamiento de sacarosa, constituido por los vacuólos contenidos en las células de los entrenudos de los tallos. La eficiencia con que se dé la integración de esos componentes al sistema, determina en alto grado la producción del cultivo; la cual viene además influenciada y determinada virtud de su naturaleza biológica, por los factores intrínsecos a la planta (genéticos y fisiológicos) y los asociados propiamente al entorno, sobre todo edafoclimáticos y de manejo agronómico. Sin entrar en detalle, resulta importante y conveniente diferenciar los conceptos de crecimiento y desarrollo pues fisiológicamente son diferentes, siendo el primero parte del segundo.

El acumulo sistemático de la materia seca en la planta de caña se presenta bajo una tendencia sigmoidea, que puede perfectamente dividirse en tres fases: 1) Crecimiento lento: la planta se encuentra muy activa en procesos de germinación, retoñamiento, ahijamiento y crecimiento, acumulando ente el 15 y el 10% de toda la materia seca; 2) Crecimiento rápido: la energía metabólica se orienta primordialmente a promover el crecimiento de la sección aérea, se estima que en esta fase se genera entre el 70-80% de toda la materia seca producida, y 3) Acumulativa: el aporte en materia seca se ubica entre 15% y 10%. Este patrón de comportamiento y duración de cada fase depende de la variedad

sembrada, la localidad donde se ubica la plantación, las condiciones bióticas y abióticas del entorno y también del ciclo vegetativo de la planta (10-24 meses), entre otros. Interesante destacar por su aplicación a Costa Rica, que en plantaciones con ciclos vegetativos de 18-24 meses, como acontece con algunas variedades principalmente de origen hawaiano (sigla H) sembradas en altitudes superiores a los 1.000 msnm, como acontece en la zona alta de Cartago (Juan Viñas, Cervantes, Paraíso), la curva de acumulo de materia seca es bimodal pues presenta dos puntos de máximo crecimiento expresado productivamente; ahí sus altas productividades de caña (160-220 t/ha).

La etapa final del desarrollo general de la planta corresponde al periodo de maduración, en el cual está vinculada la floración, donde se da el acumulo de sacarosa asociada a factores que la favorecen, inducen y promueven pero que son contrarios al crecimiento, como acontece en Costa Rica con las bajas temperaturas (12-16°C) presente en las zonas altas (\geq 1.000 msnm) o a periodos secos continuos (régimen Ústico) en el Pacífico Seco (Guanacaste + Pacífico Central) sumado a temperaturas elevadas ($>33^{\circ}\text{C}$); o en su caso, una combinación de ambos. La fase de maduración natural se da cuando la tasa de crecimiento disminuye. La condición de estrés hídrico y/o térmico inducido sobre la planta favorecen y promueven la concentración y el acumulo de sacarosa en los tallos, estando la caña naturalmente preparada y acondicionada para ello. En esta etapa, como se indicó, el acumulo de materia seca es lento y proporcionalmente bajo.

El crecimiento vegetativo y la fructificación dependen en alto grado de la nutrición de la planta, mientras que la floración está regulada y determinada por hormonas específicas. En definitiva, las condiciones más satisfactorias para obtener una mejor maduración y una mayor cantidad de azúcar, están directamente vinculadas con factores bióticos y abióticos asociados a condiciones edafoclimáticas, como son: clima seco, baja humedad ambiental y en el suelo, alta luminosidad, noches frescas con preferencia frías, precipitaciones o condiciones hídricas limitadas durante el periodo de maduración, amplia amplitud térmica entre el día y la noche y plantas sin flor (Chaves 1982).

Diferenciación floral

Cuando los tallos alcanzan un grado avanzado de desarrollo y se cuenta con las condiciones que estimulan, favorecen y promueven la diferenciación de tejidos meristemáticos expresada por un cambio a nivel de ápice, pasando de un estado vegetativo (primordio foliar) a un estado reproductivo (primordio floral), se da origen a la inflorescencia (panícula o panoja). Se indica que este estímulo puede durar de 18 a 25 días (Scarpari y Beauclair 2008). El cambio a fase reproductiva se manifiesta en los tejidos vegetativos y está regulado por factores ambientales y endógenos.

En el crecimiento vegetativo, los meristemas apicales, por su actividad mitótica seguida de procesos de elongación, diferenciación y morfogénesis presentan un crecimiento localizado e indeterminado que dará origen a órganos y tejidos del cuerpo primario de la planta. Un meristemo reproductivo es similar a un meristemo vegetativo, pero existe un cambio en la sincronía celular y en las regiones de división celular.

El inicio de la floración se desencadena por un cambio en la pauta de diferenciación del meristemo vegetativo a meristemo floral, dentro de una organización estructural génica compleja con diversos niveles y rutas de diferenciación. En general, las condiciones fotoperiódicas son percibidas por las hojas y NO directamente por los meristemas: la luz produce un estímulo de floración en las hojas y posteriormente se inicia la floración en los meristemas conocido como evocación.

La transición de fase vegetativa a reproductiva es el resultado de la interacción de factores endógenos de la planta y ambientales externos. Se coincide en que las bajas temperaturas y el fotoperiodo son los elementos del ambiente más importantes en el proceso; así como el rol que tienen las Giberelinas (GA) en el caso de los endógenos. La floración es entonces el resultado de una larga cadena de procesos fisiológicos complejos que acontecen por lo general, en un período de más de 120 días (4 meses) luego de realizada la siembra, incluyendo la maduración fisiológica, la inducción y organización floral; así como la posterior emergencia de la inflorescencia, para dar paso a la etapa final de formación de la semilla y maduración de la misma (Polo 2005).

La condición más favorable para que la planta de caña sea inducida a provocar su diferenciación de tejidos es el acortamiento de la longitud de los días, lo que ocurre al final del verano cuando estos se tornan más cortos y consecuentemente las noches más largas; lo cual es más notorio a partir de los 5 grados de latitud en ambos hemisferios.

La inducción fotoperiodica está condicionada a la formación de un estímulo floral producido por las hojas. La inducción es dependiente de tres procesos:

- a) procesos realizados en las hojas,
- b) transporte del estímulo, y
- c) receptibilidad del ápice (yemas)

Sobrevenida la diferenciación, el crecimiento vegetativo y la formación de nuevo tejido se paraliza, no así el alargamiento de los últimos entrenudos (superiores), los cuales se mantienen activos. Es así como una vez finalizado el periodo de inducción ocurre el desarrollo de la inflorescencia y con ello la aparición de un tipo de hoja especial. Previo a la emergencia de la inflorescencia, aparece un tipo especial de hoja muy particular y fácil de diferenciar en el campo, conocida como *“hoja corta u hoja bandera”*, caracterizada por poseer láminas angostas, alargadas, con un notorio estiramiento de la vaina. Esa estructura indica que la inflorescencia está muy próxima a emerger.

Estudios realizados por Clements (1975) en Hawái, adoptando como base la hoja +5, observó que la hoja que sufría cambio y modificación para transformarse en hoja bandera era la hoja -8, lo cual se expresaba por una importante reducción del limbo foliar y un gran desarrollo de la vaina que protege la inflorescencia. Dicho alargamiento de la vaina podía llegar a 70-80 cm, y el eje principal de la inflorescencia hasta 60 cm; lo cual evita que el eje principal de la flor se quiebre por constituirse de un tejido suave.

Una vez finalizada la fase de formación que puede prolongarse de 7 a 10 semanas (1,7-2,5 meses), viene luego la emergencia de la panícula, la abertura de las flores, la formación de semilla y la maduración de la planta. Se estima que todo el proceso dura en promedio 16 semanas (4 meses).

Esta transformación es diferente entre países pues depende de la ubicación geográfica medida por su latitud. Se considera que las mejores condiciones para que ocurra floración se encuentran en las regiones ecuatoriales del planeta, con pequeñas variaciones de temperatura; lo que permite inducir floración casi en cualquier época del año. En latitudes mayores, el mecanismo es estacional, ocurriendo principalmente cuando el fotoperiodo disminuye y las plantas están finalizando su periodo vegetativo.

En Brasil se tiene por válido un fotoperiodo más prolongado y favorable para floración en la región del Nordeste respecto a São Paulo; en Alagoas, inicia por lo general en enero y finaliza hasta finales de junio, permitiendo que las hibridaciones realizadas en la Estación de floración y cruzamiento de Sierra del Oro inicien en abril y perduren hasta la tercera semana de junio. Más específicamente, en el Estado de São Paulo, por ejemplo, esa condición acontece entre el 20 de febrero y el 20 de marzo, debiendo estar las temperaturas mínimas nocturnas en ese periodo arriba de 18°C y las máximas diurnas abajo de 31°C, como lo comprobaran Pereira *et al* (1983). La inducción de la floración de la caña en Cuba ($\approx 22^\circ$ latitud norte y 80° longitud oeste), Caraballoso *et al* (2011) la establecen a partir del 4 de septiembre. En las condiciones de la zona azucarera de Colombia, el estímulo ocurre al inicio del segundo semestre y se manifiesta en los últimos meses del año (Polo 2005).

La inducción de floración en la caña de azúcar puede habilitarse mediante dos técnicas básicas empleando medios naturales y artificiales: 1) Inducción natural en microclimas con condiciones favorables, y 2) Inducción artificial mediante regulación del fotoperiodo mediante Cámaras de Floración o Fotoperiodo.

En la primera se ubican localidades con microclimas propicios en cuanto a lluvia, temperaturas, humedad relativa, velocidad del viento, radiación y luminosidad, propiedades físicas y químicas del suelo, entre otras; las cuales por lo general están próximas a zonas montañosas. Para que se dé la inducción artificial, indica Polo (2005), la caña necesita alrededor de 120 días luego de sembrada con una iluminación que comience con 12 horas y 30 minutos y termine con 12 horas, esto en condiciones artificiales, pues en

la naturaleza 20 días de inducción natural es suficiente para que muchas variedades pasen del estado vegetativo al reproductivo.

Un estudio de inducción floral realizado en Tucumán, Argentina, por Gómez (2015) encontró que *“...del total de tallos sometidos a tratamiento, el 55,7% presentó panícula, resultado que se aproxima a valores obtenidos en la bibliografía consultada donde los porcentajes de floración obtenidos oscilaron entre 41,5% y 67,2% con un promedio general de 58%”*. El método artificial es efectivo para ese fin.

La emergencia y duración de las panículas es próxima a los dos meses (aproximadamente 60 días), lo que es importante tener presente para definir tiempos en la realización de hibridaciones.

Fotoperiodo: *significado, importancia e implicaciones*

Los cañeros de todo el mundo saben por antecedente, que la floración de la caña ocurre solamente durante cierta época del año, lo que rápidamente se vinculó con el fotoperiodo. El origen del fotoperiodo se vincula con la inclinación que el eje de giro de la tierra tiene respecto del plano que contiene la elipse que describe el movimiento de traslación del globo al girar alrededor del sol.

De acuerdo con Wikipedia (2017a) *“Se denomina fotoperiodo al conjunto de procesos de las especies vegetales mediante los cuales regulan sus funciones biológicas (como por ejemplo su reproducción y crecimiento) usando como parámetros la alternancia de los días y las noches del año y su duración según las estaciones y el ciclo solar.*

El fotoperiodo, por lo tanto, son los cambios de iluminación que reciben las plantas, que pueden modificar su germinación. En el mundo vegetal la luz, su duración y periodicidad, tiene una gran influencia sobre la germinación y la duración del crecimiento vegetativo. El desarrollo de las plantas puede ser activado o no dependiendo del número de horas de luz recibidas. Algunos árboles necesitan un número determinado de horas de luz al día para que su metabolismo funcione, pero cuando llega el otoño los días son más cortos, y al no recibir las horas de luz que necesitan, su crecimiento se detiene y entran en una fase de reposo”.

Ampliando el tema la misma fuente señala, que *“Varias actividades de las plantas, como producción de flores, están determinadas por la longitud del día; por esta razón las plantas se pueden clasificar a partir de sus respuestas al fotoperiodo. Las plantas de días cortos florecen solo en días cortos o la producción de flores es acelerada en días cortos. Las plantas de días largos florecen solo en días largos y la producción de flores es acelerada en días largos. También existen plantas que no responden al fotoperiodo, estas plantas son llamadas plantas neutrales al día y florecen por mecanismos de regulación autónomos.*

La inducción fotoperiodica es un proceso regulado que comienza cuando las hojas de la planta reconocen el fotoperiodo (duración del día) por medio de receptores (fotorreceptores y fitocromos) y envían señales al brote apical el cual comienza la producción de las flores. Esta señal es reconocida por las plantas por medio de una cuantificación del tiempo de oscuridad versus el tiempo de luz en el día. El efecto decisivo está dado por el tiempo de oscuridad en el día, el cual es medido por un oscilador circadiano endógeno que está involucrado en diferentes procesos fisiológicos que incluyen expresión génica para la producción de flores.

En las plantas de días cortos estos receptores son fitocromos que reconocen luz roja y luz roja lejana. Cuando son expuestas a la luz, estas plantas reconocen la luz roja que satura el receptor e inhibe la producción de flores; cuando la planta es expuesta a luz roja lejana se revierte el efecto y se pueden producir flores. En las plantas de días largos los fotorreceptores de luz azul son los responsables de la producción de flores”.

De todos los factores que regulan el crecimiento de las plantas, el único verdaderamente constante es el fotoperiodo. Se denomina **Fotoperiodo Crítico (FC)** al número de horas de iluminación o de oscuridad diaria, sobre o abajo del cual ocurre perturbación de la floración. Las plantas que responden al estímulo fotoperiodico pueden ser clasificadas en **Plantas de Días Cortos (PDC)** y **Plantas de Días Largos (PDL)**. En realidad y de manera pragmática las PDC son plantas de noches largas que florecen con un fotoperiodo abajo del FC, y las PDL son plantas de noches cortas que florecen con un fotoperiodo arriba del FC. Las plantas que no responden a la longitud del día y al estímulo fotoperiodico son denominadas **Plantas**

Neutras (PN), como acontece con el maíz y el tomate. La respuesta de los organismos al fotoperiodo se denomina **fotoperiodismo**. En el Anexo se anotan algunas plantas y cultivos importantes clasificados de acuerdo con su fotoperiodo.

En cuanto al fotoperiodo, cabe indicar que la clasificación para la caña de azúcar no es consensuada, pues califica para algunos investigadores como una planta de día corto (Mangelsdorf 1956; Arrivillaga 1988; Polo 2005; Araldi *et al* 2010; Castro 2016), pues la planta florece en los días que preceden luminosidad prolongada, aunque algunos clones de acuerdo con el criterio de otros autores (Clements y Awada, 1965; Clements 1968), mantienen un comportamiento que los ubica como de fotoperiodo neutro o intermedio.

En el estudio desarrollado por Clements y Awada (1965), el periodo de oscuridad se fijó en 11 horas y 32 minutos (12 horas y 28 minutos de luz), lo que indujo buena floración, pero cuando el periodo fue incrementado en cerca de 26 minutos, o en su caso, disminuido alrededor de 34 minutos, la floración fue por el contrario nula o muy escasa. Concluyeron esos investigadores que períodos de 11 horas de oscuridad (13 horas de luz) suprimieron la floración y períodos de oscuridad de 13 horas 30 minutos (10 horas 30 minutos de luz) la atrasaron. En el estudio de Clements (1968), el periodo oscuro fue similar al anterior, fijándolo en 11 horas y 30 minutos, en cuyo caso la floración se manifestó rápidamente, al contrario de las variaciones de la longitud del día.

Para Araldi *et al* (2010), *“La caña de azúcar es una planta que florece solamente cuando es sometida a días con longitud inferiores a un fotoperiodo crítico, siendo, por tanto, una planta de día corto (PDC).”* Esta circunstancia provoca que una variedad que florea en un país no lo haga en otro y viceversa.

La caña es una planta muy sensible a los cambios de luz, particularmente a la reducción de la longitud del día cuando esta es larga. La literatura reporta que la duración del día para inducir floración en variedades de caña va desde 12:30 a las 12:00 horas luz, con un período que corre desde los 120 días (4 meses) de período inductivo hasta ciertas variedades que necesitan 20 días para pasar del estado vegetativo al reproductivo (Figura 7).

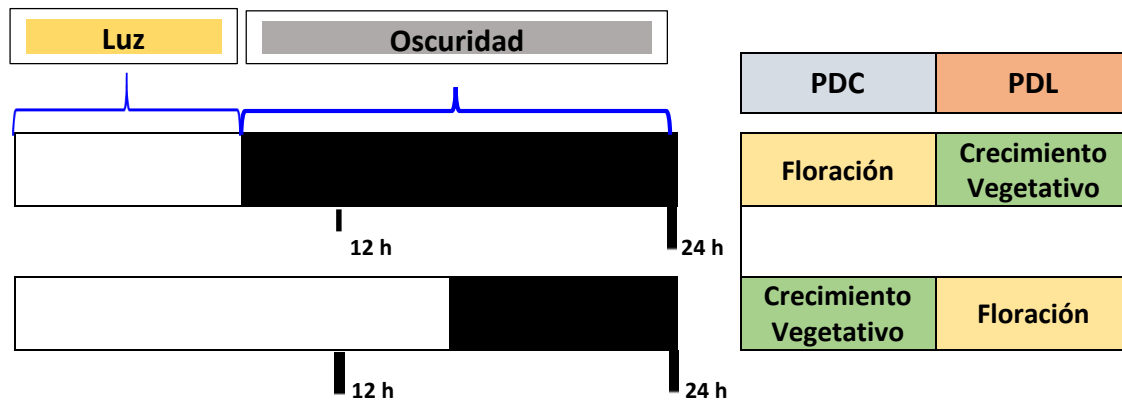


Figura 7.
Fotoperiodo. Alternancia de horas de luz y oscuridad en un día y efecto sobre Plantas de Día Corto (PDC) y Plantas de Día Largo (PDL).

De acuerdo con Castro (2016), *“En un periodo de luz de 12,5 horas, la intensidad de luz debe ser alta, y la planta florece en 20 días. Si la intensidad luminosa es débil, en ese mismo fotoperiodo, son necesarios de 60 a 90 días para que ocurra la floración. Durante las 11,5 horas del periodo oscuro, debe existir un contenido adecuado de material fotosintetizado acumulado para producir una cantidad máxima de estímulos para la floración. Cuando hubiese menor cantidad disponible en el periodo nocturno, hay necesidad de mayor periodo para la diferenciación. Durante el periodo oscuro, “flash” con 5,35 watts m⁻² evita la floración. La luz incandescente y la fluorescente afectan la inducción, en cuanto que la luz “roja distante” y la luz de lámpara de mercurio no afectan el proceso.”*

Experimentos realizados por James y Miller (1972) encontraron que, periodos nocturnos de 11 horas y 32 minutos (12 horas y 28 minutos de luz) son los más cercanos para inducir la floración, mientras que períodos de 11 horas de oscuridad (13 horas de luz) suprimen la floración, y períodos de oscuridad de 13 horas 30 minutos (10 horas y 30 minutos de luz) atrasan la floración. Según Subirós (1995), *“Para que la caña inicie el proceso de inducción floral, debe recibir ciclos inductivos de duración lumínica de 12,5 horas, con variaciones de 15 minutos de acuerdo con las variedades.”* Se considera que un largo del día de 12,5 horas y temperaturas nocturnas entre 20-25°C desencadenan la inducción floral.

Comentan con amplitud Casagrande y Vasconcelos (2008) sobre el tema, indicando que *“De cualquier modo para haber florecimiento, la planta sale de una situación de alta intensidad luminosa, en torno de 12 horas, para llegar a un periodo oscuro de 11 horas y 30 minutos, que sería crítico para la translocación del estímulo de las hojas para el ápice.”*

Para que ocurra floración en una plantación de caña, el fotoperiodo es sin lugar a dudas el factor más importante, teniendo como se anotó, cada variedad un patrón particular de respuesta que puede variar aún para un mismo clon dependiendo del lugar geográfico donde este cultivado, lo que responde y explica las grandes diferencias que se encuentran y observan en el campo entre variedades comerciales.

Factores interventores

Para que emerja la inflorescencia, es necesario que se den una serie de condiciones relacionadas y asociadas con factores genéticos y ambientales, como son: ubicación geográfica (latitud y altitud), fotoperiodo del lugar, genética y edad de la planta, radiación y calidad de luz, condiciones de temperatura y humedad apropiadas, contenido de humedad en el suelo, grado de fertilidad (asociado al nitrógeno), fitosanidad (plagas y enfermedades), momento de la plantación y factores hormonales relacionados con la concentración de Auxina, entre otros.

Aseguran Araldi *et al* (2010) al respecto, que *“los factores externos relacionados con la floración son: fotoperiodo, temperatura, humedad y radiación solar, además de la fertilidad del suelo. Por otro lado, los factores internos envuelven fitocromos, hormonas, florígeno, ácidos nucleicos, entre otros.”* De existir y darse estas condiciones de manera favorable, se pasará entonces de un crecimiento vegetativo a uno reproductivo; los entrenudos mantendrán su proceso de alargamiento y finalmente surgirá la *“hoja bandera”*, indicador vegetativo asociado directamente con la pronta llegada de la inflorescencia.

La literatura reporta información muy variable, algunas veces hasta discordante en el caso de la zona tropical, lo que demuestra la dificultad para interpretar objetiva y válidamente este proceso tan complejo. Se reconoce la variabilidad e inestabilidad del mecanismo de floración en la caña de azúcar, donde participan, como se anotó, fitocromos, procesos

metabólicos complicados, hormonas, ácidos nucleicos y factores de diversa naturaleza en entornos heterogéneos. Un detalle de los factores (externos e internos) más importantes, vinculados con la floración de la caña de azúcar se describe a continuación:

Edad de la planta:

Hay diferencia marcada en la respuesta de los diferentes genotipos de caña de azúcar a la floración durante su fase juvenil. Cuando la floración se presenta de 4 a 8 meses previos a la cosecha de la plantación, la productividad agroindustrial se ve seriamente comprometida e impactada negativamente. La literatura señala que la floración se presenta en ambos ciclos vegetativos, pero, en promedio, es ligeramente mayor en el ciclo de planta respecto al ciclo de soca o retoño, lo cual viene determinado por el clima y la variedad.

La edad mínima para recibir inducción es muy variable y particular de los genotipos de caña, aunque se reconoce que en los más sensibles precisan tallos con un número mínimo de 4-5 entrenudos formados desde la base asociados a una sección foliar abundante; aunque también se cita que pueden ser entre 2-4 entrenudos. Tallos inmaduros no presentan floración, periodo que es más corto en el caso de clones con fuerte disposición a florear.

Latitud y longitud:

Por la naturaleza estacional del evento la ubicación geográfica de la plantación es determinante, disminuyendo la floración en relación a su distancia respecto a la línea ecuatorial. En general se reporta una correlación positiva entre latitudes menores respecto a una mayor precocidad en la formación de la yema floral.

En el Ecuador o muy próximo a él (3° a 5°), donde la longitud del día es bastante constante en alrededor de 12 horas, y donde varía en 3 minutos de más o menos, la floración se presenta durante todo el año; siendo sin embargo, estacional conforme se aumenta la latitud norte, iniciando con el equinoccio de otoño (alrededor del 21 de septiembre), en agosto a 3° de latitud norte, en octubre en localidades próximas a los 10° N, en noviembre en los 20° N y en diciembre a una latitud de 28-30° N, como indicara Nuss (1978). En ambientes tropicales como Sudán (13° 05' N) y Malawi (12° 30' S) la floración ocurre entre

el 80 y 100% de las plantas; en tanto que zonas subtropicales como Sud África ($25^{\circ} 22' - 30^{\circ} 30' S$), la floración es ocasional y esporádica. La longitud por su parte y de acuerdo con la literatura, no pareciera tener una influencia importante.

La posible ocurrencia de la floración según latitud sugerida por Moore y Berding (2014) y expuesta en la Figura 8, muestra importantes variaciones entre hemisferios y ubicación geográfica. Cerca del ecuador la longitud del día varía poco en relación a latitudes superiores (30°) donde los cambios de luz son elevados y significativos. El área sombreada representa el fotoperiodo inductivo que como se observa, en latitudes menores de 10° se ubica entre los meses de junio y agosto.

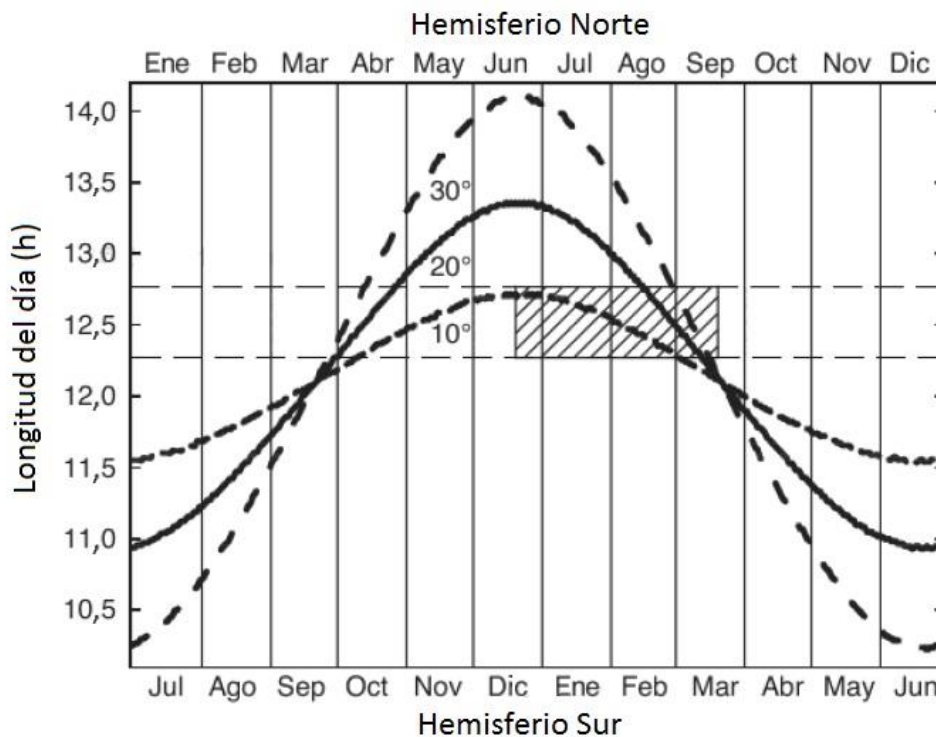


Figura 8. Variación de la longitud del día según latitud, hemisferio y mes.

El fotoperiodo inductivo es determinante para la floración siendo necesario que la duración del día disminuya de 12,75 horas de luz a 12,25 horas de luz (Figura 9). Algunos autores estiman que a 10° del ecuador el fotoperiodo inductivo (12,5 horas de luz) va desde el 22 de julio al 9 de setiembre (49 días); mientras que a 30° del ecuador el fotoperiodo inductivo

va desde el 4 de setiembre al 28 de setiembre (24 días). El acortamiento gradual y sistemático de la longitud del día con el tiempo es lo que finalmente induce la floración.

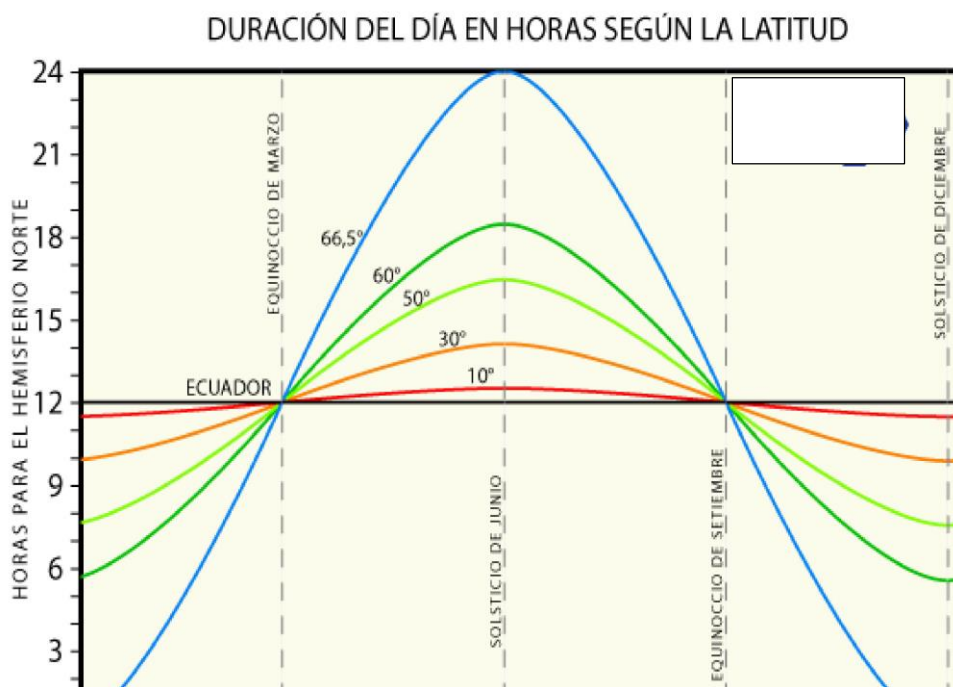


Figura 9. Duración del día según latitud y periodo del año para el hemisferio norte.

Reporta Soto (1999), que “En la zona cañera de Guatemala (13° 55’ a 14° 30’ Latitud Norte) y durante seis años de observación (1992 - 1998) en la colección de germoplasma, se determinó que los clones más precoces inician su floración en la segunda quincena del mes de Octubre y la mayoría de las variedades muestran flor durante la primera semana y segunda del mes de Noviembre”.

En un interesante y revelador estudio efectuado en Sabahieya, Egipto, Allam *et al* (1978) constataron que la floración en la caña de azúcar presenta variación dependiendo de la duración de su ciclo de vida y de la latitud del centro de origen en que se encuentre cultivada (Cuadro 3). En cuanto a su ciclo de vida mostró algunos cambios con respecto al tiempo de iniciación de la floración. Determinaron asimismo, que las variedades situadas normalmente lejos del ecuador tienden a florecer en menor tiempo que cuando crecen

cerca de éste. Concluyeron que las condiciones óptimas de latitud para el crecimiento de la caña de azúcar se encuentran situadas desde los 5° a los 30°. Por razones del estudio, las plantas fueron desplazadas a 31° 12' latitud norte (Alejandría, Egipto), para poder conocer su comportamiento; condiciones en las cuales la floración inicia al final de diciembre y termina al final del mes de junio, presentando su temporada pico (respecto al inicio de la floración) en los meses de enero y febrero.

Cuadro 3.
Iniciación floral (F1) y emergencia floral de 147 variedades de caña de azúcar en Alejandría Egipto (31° 12' N) durante el período 1972- 1975.

Centro de origen	Latitud	Sigla clones	No. Variedades plantadas	No. variedades iniciadas	% de variedades iniciadas	No. variedades incidentes	% variedades incidentes
USA	26°-29°N	CL, CP, L	29	25	86	18	62
Taiwán	23° N	F	4	3	75	1	25
Puerto Rico	18° N	PR	2	2	100	1	50
Barbados	13° N	B, Ba	4	3	75	2	50
India	11° N	Co, CoL, CoS)	87	67	77	55	63
Brasil	5° S	CB	1	1	100	1	100
Indonesia	6° S	POJ	10	3	30	1	10
Australia	19° S	Q	4	3	75	3	75
Sudáfrica	20° S	N, NCo	6	6	100	3	50
Total			147	113	76,9	85	58

Fuente: Allam *et al* (1978).

El factor latitud debe para ser mejor juzgado e interpretado, vincularse y conjugarse necesariamente con las temperaturas y la humedad prevaleciente durante el periodo de inducción, en la localidad particular donde se realice la medición.

Fotoperiodo:

No hay duda en señalar que este es el factor más importante y determinante, siendo la caña una planta sensible a los cambios lumínicos, especialmente a la disminución en la longitud del día cuando esta es larga (13 horas de luz hasta 12 horas de luz), lo cual estimula la floración de la planta.

El número de ciclos fotoinductivos necesarios para inducir floración varía ampliamente entre especies vegetales, pudiendo ser uno solo para iniciar los primordios florales como ocurre en *Xanthium pennsylvanicum*, en *Salvia occidentalis* PDC se requieren por lo menos 17 y en *Plantago lanceolata* PDL son necesarios 25 ciclos inductivos para una respuesta floral máxima (Devlin 1976). La cantidad necesaria para que la caña florezca es variable, señalando Subirós (1995), que son necesarios un mínimo de 10 ciclos ininterrumpidos, disminuyendo la misma si es inferior. Para ese autor, el máximo de floración se logra con 15 noches inductivas sin interrupción y si las temperaturas son mayores de 18°C; si el número es menor a 10 ciclos, expresa, se presenta muy poca o ninguna floración.

Altitud:

Su incidencia es indirecta al influir sobre la temperatura y la luminosidad. En localidades altas las bajas temperaturas pueden inhibir la floración y en zonas bajas esta por el contrario aumenta. En regiones de mayor altitud mayor será la nubosidad y la inducción a florear.

En Guatemala como se muestra en el Cuadro 4 para algunas variedades conocidas, Arrivillaga (1988) comprobó que a mayor altitud (msnm) la incidencia y la intensidad de floración es mayor, lo cual es un factor limitante para la producción, no así para la generación de híbridos. En todas las variedades se observó un patrón similar, la intensidad se vio reducida en la zona baja, mientras para la zona alta y media no hubo gran diferencia, ya que unas tuvieron los valores más altos en el estrato medio y otras en el estrato alto. El valor de intensidad más alto lo registró la CP72-1312 (99%), para el estrato medio y para el estrato alto fue la CP72-2086 (96%).

Cuadro 4. Intensidad de la floración de 8 variedades comerciales en tres zonas altitudinales

Zona	Latitud	Altitud (msnm)	CP72-1312	CP72-2086	CP72-1210	CP57-603	Q 96	Q 102	BT65-152	C 87-51
Alta	14° 23' N	760	91%	96%	94%	90%	92%	24%	63%	72%
Media	14° 19' N	280	99%	98%	88%	75%	86%	14%	54%	64%
Baja	14° N	<100	64%	61%	51%	10%	13%	18%	7%	31%

Fuente: Arrivillaga (1988).

Radiación solar:

La caña es por origen, naturaleza y excelencia una planta de sol, razón por la cual necesita, responde y asimila muy bien la radiación solar, logrando transformar hasta un 2% de la energía incidente en biomasa. Esta importante propiedad hace que durante todo el ciclo vegetativo la planta acepte y requiera buena iluminación, si se pretende atender y optimizar su capacidad metabólica (Castro 2016). Dicho de otra forma: a mayor radiación solar, mayor será la eficiencia de la fotosíntesis y el metabolismo, y en consecuencia, mayor será también la producción y la acumulación de azúcares. Durante el periodo inductivo de floración la luz la cantidad de luz es también importante, observándose menos floración si hay distorsión del periodo lumínico.

La cantidad de horas de sol o periodo en el cual la planta recibe radiación solar directa, registrada como brillo solar, es determinante; lo cual establece que cuando hay una condición de alta nubosidad el periodo lumínico se ve interrumpido en favorecimiento directo de la floración. Se ha comprobado en el campo que hay una relación inversa casi directa entre la cantidad mensual acumulada de horas de brillo solar con el porcentaje de floración presente; a menor brillo más floración y viceversa. El tipo, longitud y duración de la luz es influyente sobre el estímulo inductivo y emisión de la inflorescencia; se indica que el espectro lumínico en su franja media es inhibitorio, no así sus extremos.

Condición previa a la iniciación de una respuesta de una planta ante la luz es que esta sea absorbida; lo que implica la necesidad de contar con un receptor, generalmente un pigmento, que debe estar presente y ser capaz de absorber la longitud o longitudes de onda responsables de la respuesta denominada proceso fotobiológico. Para comprender mejor el complejo mecanismo involucrado, es importante tener presente que en las plantas hay tres grupos principales de pigmentos asociados a las fotorrespuestas fundamentales de los vegetales: a) las clorofilas envueltas en la fotosíntesis, b) el fitocromo vinculado con algunos cambios y transformaciones morfogénicas, con la percepción del fotoperiodo y probablemente con los ritmos diarios que intervienen algunos movimientos de la planta y c) β - caroteno o flavinas, relacionados con el fototropismo. El modo de acción del fitocromo

asociado a los diferentes tipos de respuesta de las plantas no está aún muy claro (Whatley y Watley 1982).

El estímulo fotoperiodico es captado en las hojas de la planta, y no en el meristemo, por el pigmento conocido como fitocromo, que es una proteína con una cadena abierta tetrapirrólica cromófora, el cual se presenta dos formas básicas. La forma **P₆₆₀** que posee máxima absorción en 660 nm; cuando es expuesta a la luz del día o a la luz roja se transforma en la **P₇₃₀** con máxima absorción en 730 nm. En lo oscuro o en presencia de luz roja larga la P₇₃₀ es por el contrario convertida lentamente en la forma P₆₆₀. Las cantidades relativas de P₆₆₀ y P₇₃₀ presentes sirven para evaluar las longitudes relativas al día y la noche. En los días largos la P₇₃₀ es relativamente más abundante que en los cortos. Aparentemente la P₇₃₀ es la forma más activa del fitocromo y puede ejercer directamente el control por la regulación de la permeabilidad de la membrana. Cuando está presente en abundancia induce la iniciación floral y la floración en PDL e inhibe estos procesos en PDC. Una disminución de su concentración en días cortos reduce su efecto inhibitor y permite la iniciación floral y la floración en PDC. Entre P₆₆₀ y P₇₃₀ hay varios compuestos intermediarios (Kendrick y Frankland 1981; Awad y Castro 1983).

El resultado de la interconversión de las dos formas de fitocromo es aparentemente la formación de una o varias sustancias desconocidas (florigenos), que son transportadas a los ápices de la planta donde provocan la transformación de fase vegetativa para reproductiva (alteración en los ácidos nucleicos) y la iniciación floral que precede a la floración y emergencia de la panícula en la caña de azúcar. Se ha encontrado que en ciertas PDL la aplicación de Giberelinas conduce a la iniciación floral sobre condiciones de días cortos. También algunas PDC sobre condiciones de días largos, la aplicación de la fitohormona ácido abscisico provoca iniciación floral.

De acuerdo con Rodriguez (1995), la respuesta fotoperiodica está asociada directamente con fitocromos, los cuales se presentan en dos formas: a) inestable y fisiológicamente más activa (fitocromo rojo extremo-FRE) predominante en condiciones de luz y b) estable,

fisiológicamente menos activo (fitocromo rojo-FR) predominante en condiciones de oscuridad; el FRE es el que tiene capacidad de inducir floración. Con base en lo anterior, la inducción de floración en la caña ocurre cuando hay bajas concentraciones de FRE, lo que se logra con ausencia de iluminación por luz roja o blanca en el periodo nocturno, hasta alcanzar un mínimo de horas de oscuridad que se ha establecido en aproximadamente 11,5 horas. Si hubiere cualquier grado de iluminación, la concentración de FRE consecuentemente se eleva, inhibiendo el estímulo floral.

Casagrande y Vasconcelos (2008) comentan sobre el tema, indicando que *“... el estímulo fotoperiodico es captado en las hojas por el pigmento denominado fitocromo, que recibe las variaciones de luminosidad y transfiere esa información para la planta, que transforma entonces la yema apical vegetativa en floral. El P₇₃₀, rojo, es la forma activa del pigmento, abundante en días largos, que se relaciona con el P₆₆₀, azul. Cantidades relativas de P₆₆₀ y P₇₃₀ sirven para evaluar la longitud del día y de la noche. Gracias a la acción de los fitocromos, se tiene la interconversión de formas para la formación de florígenos, que son aún sustancias poco conocidas.”*

Temperatura:

Su importancia sobre la inducción de la floración es reconocida y está suficientemente comprobada, aunque sus valores e interpretaciones pueden ser variables; interviniendo también sobre el desarrollo de la inflorescencia y la viabilidad del polen. La temperatura adquiere mayor jerarquía por la influencia efectiva que proporcionalmente ejerce como factor de control de la floración conforme se aleja de la línea ecuatorial y en las latitudes más alejadas. Es muy probable que la temperatura sea el más importante de todos los factores cambiantes, una vez que la adecuada madurez y los requerimientos de luz para la inducción del primordio han sido satisfechos.

Son importantes tanto la temperatura mínima nocturna como la máxima diurna. Se ha encontrado como patrón general que las temperaturas bajas afectan la floración. Rangel (1984) reporta en Colombia, que las temperaturas óptimas nocturnas inductivas se

encuentran entre 21 y 24°C, lo que también compartieron James y Miller (1972) y Viveros (1990). Temperaturas extremas con máxima diurna (>32°C) y mínima nocturna (< 19°C), inhibieron la inducción de la floración. Subirós (1995) las ubica por su parte como limitantes en >32°C y <18°C, encontrándose la máxima inducción entre 21 y 27°C.

El estrés térmico provocado por altas temperaturas y alta evapotranspiración son también elementos importantes para disminuir floración. Según Castro (2001), las temperaturas nocturnas tienen más influencia, sobre todo las menores a 18°C por periodos mayores a 10 días. Señala Corrales (1984) citando a Alexander (1973), que *“Con temperaturas nocturnas más bajas de lo normal durante el periodo inductivo, se presenta poca o ninguna floración independientemente del tratamiento de agua de riego.”*

Aseguran varios investigadores que durante el periodo de inducción para floración, las temperaturas nocturnas tienen mayor importancia que las diurnas. Estudios realizados por Coleman (1968) en Hawái, verificaron que temperaturas nocturnas de 18,3°C o inferiores fueron no inductivas de floración, sobre todo cuando la frecuencia de las mismas superaba el 20% del total de noches que precedían la iniciación floral; valor que se encontraría en torno a 10 días. Sobre el mismo tema, en la Región Centro-Sur de Brasil se observó un efecto acumulativo de las temperaturas inferiores a 18°C, encontrando que 5 noches no afectaron la floración y 10 noches la perjudicaron; siendo necesarias más de 10 noches para inhibir completamente la floración de la caña en esas condiciones (Pereira 1985; Castro 2016).

Aseveran Araldi *et al* (2010) que temperaturas sobre 31°C y menores a 18°C atrasan la iniciación floral y el desarrollo de las panículas, reduciendo su número; mientras que las moderadas aumentan el tamaño de las inflorescencias. Citando a Haag y Malavolta (1964), anotan esos mismos autores que en Hawái se comprobó que el proceso puede variarse modificando la temperatura en $\pm 5^\circ\text{C}$.

Afirma contundentemente Castro (2016), que *“Temperatura mínima abajo de 18°C perjudica la floración. Se considera que la temperatura del periodo oscuro del fotoperiodo inductivo debe estar entre 21 a 27°C; el óptimo de floración estaría entre 22 y 24°C.”*

Resulta interesante conocer sobre la función de regresión cuadrática generada por Pereira (1985), orientada a estimar la posibilidad de floración en la Región Centro-Sur de Brasil, considerando que el periodo de inducción del lugar acontece entre el 25 de febrero y el 20 de marzo; para lo cual definió lo siguiente:

$$L = 1,263 - 0,06764 x_1 - 0,02296 x_2$$

donde:

L = posibilidad de floración;

X₁ = es el número de días con temperatura mínima mayor o igual a 18°C;

X₂ = es el número de días con temperatura máxima menor o igual a 31°C

Si la resultante indica un L negativo es muy posible que ocurra floración; si fuese por el contrario positivo, entonces no habrá floración.

Se ha encontrado que la temperatura en la floración está vinculada con los efectos del fotoperiodo; además de que en el periodo de oscuridad tiene una mayor influencia sobre la floración, que la temperatura en el periodo diurno. Variaciones durante el periodo oscuro, arriba o debajo de cierto valor, inhiben la floración.

Lluvia:

Puede intervenir directamente sobre la humedad del suelo, la nubosidad y la temperatura ambiente y con ello sobre la intensidad de floración; fluctuaciones entre años demuestran su influencia. Variaciones en el patrón normal de lluvias modifican la intensidad de la floración, siendo ésta acrecentada con la presencia de altas precipitaciones durante el periodo inductivo.

Humedad:

Condiciones de estrés prolongado provocado por un periodo seco (disminución de lluvias o riego) previo o durante el periodo inductivo afectan y retrasan la emisión y emergencia de la inflorescencia, pudiendo inhibirla si es severo. Una condición de estrés hídrico que

provoque un periodo de tensión de humedad interna en la planta durante la fase de inducción, evita el florecimiento de la caña, como se reporta en Hawái al suspender el riego, lo que incrementó los rendimientos en un 10% (Humbert 1974).

De acuerdo con Moore y Nuss (1987), la humedad del suelo es crítica para la inducción floral, el desarrollo de la inflorescencia, la definición del momento de la emergencia y para la producción de semillas en la fase reproductiva del cultivo. Una deficiencia hídrica durante el periodo inductivo reduce la floración de la caña de azúcar.

Nutrición:

En condiciones extremas de alta o baja fertilidad del suelo puede ocurrir abundante floración; en la alta por proveer agua y nutrimentos en cantidades apropiadas para favorecer e inducir crecimiento y elongación, y en la baja, por activar mecanismos de sobrevivencia natural de la planta.

El Nitrógeno (N) interviene por afectación de la relación y balance C/N, razón por la cual tiene vinculación directa con el tema. Se reporta que dosis altas de N en momentos de inducción disminuyen la floración, y dosis bajas pueden afectar también la intensidad de la misma, el tamaño de la flor y la producción de semilla. Las altas relaciones C/N son favorables a la floración y las bajas relaciones favorecen el crecimiento vegetativo. Facilitar el contenido de N₂ en la planta facilita la manifestación floral.

Este tema es sin embargo cuestionado en razón de la selectividad y respuesta diferencial que tienen los diferentes genotipos de caña a la fertilización y en particular en cuanto a su respuesta al N. Se reporta adicionalmente intervención de otros nutrimentos, pues un crecimiento vigoroso de la planta previo a la inducción asegura una excelente floración.

Características genéticas:

Las necesidades de cierta cantidad de horas de luz (fotoperiodo crítico) para florear, son de índole varietal y están además influenciadas por otras condiciones adicionales.

Un interesante estudio realizado con 306 clones sembrados en dos localidades de diferente altitud (280 y 760 msnm) de Guatemala, Polo (2005) determinó que hubo 71 clones que no tuvieron incidencia de floración en ambas localidades, representando el 23% de todos los materiales evaluados (Cuadro 5). En el ambiente de la zona alta (760 msnm) hubo mayor probabilidad de encontrar variedades con flor en relación a la zona media (280 msnm). Los resultados obtenidos demostraron, que en ambas localidades predomina una floración leve, que va desde el 1 a 20% de tallos florecidos; lo cual es atribuido a las características ambientales presentes en ambas localidades. De acuerdo con Viveros y Cassalett (1993), la floración se reduce considerablemente con temperaturas altas (32°C) y bajas (menores a 19°C); además del brillo solar, que afecta directamente la calidad de luz. De los 57 clones evaluados, los originarios de Canal Point (sigla CP), Florida (EE.UU.), presentaron la mayor incidencia en floración (50 en ambas localidades); mientras que las provenientes de Barbados (sigla B) mostraron la menor incidencia de floración (apenas 9 de 30).

Cuadro 5. Grados de floración obtenidos en dos localidades guatemaltecas. Zafra 2001-2002.

Categoría	Incidencia (%)	Localidad (N° variedades)	
		Los Tarros (760 msnm)	Camantulul (280 msnm)
Nula	0	90	131
Leve	1 -20	88	56
	>20 - <40	64	37
Media	40 - 60	43	28
	>60 - <80	16	27
Intensa	80 - <90	4	12
Muy Intensa	90 - 100	1	15
Total		306	306

Fuente: Polo (2005).

Destacable de dicha investigación es lo concerniente a la duración de la floración, medida como el período en días que duraba la emergencia de la primera hasta la última panícula, la cual fue similar para ambas localidades, ya que estuvo comprendida entre 0 y 25 días para la gran mayoría de clones estudiados. En la zona alta el período más prolongado se presentó en la variedad NCo 376 con 66 días y los clones con intervalos más cortos fueron: CG 98-94 y NG 77-92 con una duración de apenas 1 día. En la zona media el intervalo de

floración presentó períodos de hasta 51 días para las variedades: CGCP 95-62 y CGM 98-182 y el clon que presentó el período más corto fue CB 40-13 con apenas 1 día de duración.

Con este resultado y desde el punto de vista del fotoperiodo, se puede inferir que el periodo inductivo inició desde el 1 de agosto extendiéndose hasta el 3 de octubre, puesto que las horas luz van desde 12:29 horas hasta 12:01, respectivamente. La literatura reporta como quedó anotado, que la duración del día para inducir a floración en variedades de caña va desde 12:30 a las 12:00 horas luz, con un período que va desde los 120 días de período inductivo, hasta ciertas variedades que necesitan 20 días para pasar del estado vegetativo al reproductivo (Polo 2005).

Hormonas:

Se tienen muchas e importantes evidencias de que la iniciación floral en todas las plantas está controlada por hormonas, las cuales se han denominado "*florigenos*" debido a que promueven y estimulan la floración; así como uno o más inhibidores de acción negativa, que deberán identificarse.

Las hojas más nuevas (0 y -1) son las más sensibles al fotoperiodo, observando los tallos independencia en su comportamiento. Se atribuye a las hojas +3 y +4 la capacidad de inhibir floración. Las Giberelinas son las hormonas vegetales que han demostrado poder inducir floración mediante la formación de primordios florales luego de aplicadas en condiciones naturales (Devlin 1976). Alfaro y Alfaro (1999), encontraron en Costa Rica, que la adición de ácido giberelico (5, 10, 15, 20, 25 y 50 ppm) favoreció e indujo la presencia de flor, afectando negativamente los rendimientos agroindustriales de la variedad Q 96.

No se ha demostrado aún, sin embargo, que las Giberilinas sean los "*florigeros*" en la caña de azúcar, pero análisis endógenos de concentración del fitohormonio en ápices floreados y no floreados, evidenciaron diferencias en las cantidades y tipos de Giberilinas presentes, donde los ápices floreados presentaron hasta 5 veces más cantidad de los diferentes tipos de esa hormona.

Se conoce que aunque el estímulo fotoperiodico se percibe en la hoja de la planta, la respuesta a florear ocurre en el ápice caulinar, donde intervienen sustancias inhibidoras y también estimulantes que son traslocadas por la planta, lo que ha estimulado la creencia de la hormona florígeno y su interacción con los fitocromos. En la actualidad se conoce la participación de los fitocromos en la floración, anotándose que los de tipo I (*phy A*) participan como estimuladores y los fitocromos del tipo II (*phy B, C, D, E, F*) como inhibidores. Estudios genéticos profundos han demostrado la existencia de genes específicos envueltos en la inducción floral, como se anota para el gen LEAFY el cual se asocia con la Giberelina (Araldi *et al* 2010).

Señalan esos investigadores que *“La GA aplicada en una planta en el estadio vegetativo puede activar su transformación al estadio floral, estimulando el mecanismo inductivo de las plantas de días largos (PDL). Numerosos trabajos muestran que la GA inhibe el florecimiento en plantas de días cortos (PDC).”* Investigaciones realizadas por Alexander (1973a) demostraron que la GA inhibió la floración de la caña de azúcar. Se cree que la GA endógena puede ser significativamente reducida por las sustancias florales producidas en la etapa de floración. Cita la literatura que se ha comprobado que el ápice floral contiene de 8-9 veces más porcentaje de GA que los ápices vegetativos.

En varias especies vegetales las Auxinas actúan inhibiendo la floración, lo cual en PDC ocurre antes de que la transferencia del florígeno desde la hoja se complete, luego de lo cual ocurrirán efectos de promoción marginales (Salisbury y Ross 1994). De igual forma, se ha encontrado que las Citocininas y las Giberelinas tienen efecto positivo en la inducción de la floración para ciertas especies dependiendo de las concentraciones que se empleen. Este tema debe ser virtud de su complejidad abordado y desarrollado con mayor especificidad.

Afectación de la calidad agroindustrial

En términos productivos y económicos la floración es en la caña de azúcar un estado indeseable y perjudicial, pues hay un incremento en el consumo de energía metabólica por la respiración, utilizando el azúcar para la formación de panículas en lugar de almacenarla en forma de sacarosa en los tallos de la planta. Ese consumo de sacarosa provoca la pérdida

de humedad en los entrenudos estimulando el fenómeno conocido como encorchamiento (isoporização en portugués). Se anotan adicionalmente otros cambios fisiológicos, como son: modificaciones en la distribución del agua, redistribución de nutrimentos orgánicos e inorgánicos, reducción de las reservas de carbohidratos en función del grado de encorchamiento que aparece luego de la floración; también se ha reportado excreción de N y K a través del sistema radicular.

Se ha observado y asociado que años en donde la intensidad de la floración es alta, ocurre reducción en el peso de los tallos, hay una menor densidad de la caña y un mayor contenido de fibra, lo cual es explicado por el encorchamiento de los entrenudos de la sección apical del tallo, lo que provoca la pérdida de volumen de jugo y azúcares; la producción de bagazo se ve incrementada. Se tiene por demostrado, que aquellas variedades que florecen el contenido de fibra en los entrenudos superiores, por lo general los seis primeros, es mayor.

La floración influye sobre la producción del azúcar, la cual se ve disminuida debido a que la planta utiliza gran parte de la energía disponible (carbohidratos y sacarosa) y acumulada en sus tallos para la formación de la inflorescencia, disminuyendo con ello su rendimiento industrial. La intensidad del proceso es de naturaleza varietal (Figura 10).



Figura 10. La floración impacta negativamente los rendimientos agroindustriales

Se reporta adicionalmente como resultado de la floración y el encorchamiento de los tallos, la presencia en cantidades importantes de fibrillas suspendidas en el jugo de baja transparencia que no sedimentan y pueden aparecer en el azúcar final; o en su caso, provocar taponamiento en las centrifugas de separación. Complementariamente, puede producirse un tipo de bagazo de baja densidad y con dificultades para la imbibición y la quema en calderas, induciendo una menor extracción y recuperación de sacarosa en la fábrica; además de un material con mayor humedad y menor poder calorífico.

El encorchamiento ocurre por causa de la deshidratación de los tejidos del tallo, los que adquieren de manera gradual coloración blanca esponjosa (Figura 11). Este fenómeno inicia en las partes internas del tallo y puede llegar a su periferia según sea su intensidad; el recorrido del proceso va de la punta hacia la base del tallo. En condiciones secas el corcho ocupa buena parte del tallo, conteniendo poco jugo, lo que provoca cuando se procesan en el ingenio, más fibra, bajos rendimientos industriales y menos azúcar recuperable.

De acuerdo con Larrahondo y Villegas (1995), *“El efecto de la floración en el rendimiento de azúcar y en el peso de la caña, depende de la edad del cultivo y de la intensidad de aquella. En condiciones ambientales favorables, la producción es menor cuando la floración ocurre en plantas aún jóvenes; pero si la floración ocurre cuando la planta se encuentra en periodo de maduración, las pérdidas en el peso son mínimas y el rendimiento en azúcar puede, inclusive, aumentar ya que al cesar el crecimiento del tallo se favorece la acumulación y el almacenamiento de sacarosa. Sin embargo, el periodo de tiempo entre la floración y la cosecha debe ser corto para evitar la formación de médula corchosa y la inversión de la sacarosa.”*



Figura 11. Presencia de corcho en los tallos de la planta de caña de azúcar.

Es importante considerar para evitar confusiones al interpretar información y realizar observaciones de campo, que algunas variedades de caña pueden presentar formación de corcho (tejido deshidratado y muerto) en sus tallos, apenas superada la fase de inducción de floración, aún sin tener aparición de la panícula; como también, hay variedades que aun floreciendo no presentan corcho limitante. El corcho no contiene jugo ni sacarosa recuperable en cantidades industrialmente interesantes, lo que convierte su cosecha, transporte y procesamiento en una inversión inútil para la industria y poco rentable para la empresa. La interpretación no es normativa, sino circunstancial.

Esta particularidad es muy valorada, apreciada y calificada al momento de seleccionar y liberar clones potencialmente promisorios para uso comercial en los programas de mejora genética. Pese a todo, la formación de corcho está íntimamente ligada a la floración, motivo por el cual los productores de caña muestran aversión a su presencia en sus plantaciones. Al detenerse el crecimiento de los tallos y no emitir nuevas hojas, es positivo que la concentración de sacarosa puede en el corto plazo incrementarse, aunque en el largo plazo hay menos biomasa y aumentos de fibra, lo que resulta industrialmente contraproducente.

En experimentos de campo, Arrivillaga (1988) determinó que una planta de caña que florece en un 35% de sus tallos, puede perder de 15 a 20% de su rendimiento normal de azúcar (t/ha). De acuerdo con Chaves (1982), en Hawái encontraron que *“...la caña con un 35% de floración podía perder de 2 a 3 toneladas del azúcar del rendimiento normal de 14 toneladas.”*; mientras que *“...en México, han comprobado una disminución del 30% en el rendimiento del azúcar, comparando tallos floreados de la variedad Co 421 con médula en los entrenudos superiores, con otra de poca médula.”*

Señala Subirós (1995), que *“En trabajos realizados en Hawaii, se ha observado que tallos con floración entre 26% y 36% redujeron el contenido de sacarosa entre 5 y 7,5 t/ha. Por el contrario, cuando se inhibió la floración, se obtuvieron ganancias en sacarosa cercanas a las 5 t/ha (ciclo entre siembra y cosecha de 22 meses). En otros estudios efectuados en Barbados con sustancias inhibidoras del proceso se alcanzaron aumentos en la producción*

de caña de 56,6% y 33,8%; en producción de sacarosa 69,1% y 35,4% respectivamente, en ambos casos en caña planta (plantilla o siembra nueva) y retoño.”

Asegura Chaves (1982), al abordar y desarrollar el tema, que *“Algunos de los efectos de la floración en el desarrollo son los siguientes:*

- *Reducción evidente de la absorción radical.*
- *Reducción en el abastecimiento de carbohidratos.*
- *Excreción de N y K por la raíz.*
- *Reducción marcada en la velocidad de la actividad fotosintética.*
- *Muerte de las hojas inferiores.*
- *Distribución retardada de nutrientes.*
- *El desarrollo terminal se detiene.*
- *Hay emisión de brotes laterales (lalas).*
- *Formación descendente de médula en el tallo.*
- *Ocurre deshidratación de los tejidos.*
- *Se presenta una baja recuperación en el azúcar en el ingenio.”*

Con la diferenciación de tejidos y emergencia de la inflorescencia ocurre el brotamiento de las yemas laterales (lalas), lo cual se da por inhibición en la producción y distribución de la fitohormona Auxina a lo largo del tallo. La Auxina es responsable de inhibir la germinación y mantener en latencia las yemas laterales para favorecer el crecimiento longitudinal del tallo, proceso conocido como dominancia apical. La germinación de esas yemas requiere de energía metabólica, la cual proviene y se toma a partir de las reservas de sacarosa acumulada en el parénquima del tallo, lo que provoca su pérdida.

Subirós (1995) cita tres implicaciones: *“1) El gasto de energía que involucra el proceso (la energía es tomada del tallo en forma de sacarosa cuando esta se invierte), 2) la formación de “corcho” que disminuye el peso del tallo y reduce la recuperación de sacarosa durante el procesamiento y 3) la formación de “lalas” (brotación de yemas laterales) en el último tercio del tallo, como consecuencia de la pérdida de dominancia apical. Esto ocasiona una disminución en la calidad de los tallos y además implica un gasto de energía adicional.”*

Floración de la caña de azúcar en Costa Rica

La condición de floración de las variedades empleadas comercialmente en la actualidad en Costa Rica es muy variable, como puede comprobarse a partir de la caracterización expuesta en el Cuadro 7, la cual viene condicionada por la heterogeneidad de los diferentes entornos productivos existentes y la diversidad genética de origen de los principales materiales sembrados.

Las 47 principales variedades de uso comercial en Costa Rica se clasifican y ubican en dicho cuadro en tres categorías amplias de floración, de acuerdo con los antecedentes de cultivo que han mantenido en cada región productora; siendo las mismas: a) con más del 80% de floración, b) con menos del 70% y c) con menos del 10% de presencia de flor.

Cuadro 7.
Grado de floración promedio de las 47 principales variedades sembradas comercialmente en Costa Rica.

Región productora	Altura* (msnm)	Grado de floración **		
		+ 80%	- 70%	- 10%
Guanacaste	0-200 ¹	CP 72-1210, Mex 79-431	CP 72-2086, NA 56-42, NA 85-1602, RB 86-7515, SP 81-2068, SP 81-3250	B 80-689, B 83-333, CC 01-1940, LAICA 00-301, LAICA 07-309
	0-200 ²	CP 72-1210, CP 72-2086, NCo 376	Mex 79-431, NA 56-42, SP 70-1284, SP 81-3250	B 80-689, B 83-333, LAICA 00-301, RB 86-7515
Pacífico Central	0-400	CP 72-1210, CP 72-2086, CP 88-1696	CP 80-1743, RB 86-7515, SP 81-3250	B 82-333, NA 85-1602
Zona Norte	30-700	Q 96, Q 132	B 76-259, B 76-385, LAICA 01-604	B 77-95, PR 80-2038, SABORIANA
Valle Central	650-1.370	LAICA 04-10	B 86-7515, Mex 79-431, Q 96, SP 71-3149	B 77-95, H 77-2545, LAICA 07-09, LAICA 07-20, LAICA 07-26, LAICA 08-22, RB 73-9735, SP 78-4764
Zona Sur	180-880	CP 87-1248	B 76-259, LAICA 04-809, LAICA 04-825, LAICA 05-805, Q 96, SP 71-5574	RB 98-710, RB 99-381
Turrialba - Juan Viñas	480-1.550		B 76-385, B 77-95, H 61-1721, PINDAR, Q 96	B 76-259, LAICA 04-250, H 68-1158, H 74-1715, H 77-2545, H 77-4643

* Chaves (2017) ** Información aportada por los técnicos regionalizados de DIECA.

^{1/} Abangares, Bagaces, Cañas

^{2/} Carrillo, Liberia, Nicoya, Santa Cruz

El resultado (Cuadro 7) indica para esas condiciones que un 16,44% se ubicó en la primera categoría, un 42,46% en la segunda y el 41,10% restante floreció menos del 10%. Se demuestra asimismo, que es en la zona más baja (0-400 msnm) donde hay mayor floración y las localidades cañeras de mayor altitud (480-1.550 msnm) donde ocurre menos floración. Hay clones que varían su condición floral dependiendo de la localidad y ubicación geográfica donde estén cultivados.

Información recolectada y proveída por el Programa de Variedades de DIECA y anotada en el Cuadro 8, sobre 45 clones importados en el año 2010 de la sigla CP (Canal Point, EUA), sembrados en la Estación de Cuarentena abierta situada en la Estación Experimental “Los Diamantes”, en Guápiles, Limón, a 268 msnm, demuestra polarización en su disposición a florear, pues un 44,4% de los mismos floreció menos del 25% y un 37,8% fue superior al 76%. Se infiere de esa información que el 57,7% de los clones presentó un grado de floración inferior al 50%.

Cuadro 8.
Floración de clones de sigla CP en Guápiles, Limón.

Escala % de floración	N° Variedades	%
0 - 25	20	44,4
26 - 50	6	13,3
51 - 75	2	4,4
76 - 100	17	37,8
Total	45	100

Fuente: DIECA (2011).

De manera adicional se presenta en el Cuadro 9 el resultado de una evaluación similar realizada a 45 clones brasileños pertenecientes a la sigla RB, sembrados en terrenos de Coopevictoria R.L., en la localidad de Grecia, Alajuela a 998 msnm. En este caso un 15,5% no tuvo flor mientras que un 33,3% fue superior al 76%; solo el 39,8% de los clones presentó un grado de floración inferior al 50%.

Cuadro 9.
Floración de clones de sigla RB en Grecia, Alajuela.

Escala % de floración	N° Variedades	%
0	7	15,5
1 - 25	3	6,6
26 - 50	8	17,7
51 - 75	12	26,6
76 - 100	15	33,3
Total	45	100

Fuente: DIECA (2011).

Al integrar y capitular algunos de los asuntos comentados y tópicos analizados anteriormente, es posible ubicar algunos elementos importantes para establecer el posible periodo en que podría darse la diferenciación de tejidos y con ello el estímulo floral en el país, como son los siguientes:

- 1) Costa Rica se ubica entre los 8 y los 11 grados de latitud y 82° a 85° longitud oeste en el hemisferio norte del continente.
- 2) Los **solsticios** son eventos en los cuales el Sol alcanza su punto más alto o más bajo del año en el cielo y la duración del día o de la noche son las máximas del año, respectivamente. Solsticio es un término astronómico relacionado con la posición del Sol en el ecuador celeste. En un año en el hemisferio norte ocurren dos solsticios: el **solsticio de verano** el 20 o 21 de junio y el **solsticio de invierno** el 21 o 22 de diciembre, lo que se traduce en los días y noches más largas, respectivamente; en consecuencia, en junio se tienen las noches más cortas y en diciembre los días más cortos. Para el año 2017 el solsticio de verano ocurrirá el día 21 de junio a las 04:24 horas y el de invierno el 21 de diciembre a las 16:28 horas (Wikipedia 2017b).
- 3) Por su parte el **equinoccio** tiene lugar dos veces al año, es el momento del año en que el día y la noche tienen la misma duración debido a que el Sol se encuentra sobre el Ecuador del planeta. El **equinoccio de primavera**, ocurre entre el 20 y el 21 de marzo; en el hemisferio norte, a partir del cual en cada día el número de horas de luz continua en aumento, y todos los días tienen más de 12 horas de luz y

comienza la primavera en el hemisferio Norte. En el hemisferio sur ocurre a la inversa, las horas de sol continúan menguando, y todos los días tienen menos de 12 horas, y comienza el otoño. El **equinoccio de otoño** ocurre entre el 22 y el 23 de septiembre, marca un punto en que el día y la noche duran 12 horas. El día y la noche tienen el mismo número de horas en todos los lugares de la tierra. El equinoccio es el evento astronómico que marca el inicio de la primavera y del otoño, dependiendo del hemisferio en que nos encontremos. Es decir, que si nos encontramos en el hemisferio norte, el equinoccio de marzo marcará el inicio de la primavera, y el de septiembre, el del otoño. Mientras que si estamos en el sur, el equinoccio de marzo marcará el inicio del otoño y el de septiembre, el de la primavera. En los días del equinoccio, los dos polos terrestres se encuentran a una misma distancia del Sol, de lo que resulta que la luz proyectada sobre la Tierra es igual para ambos hemisferios.

- 4) El equinoccio se diferencia del solsticio en que es el momento en que la noche y el día tienen la misma duración, esto se debe a que el sol alcanza su cenit, es decir, el punto más alto en el cielo, a 90° de la posición de una persona ubicada en la Tierra. El equinoccio marca por su parte, el inicio de la primavera y el otoño, entre los días 20 y 21 de marzo, y 22 y 23 de septiembre.
- 5) A partir del 21 de junio y con el transcurrir del tiempo, que implica 184 días (6 meses), los días se hacen más cortos y las noches más largas hasta el día 21 de diciembre. Es en ese periodo de tiempo cuando ocurre el estímulo e inducción floral, la diferenciación de tejidos, la formación y organización floral y la emergencia de la panícula.
- 6) Es conocido que la floración y emergencia de la panícula en las plantaciones comerciales de caña en el país se da en octubre y hasta finales de diciembre o inicios de enero. Los meses de octubre y noviembre muestran máxima floración.
- 7) Se presume con buen criterio que el periodo inductivo de diferenciación floral se da entre julio y mediados de agosto. Al respecto, las observaciones realizadas por Subirós (1995) entre 1991 y 1993 en la zona de Carrillo, Guanacaste, acreditan que el periodo inductivo podría presentarse en esa región particular poco después del

21 de junio. Sin embargo, conociendo que en otras regiones productoras de caña como la Zona Norte (San Carlos y Los Chiles), Turrialba-Juan Viñas y el Valle Central, las cosechas de plantaciones comerciales llegan hasta el mes de junio, esta observación no podría ser válida para otras localidades productoras. Esta materia debe sin embargo investigarse y verificarse en el laboratorio a nivel de tejidos, para tener total certeza del o los periodos de inducción floral y diferenciación meristemática.

- 8) Para que la floración ocurra es necesario que los tallos se encuentren en una condición de madurez fisiológica adecuada, no en estado de fase juvenil, por tanto superior a 4-5 meses de edad.
- 9) Conocidos los estados lumínicos con potencial de inducción floral y sabiendo que el periodo de cosecha de la caña en Costa Rica dura cerca de 200 días (Chaves *et al* 2015), iniciando en el mes de diciembre en Guanacaste y finalizando por lo general en Junio en Juan Viñas, Cartago, es importante reflexionar sobre lo actuado en materia de edad de cosecha de las plantaciones. Cabe válidamente preguntarnos ¿Si la inducción floral se da entre julio y agosto que acontece con aquellos tallos cortados de manera temprana o tardía? ¿Qué factor adicional, favorable o desfavorable, incorpora que esas variedades sean altamente sensibles a florear? ¿Es presumible esperar entonces una pérdida de tonelaje y azúcar por inducción o restricción a la floración? ¿Hay conciencia y sobre todo se planifica en el manejo de plantaciones comerciales este factor al momento de sembrar y cosechar una determinada variedad de caña? La respuesta a estas inquietudes no resulta fácil en consideración de que en el asunto intervienen otros factores igual o más determinantes, como son: periodo de sequía en aquellas plantaciones donde no se dispone de riego, estrés hídrico y térmico, condición de maduración de la plantación a la cosecha; lo cual tampoco reduce la importancia del periodo cosecha-floración, anteriormente aludido.
- 10) Esta circunstancia debe conducir a procurar en lo posible no cosechar variedades con alta sensibilidad a floración de manera tardía en localidades bajas como

Guanacaste, pues ello le haría perder crecimiento potencial traducido en tonelaje por causa de la flor. Cabe preguntarse asimismo ¿Cuánto rendimiento agroindustrial podría estarse perdiendo en el país por esta razón? ¿Podría ser esta una de las razones que contribuyen a nuestra baja productividad agroindustrial? El tema debe revisarse.

- 11) El cultivo de la caña destinado a la fabricación de azúcar se encuentra ampliamente disperso por todo el territorio nacional, ubicándose geográficamente en latitudes extremas de $11^{\circ} 01' 57''$ norte en el distrito de Los Chiles y más baja de $09^{\circ} 01' 05''$ norte en la localidad cañera de Potrero Grande, ambas pertenecientes a los cantones de Los Chiles, provincia de Alajuela y Buenos Aires, provincia de Puntarenas, respectivamente. Las longitudes extremas se ubican por su parte entre las coordenadas $85^{\circ} 38' 56''$ oeste en el distrito de Sardinal y $83^{\circ} 10' 40''$ oeste en Potrero Grande, pertenecientes a los cantones de Carrillo de Guanacaste y Buenos Aires de Puntarenas, respectivamente (Chaves Solera 2017).
- 12) En materia de altitudes se reportan plantaciones a 0 msnm en los distritos de Puntarenas y Chomes, provincia de Puntarenas; y más elevadas próximas a 1.550 msnm en la sección alta de Juan Viñas, con cercanía al distrito de Pacayas de Alvarado en Cartago. Vale también cuestionarse ¿Es diferente el grado de floración según la ubicación geográfica de la localidad cañera en el país?
- 13) Es predecible y aceptable virtud de las significativas y manifiestas diferencias existentes entre localidades cañeras en cuanto a factores bióticos (variedades) y abióticos (altitud, elementos del clima), que hay importantes y manifiestas diferencias en lo concerniente al estímulo de floración entre zonas productoras.



Figura 12. Variedad de caña con alta floración en Costa Rica.

¿Qué hacer? ¿Cómo controlarla?

Una revisión superficial de literatura es suficiente para comprobar cómo por muchos años se ha buscado técnica y científicamente identificar y consolidar métodos viables, factibles y efectivos para procurar impedir y controlar comercialmente la floración de la caña de azúcar; especialmente cuando aplicados durante el periodo crítico de inducción floral. Se ha incluido entre ellos la lógica y razonable interrupción artificial del periodo oscuro utilizando iluminación artificial, como también aplicando suspensión oportuna del riego, mediante el control de la temperatura, utilizando reguladores y hormonas vegetales, así como mediante la defoliación mecánica y química de la planta, entre otros de potencial cuestionable. La capacidad real de poder cumplir con ese objetivo es variable y relativa de acuerdo con el entorno y las condiciones edafoclimáticas existentes; razón justa por la cual no hay ni pueden esperarse absolutismos y resultados directos en este asunto.

Luz y fotoperiodo:

Como quedó suficientemente explicado el período de oscuridad tiene una participación importante en la respuesta fotoperiodica de la planta de caña, ya que una interrupción de la noche inhibe la floración de las PDC y estimula el de las PDL.

La interrupción del periodo oscuro inhibe totalmente la floración. La inhibición acontece pasada la inducción con 10 interrupciones con luz como mínimo, aplicadas al final del periodo oscuro, sin importar el grado de desarrollo que tenga la inflorescencia. Según la literatura, es posible que el fitocromo detecte la luz, dependiendo su eficacia del tiempo de estímulo de la irradiación. Pese a todo, la mayoría de estudios sobre el tema se concentran en ubicar las características de longitud del día que favorecen e inducen el proceso.

Para fines comerciales el método es un tanto ortodoxo y poco viable, pese a lo cual es de potencial interesante para fines de mejora genética por la vía sexual; estando actualmente en valoración la posible implementación de un proyecto nacional con ese fin, mediante la construcción y operación de una Cámara de Fotoperiodo o Floración. Se pretende con esta medida inducir floración en variedades de alto valor genético que poseen baja flor, como acontece con los clones B 77-95, B 80-689, B 83-333, CC 01-1940, H 68-1148, NA 85-1602, PR 80-2038 y SP 78-4764, entre otros, como se anota en el Cuadro 7.

Genético:

Esta opción resulta ser la más fácil, efectiva y económicamente menos onerosa virtud de ser la no floración una propiedad intrínseca de la variedad que no implica ni conlleva inversiones y labores especiales; aunque no necesariamente la más rápida, pues involucra disponer de un programa de prueba, selección y validación de clones promisorios sea generados por la vía sexual y/o asexual (Chaves 2016).

Como se anotó oportunamente, un clon apropiado para uso comercial no necesariamente debe carecer en absoluto de flor; pues lo industrialmente importante es que no presente médula en el tercio superior del tallo que eleve su contenido de fibra, afecte industrialmente la calidad de los jugos y limite la recuperación de sacarosa en la fábrica. Esto significa que pueden cultivarse clones que aunque floreen no presentan problemas de encorchamiento que les impida alcanzar concentraciones rentables de sacarosa. Esta opción es para el caso nacional la alternativa más viable y recomendada y sobre la que se debe trabajar intensamente.

La siembra de variedades comerciales de caña altamente floreadoras se recomienda en localidades altas, nubosas, que tengan temperaturas bajas y más frías, y que dispongan preferiblemente de un periodo seco incitador de estrés hídrico previo al periodo de inducción floral. La siembra de las mismas en zonas bajas, sin irrigación y dependientes de la precipitación, pareciera mejor y más recomendable planificar las épocas de siembra y cosecha y valorar el empleo de reguladores químicos para limitar floración.

Riego:

La humedad contenida en el suelo es determinante para la floración, por lo cual eliminar el riego antes y durante el periodo de inducción reduce la emisión de flor. De acuerdo con la práctica agrícola se recomienda restringir el uso del agua entre 30 y 45 días previos al inicio de la inducción floral, reiniciándola luego de superado el mismo. Con esta medida resulta obvio esperar una reducción del tonelaje, que será sin embargo, menor al inducido por el impedimento del crecimiento provocado por la floración.

Según Chaves (1982), *"...en Hawái, se logró aumentar el rendimiento de 1,7 a 3,7 toneladas (de azúcar) por hectárea al impedir la floración, suspendiendo los riegos durante 40 días.* Corrales (1984) expresa sobre el mismo tema, que *"La imposición de una moderada sequía es una medida usada para prevenir la floración."*

Señala Castro (2016) al respecto, que *".., en Hawái, la irrigación se suspende antes o durante el periodo de fotoinducción, evitando de esa manera la floración. En este caso, probablemente, el movimiento de sustancias metabolizadas de varias partes de del vegetal para el ápice es afectado."*

Este método resulta aplicable solo en localidades con veranos prolongados o con muy bajos índices en precipitación que permitan controlar, manejar y dosificar el agua, pues la presencia de lluvias antes (30-45 días) o durante el periodo de inducción, provocara la ruptura y pérdida del efecto inhibitor favorecido por el estrés hídrico.

En consideración del impacto negativo que podría eventualmente generar un uso inconveniente del agua y/o un exceso del estrés hídrico provocado intencionalmente, este

método involucra una supervisión permanente de la plantación y un manejo muy cuidadoso de los factores involucrados, entre los que están: 1) certeza de las fechas de ocurrencia del periodo de inducción floral, 2) información y disponibilidad de datos climáticos apropiados y certeros, 3) conocimiento de las condiciones de evapotranspiración de la localidad, 4) caracterización textural de los suelos, 5) conocimiento de la capacidad de retención de agua de los mismos y 6) conocimiento de la variedad sembrada en cuanto a edad, crecimiento y profundidad de raíces, entre otras. También se debe tener evidencia de la disponibilidad de equipo y agua suficiente que cercioren el retiro y la aplicación oportuna y homogénea que aseguren un efecto uniforme.

Químico:

Con el objeto de disminuir la floración en la caña de azúcar se han utilizado comercialmente y reporta investigación con materiales de diferente naturaleza, como son los defoliantes, quemantes, inhibidores de metabolismo y reguladores vegetales para evitar la diferenciación de tejidos y la iniciación floral, con resultados muy variables en cuanto a efectividad, dosis, momento y número de aplicaciones. El empleo de reguladores vegetales está tomando mucho auge en localidades cañeras de baja altitud (msnm), limitadas o carentes de irrigación y dependientes por ello de la precipitación local.

Entre los productos mencionados por la literatura pueden citarse el ANA (ácido naftalenoacético), la hidroquinona, el pentaclorofenol, la hidrazida maleica (MH) adicionada a la Giberelina, el nitrato de cobalto, el catecol, los conocidos y tradicionales glifosato, glifosina, etephon, ethrel, monurón, diquat, diurón y paraquat, y en fases avanzadas de investigación el fluazifop-butil y el sulfometuron-metil, entre otros (Humbert 1974; Lee *et al* 1985; Rodriguez 1995; Araldi *et al* 2010; Moore y Berding 2014; Castro 2016).

Algunos de esos productos como es el caso del herbicida paraquat del grupo Bipiridilo son de uso restringido en Costa Rica, cuya venta y uso debe darse solo bajo receta profesional, de acuerdo con el Decreto Ejecutivo N° 33319- SMAG-TSS-MINAE del 24 de diciembre del 2007 (La Gaceta N° 247); la aplicación aérea de ese producto tiene limitaciones. El preservante Pentaclorofenol (HxCDD) del grupo de los Organoclorados tiene prohibición de

uso según el Decreto N° 27773-MAG-STSS del 13 de abril de 1999 (La Gaceta N° 70). El regulador de crecimiento etileno o ethephon perteneciente al grupo de los Órgano Fosforados tiene prohibición de uso en el cultivo del café, no así en la caña de azúcar, lo cual dicta el Decreto Ejecutivo N° 27768-MAG-S del 13 de abril de 1999 (La Gaceta N° 70). Debe prestarse especial importancia a la naturaleza química, forma de aplicación y posibles impactos de los productos empleados sobre la salud humana y el ambiente.

Es importante mencionar que con la aplicación de estos productos no se busca destruir la yema apical, sino solo detener su desarrollo, evitando con ello que la yema floral de lugar a la formación y emisión de la panícula, lo que significa un gasto importante de energía metabólica que no se traduce ni favorece la transformación de azúcares reductores en sacarosa. Intervenir la división celular significa una reducción en el consumo y un ahorro importante de energía metabólica para la planta. Posterior a la aplicación y una vez recuperada la plantación, lo que se estima ocurre entre 15 y 20 días después, los procesos de división celular y crecimiento se reactivan dando lugar a la formación de nuevos entrenudos, tallos de mayor tamaño y peso. Como es de esperar en este caso, las fases de reducción inicial y reactivación diferencial posterior del crecimiento, favorecen la expresión de tallos de crecimiento discontinuo y heterogéneo en cuanto al tamaño de sus entrenudos, lo que es verificable en el campo como prueba fehaciente del momento en que se aplicó el madurante a la plantación.

El empleo de sustancias inhibidoras de floración viene siendo uno de los mecanismos más prácticos, aunque aún de efectividad y consistencia variable en sus efectos. Las ventajas que ofrecen son variadas al intervenir adicionalmente sobre la maduración de la planta, entre las que destacan las siguientes: 1) hay un incremento significativo en la calidad de los jugos traducido en una mayor concentración del brix, el pol y la pureza, y con ello en los contenidos de sacarosa en la planta, 2) la recuperación de azúcar en la fábrica se incrementa significativamente, 3) favorecen la cosecha de plantaciones en condiciones adversas a la maduración natural, 4) permiten nivelar y ajustar la maduración igualando su condición y disposición de las plantaciones para cosecha, 5) la eficiencia del cortador manual y los equipos de cosecha mecánica se maximiza y optimiza al recuperar más sacarosa en la misma

unidad de tiempo (hora), peso (tonelada) y extensión (hectárea), 6) hay una menor cantidad de basura (*trash*) que dinamiza y agiliza la corta de tallos, 7) la quema para cosechar se torna más efectiva al existir menos material vegetal que incinerar, 8) al tener mayor concentración de sacarosa en los entrenudos superiores, el corte de los tallos puede elevarse, 9) la planificación y organización de cosecha se ve favorecida y facilitada y 10) la relación beneficio - costo es positiva lo que genera un retorno económico favorable.

La utilización de reguladores vegetales en el cultivo de la caña de azúcar viene mostrando con el tiempo gran interés y relevancia, manifestado por un incremento importante en su empleo a nivel mundial. Es también conocido que la temperatura, el fotoperiodo, el estado de la nutrición, la humedad del suelo y del ambiente, la edad y el estado de desarrollo vegetativo del cultivo, influyen y determinan en alto grado la eficiencia de los reguladores vegetales.

El ethephon (ácido 2-cloroetilfosfónico) ha mostrado buenos resultados al ser empleado con diferentes propósitos en la agricultura, los cuales en el caso de la floración se han traducido en mayor número de internudos, una mayor altura y más peso de tallo, reducción del tejido corchoso y mejora integral en la calidad de los jugos. A este método se le da como ventaja adicional que no inhibe el crecimiento de la caña luego de su aplicación. Cita Subirós (1995) haber reducido en Guanacaste, Costa Rica, con aplicaciones de ethephon la floración y el corcho en la variedad NCo 310, no así en la CP 72-2086, la cual mostró menor sensibilidad al producto.

Sobre este mismo producto, agrega el mismo Subirós (1995), que *“El ethephon se ha utilizado con mayor frecuencia durante los últimos años con este propósito, lo que permite una mayor flexibilidad para la aplicación sin que su eficacia sea alterada y resulte menos fitotóxico para el cultivo. Este producto es un regulador de crecimiento y posee la propiedad de que la planta lo absorbe rápidamente, liberando etileno en el tejido vegetal. La acción del etileno provoca un amarillamiento temporal en el follaje, el cual desaparece alrededor de los 8 días; transcurridos 15 días, continúa el crecimiento normal. No se ha observado*

ningún efecto residual negativo en la cosecha siguiente; por el contrario, parece que estimula el retoño de la cepa que recibió el tratamiento.

La dosis debe ser suficiente (entre 1 a 1,5 l/ha de producto comercial, alrededor de 480 g a 720 g i.a. por ha), solamente para paralizar el desarrollo del meristemo y reiniciar luego el crecimiento. No debe existir estrés hídrico, problemas de nutrición o excesiva temperatura porque su efecto se reduce. En medio alcalino se descompone el producto dando origen al etileno, al cloruro y al fosfato, por lo que el pH de la solución debe ser regulado.”

En referencia al posible efecto provocado por el ethephon para evitar la floración de la caña de azúcar, señala Castro (2016) que accionando el producto como liberador de etileno, se promueve una mayor respiración, aumentando con ello el consumo de material fotosintetizado, disponiendo una menor cantidad de material para estimular la floración cuando aplicado poco antes del periodo de inducción floral.

Aseguran Morales *et al* (2015) en torno a la importancia de la variedad de caña tratada, que *“La respuesta a la inhibición de la flor y si ésta será favorable en la producción, no se puede generalizar, debido a que el factor genético es fundamental, por lo que las recomendaciones para inhibirse, se deben de basar en la variedad, las condiciones de clima en el mes de inducción, el mes de corte y condiciones de suelo y humedad que puedan causar un efecto de estrés al cultivo.”*

Cita Castro (2016) que en Brasil la pulverización con diquat (2 l/ha) causó necrosis en las hojas apicales e inhibió la floración de la caña. Aplicaciones con ethrel 240 (2 l/ha) fueron efectivas en restringir por su parte el florecimiento de la planta de caña.

La eficacia del tratamiento inhibitor se asocia directamente a factores como: 1) ubicación geográfica de la plantación, 2) conocimiento de la fecha de inducción y de floración, 3) edad y condición del cultivo, 4) momento correcto de la aplicación, 5) condiciones del clima prevalecientes durante la aplicación, 6) ingrediente activo y dosis aplicada y 7) método de aplicación empleado que asegure homogeneidad, entre otros. En la medición de eficiencia se consideran adicional y complementariamente otros efectos importantes, como son: consistencia en el incremento y mejora en la calidad de los jugos, efecto madurante

inducido, daños y perjuicios colaterales provocados a la plantación y características agronómicas del cultivo.

Por su naturaleza química e ingredientes activos involucrados, este tipo de productos presenta un riesgo potencial que no puede ser desconocido ni obviado, sino con responsabilidad prevenido, atendido y resuelto, lo cual obliga a tener control sobre elementos determinantes, como son: a) el producto, la dosis empleada y la hora de aplicación, b) la calibración del equipo (aéreo) utilizado, c) la destreza del aplicador, d) las condiciones del clima prevalecientes (humedad, viento, luz) antes y durante la aplicación, e) el momento fenológico de la aplicación pues se debe conocer con exactitud lo concerniente a la diferenciación de tejidos, f) las características de la plantación principalmente en cuanto a topografía evitando heterogeneidad en la aplicación, g) que la variedad sembrada sea sensible y responda al producto, h) conciliar tipo y naturaleza de producto empleado con el momento de aplicación, lo que implica por lo general de una a dos semanas previas al inicio de la diferenciación de tejidos e i) evitar aplicaciones que puedan afectar fuentes hídricas, poblaciones o animales, la prudencia debe prevalecer.

Fertilización:

Con enfoque particular al Nitrógeno y en asocio directo con el riego. Este factor es importante en el caso de variedades de muy temprana floración y maduración; en condiciones normales se considera que el N adicionado aún en altas dosis (modifica la relación C/N) ejerce poca influencia; aunque adicionado en el periodo inductivo preciso puede reducir la floración. Se ha reportado (Corrales 1984) que dosis altas de N en cañas inmaduras inhibieron la floración, lo que no sucedió con las cañas maduras; sugiriendo fraccionar (hasta tres) las aplicaciones, lo que si inhabilitó el proceso de floración, con alta dependencia de la variedad sembrada. En general se ha observado que cuando se combinan altas dosis de N con la suspensión oportuna del riego en el periodo adecuado, la floración disminuye significativamente.

Eliminación de hojas y cogollo:

Uno de los métodos antiguos y empleado en La India para controlar floración era mediante la supresión de las hojas del cogollo (hojas 0 y -1) en un momento crítico determinado; lo cual venía muy vinculado con la latitud, la fecha de iniciación floral e inicio de la floración del clon. Al eliminar esas hojas la floración se reduce y/o retrasa significativamente la salida de la inflorescencia. La supresión de las hojas más jóvenes en el momento oportuno ha demostrado que puede mantener la planta en fase vegetativa.

El corte de todo el cogollo y con ello de la yema apical conduce a que la planta pierda su dominancia apical (Auxina) y control sobre el crecimiento de los múltiples meristemas laterales que posee, induciéndola a retomar rápidamente la división celular y el desarrollo de esos tejidos, generando con ello un mayor gasto energético destinado a ese fin que será proveído por los azúcares reductores contenidos en la planta, manifestado en la consecuente pérdida de riqueza en sacarosa, lo que se torna muy negativo. El corte del cogollo o palmito sobre la yema apical, no debajo de ella, en la sección superior de la planta, ha demostrado ser efectivo y tener también efectos supresivos y retardantes sobre la floración de la planta de caña.

En Costa Rica la defoliación de la planta de caña se utilizó antiguamente para inducir maduración de tallos, sobre todo en la producción artesanal de dulce, lo que no debe confundirse con lo anotado anteriormente.

Siembra escalonada:

Es otro método viable de control de floración que puede reducir en algún grado posibles impactos productivos negativos. Implica conocer los ciclos de diferenciación de tejidos y maduración de las variedades, de tal manera que la edad de cultivo y/o cosecha provoquen que el periodo de inducción floral corresponda a una etapa de inmadurez vegetativa, por lo general inferior a tres meses, que límite ese proceso. Por las características, temporalidad y duración de la zafra en el país; así como las condiciones abióticas del entorno productivo nacional, esta opción resulta difícil de conciliar y emplear, pese a lo cual es de esperar que

plantaciones cosechadas de manera tardía (mayo-junio) muy posiblemente tengan tallos en fase juvenil inmadura por tanto de baja sensibilidad a florear.

Inducción de la floración

Como se comentó ampliamente al inicio del presente documento, contrario al válido interés comercial del productor, quién busca evitar y/o reducir y minimizar la presencia de flor en sus plantaciones, surge el interés del mejorador genético por promoverla y favorecerla con el objeto de posibilitar el cruzamiento de clones valiosos sincronizando los órganos sexuales vinculados y contenidos en la inflorescencia.

La literatura menciona que para inducir la floración en la caña de azúcar se utilizan por lo general dos técnicas básicas asentadas en el uso de medios naturales y artificiales (Krishnamurthi 1978; Viveros 1990; Viveros y Cassalet 1993; Polo 2005; Silva *et al* 2013; CINCAE 2017), como se anota y explica seguidamente:

Inducción natural:

Se fundamenta en realizar un detallado análisis, valoración y contextualización geográfica considerando las características edafoclimáticas de aquellas localidades con microclimas que están próximas a zonas montañosas, o donde se conjetura con buen criterio técnico, que reúnen condiciones para favorecer la floración. Dicha valoración debe considerar de manera puntual y representativa indicadores básicos, como son: lluvia, temperaturas (máxima-mínima), luz (calidad y cantidad), velocidad del viento, humedad relativa ambiente; como también una caracterización de las propiedades físico-químicas más relevantes del suelo.

Una vez ubicado el lugar y comprobado su potencial, se procede a introducir las variedades con floración impedida o limitada en las zonas de producción comercial; las cuales deben disponer y contar como condición primordial, con características agronómicas y agroindustriales sobresalientes que determinen y justifiquen el interés para ser empleadas como progenitores en los cruzamientos por realizar. El método se basa en comprobar si el lugar y el microclima seleccionado es propicio para inducir la floración de la caña, aumentar

la fertilidad del polen y favorecer la formación de semilla botánica. Se le conoce también como fotoperiodo a campo abierto.

Como se infiere, el método es relativamente sencillo, poco oneroso, pero intenso en información y evaluación. Busca que las plantas de caña floreen en condiciones naturales sembrándolas en el suelo para luego una vez sincronizada la flor proceder con la hibridación controlada. Los ejemplos internacionales empleando este método son positivos, como acontece en el caso de Brasil con la **Estación de Floración y Cruzamiento de Serra do Ouro** (Figura 13), una de las dos principales del país, perteneciente a la Universidad Federal de Alagoas (UFAL) y ubicada en el municipio de Murici, Estado de Alagoas, cuyas coordenadas son 09° 13' latitud sur y 35° 50' longitud oeste. La precipitación media anual del lugar es de 2.363 mm, con temperaturas promedio mínimas de 18,2°C y máximas de 27,9°C; la Estación se sitúa a 34 km del litoral marítimo.

Sobre esta Estación Chaves (2014) comentó en el informe que rindiera como resultado de su visita al lugar en julio del año 2014, lo siguiente: *“ubicada en los alrededores de Maceió, capital del Estado de Alagoas, situada a una altitud promedio de 520 msnm. Dispone de 32 has de las cuales hay 7 has (21,9%) sembradas con caña y 25 has son bosque. El lugar está aislado, posee alta humedad relativa, es nuboso y las temperaturas son frías.*

Se le considera una Estación de floración y cruce variedades, que se encuentra bajo orientación y manejo de investigadores pertenecientes a la Universidad Federal de Alagoas (UFAL). En la misma se da el cruzamiento natural de los diferentes tipos de caña, en busca de identificar nuevas variaciones, así como lograr la incorporación de más resistencia y productividad agroindustrial; puede asegurarse que de aquí surgen muchas de las nuevas variedades del futuro brasileño y no apenas nordestino (Foto 15). De esta estación vinculada al grupo RIDESA, salen todas las semillas producto de los diferentes cruzamientos genéticos que son posteriormente distribuidas a los asociados para su evaluación y selección de campo. El proceso de hibridación genética ocurre entre los meses de abril y junio, cuando los investigadores de todas las universidades asociadas a RIDESA se trasladan para Alagoas.

De acuerdo con el Dr. Geraldo Veríssimo de Souza Barboza, Profesor de la UFAL y Coordinador del programa de la Estación Experimental: “Estudios científicos señalaron que existen aquí condiciones ideales para el profundo florecimiento de la caña, debido al clima y al suelo fértil. Estamos en la latitud ideal y con una temperatura perfecta, con una mínima de 18 grados y una máxima de 32°C”.



Figura 13. Estación de floración y cruzamiento de Sierra del Oro, Alagoas, Brasil.

Inducción artificial:

Se considera esta técnica como viable para ser empleada en aquellos países en donde la floración de la caña de azúcar en condiciones naturales es limitada o está impedida, debido a sus características agroclimáticas no idóneas para estimular esa propiedad. Países con amplio y reconocido antecedente positivo en hibridación de clones la utilizan, como es el caso de EUA, Australia, Guatemala, Cuba, Colombia, Ecuador, Brasil y Argentina, entre otros.

Para su implementación es necesario contar con instalaciones que permitan regular y manipular el fotoperiodo de acuerdo con las necesidades particulares de floración de la caña de azúcar. Tal como se comentó en el documento, la planta de caña requiere cerca de 120 días (4 meses) posteriores de la siembra con una iluminación que comience con 12 horas y 30 minutos de luz (11 horas y 30 minutos de oscuridad) y termine con 12 horas (12 horas de oscuridad). Esta inducción ocurre en condiciones artificiales pues en la naturaleza

20 días de inducción naturales es suficiente para que muchas variedades pasen del estado vegetativo al reproductivo. Es obligado tener presente que las necesidades de cierta cantidad de horas de luz (fotoperiodo) son particulares y tienen un carácter varietal, estando influenciadas por otras condiciones adicionales.



Figura 14. Planta de caña en su fase reproductiva.

Recomendaciones

No hay duda que el tema es complejo y muy importante desde varias perspectivas, que redundan en impactos productivos que una vez monetarizados resultan determinantes para el éxito empresarial, motivo por el cual resulta importante conocer y atender las siguientes demandas y recomendaciones:

- 1) Es necesario visualizar y atender el tema de la floración desde las dos vertientes obligadas: 1) la del genetista y promotor de nuevas y mejores variedades de cultivo que la desea y necesita, y 2) la del productor comercial que la evita pues lo afecta.
- 2) Es obligado promocionar, operar y conciliar ambas opciones mediante la investigación en sus áreas particulares y específicas de trabajo.
- 3) Se debe investigar con alto rigor científico a nivel de laboratorio y campo sobre la inducción floral y la diferenciación de tejidos meristemáticos.

- 4) Deben ubicarse en el tiempo y calendarizarse los periodos de inducción floral, diferenciación de tejidos y emergencia de la panícula.
- 5) Es necesario conocer para cada región productora y variedad cultivada los periodos de inducción floral, diferenciación de tejidos, emergencia, características y duración de la panícula.
- 6) Deben investigarse con precisión científica los efectos negativos generados y provocados por la floración en plantaciones comerciales.
- 7) Es fundamental comprobar, cuantificar y convertir a términos financieros los diferentes impactos provocados por la presencia o no de flor sobre la calidad de la materia prima producida y entregada a las fábricas de azúcar.
- 8) Resulta esencial identificar y disponer con objetivos preventivos, indicadores viables y pragmáticos de medir e interpretar, que permitan pronosticar y estimar condiciones favorables a la floración de plantaciones comerciales.
- 9) Realizar investigación y evaluaciones previas que determinen la necesidad real de construir una Cámara de Fotoperiodo en Costa Rica, para fines de complementar los esfuerzos de mejora genética que actualmente se realizan; esto por cuanto su costo es alto (\approx US\$35.000) y su efectividad no siempre positiva, como demuestra la experiencia internacional. Se debe actuar con sensatez, razonabilidad y prudencia.
- 10) Diagnosticar la situación prevaleciente en el país respecto al manejo de variedades comerciales, referido a su sensibilidad a florear, época de siembra y cosecha, edad al corte y edad respecto al periodo de diferenciación floral. Estimar posibles impactos productivos por planificación deficiente de siembra y cosecha.
- 11) Investigar sobre condiciones, características y efectos ventajosos y perjudiciales de los productos inhibidores de floración; prestando especial atención a productos orgánicos con bajo impacto ambiental.
- 12) En consideración de que la propensión a florear es una característica determinada genéticamente, el Programa Nacional de Variedades debe mantener la floración como un indicador prioritario y determinante para la selección y liberación de clones

promisorios para uso comercial; como también en la selección de los progenitores que se empleen en los cruzamientos (vía sexual) que realice.

- 13) Resulta estratégico para fines de mejora genética ubicar geográficamente las localidades del país donde mejor floración, mayor viabilidad de polen y más alta germinación de semilla se tenga, las cuales no necesariamente coinciden con áreas de producción comercial de caña, como la experiencia internacional lo demuestra.
- 14) Se torna necesario e insoslayable estudiar y documentar el comportamiento de las variables de la floración de todas las variedades sembradas actualmente en el Banco de Germoplasma de DIECA (Chaves 2013), ubicado en Cañas, Guanacaste (10 msnm, 10º 20' 70" latitud norte y 85º 09' 37" longitud oeste), mediante la medición de indicadores reveladores como: intensidad, incidencia, días a flor después de la siembra, viabilidad del polen e intervalo de floración; clasificar el tipo de progenitores deseado de variedades de caña de azúcar (progenitores macho y progenitores hembras) de acuerdo con el porcentaje de viabilidad del polen que posean, mediante el proceso de sexado. Es imperativamente necesario caracterizar estas variables para documentar, orientar y planificar de forma más eficiente los cruzamientos y la utilización óptima del valioso germoplasma disponible en el país.
- 15) Igual trabajo de medición, similar al anterior, debe realizarse con todas las variedades comerciales sembradas actualmente en las diferentes localidades cañeras de Costa Rica; es necesario contar con información documentada y confiable sobre dicho comportamiento.

Conclusión

El deseo e intención del productor traducido en el intento permanente por tratar de interferir y alterar la naturaleza, procurando en este caso evitar la floración de la caña de azúcar, sea por medios genéticos, de manejo de plantaciones o mediante el uso de reguladores vegetales, obliga a conocer los mecanismos que la inducen, originan y también limitan. Sin ese conocimiento, resulta realmente empírico y difícil pretender intervenir con criterio técnico un mecanismo tan complejo como el vinculado con la floración.

La floración corresponde a un estado vegetativo complejo del desarrollo ontogénico de la planta donde intervienen, participan e interaccionan múltiples factores de índole biótico y también abiótico que determinan la magnitud e intensidad de su expresión; motivo por el cual, el conocimiento teórico y pragmático de los mecanismos implícitos e involucrados resulta imperativamente necesario para la correcta interpretación y conducción del mismo.

La caña de azúcar es por naturaleza una planta de sol altamente sensible a los cambios de luz manifestados en el fotoperiodo, especialmente a la disminución en la longitud del día cuando esta es larga (13 horas de luz hasta 12 horas de luz), lo cual estimula la floración de la planta. Se estima de acuerdo con las condiciones edafoclimáticas y productivas de la región azucarera nacional, que el estímulo de la floración podría estar ocurriendo entre el mes de julio y mediados de agosto, manifestándose luego por medio de la emergencia de la panícula a partir de setiembre y durante los últimos meses del año. Este tema debe insoslayablemente investigarse y definirse para cada localidad productora y variedad cultivada.

Se tiene por cierto que un fotoperiodo inferior a 12,5 horas, temperaturas superiores a 18°C, una condición de alta fertilidad y buena humedad en el suelo durante el periodo de inducción, influencia, estimula y favorece la floración. En la práctica de campo debe entenderse que una menor radiación como medida directa del brillo solar, significa una mayor intensidad de floración y viceversa.

No hay duda en reconocer que los tres criterios más prácticos y efectivos para procurar intervenir y reducir en algún nivel la floración de plantaciones de caña de azúcar, son: 1) el empleo de genotipos con poca flor o que en su caso el grado de encorchamiento y fibra en los internudos superiores sea bajo, 2) mediante el control hídrico operado regulando y retirando el riego cuando es efectivo y 3) aplicando reguladores vegetales de efectividad comprobada.

En áreas comerciales de producción de caña de azúcar, donde las condiciones son ideales para florecer, es recomendable el uso de variedades con menor potencial demostrado de floración; cuando no es posible ese manejo, el uso de inhibidores representa la mejor

alternativa para evitar y contrarrestar pérdidas productivas y económicas generadas sobre el contenido de sacarosa recuperable.

La edad y momento de cosecha de plantaciones cultivadas con variedades altamente sensibles a la floración, puede caso no realizarse con el debido criterio técnico, provocar impactos productivos agroindustriales significativos, lo cual se traduce en bajos tonelajes de caña, bajos rendimientos de azúcar y pérdidas económicas por baja recuperación en la fábrica. Es por esta razón, que en la planificación de la cosecha la floración constituye un indicador de alta prioridad que debe necesariamente revisarse, atenderse y respetarse. Es eventualmente posible que la explicación parcial a los bajos rendimientos agroindustriales presentes en algunas zonas del país, podrían estar asociados a esta circunstancia.

De manera complementaria, resulta necesario invocar la necesidad de establecer la floración como un criterio de selección genética primario en el Programa Nacional de Variedades, como efectivamente ocurre actualmente, lo que debe fijar pauta y directriz al momento de seleccionar y liberar un clon como promisorio para potencial uso comercial futuro. Es necesario e imperativo investigar la posible construcción de una Cámara de Fotoperiodo en el país, lo cual debe decidirse objetivamente con razones de necesidad comprobada, valoración que está actualmente en curso.

Literatura citada

- 1) Alexander, A.G. 1973a. **Sugarcane physiology**. Amsterdam: Elsevier. 752 p.
- 2) Alexander, A.G. 1973b. **A comprehensive study of the Saccharum source-to-sink system**. In. Sugarcane Physiology. University of Puerto Rico, Agricultural Experiment Station. p. 522-572.
- 3) Alfaro, R.; Alfaro, J.A. 1999. **Evaluación del efecto de seis dosis de ácido giberélico sobre los rendimientos agroindustriales de la caña de azúcar en la región del Valle Central Occidental**. En. Participación de DIECA en el XI Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, 1999. p: 70-71.

- 4) Allam, A.I.; Nour, A.H.; Fayed, T.A. 1978. **The flowering behavior of latitudinally displaced sugarcane varieties.** In. Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists (16, 1977, São Paulo). Proceedings... Brasil, Impress. p. 283–290.
- 5) Araldi R.; Lima Silva, F.M.; Orika Ono, E. 2010. **Florescimento em cana-de-açúcar.** Ciência Rural, Santa Maria, v.40, n.3, p.694-702, mar. p: 694-702.
- 6) Arrivillaga, J. 1988. **Floración de la caña de azúcar.** Revista ATAGUA 5:7-16.
- 7) Awad, M.; Castro, P.R.C. 1986. **Introdução à fisiologia vegetal.** 1ª reimpressão. São Paulo, Brasil: Nobel
- 8) Barbieri, V. 1993. **Condicionamento climático da produtividade potencial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*): um modelo matemático-fisiológico de estimativa.** Tese Doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 142 f.
- 9) Carabaloso, V.; García, H.; Jorge, H.; Norge Bernal, N. 2011. **Influencia del ambiente en la floración de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en la región central de Cuba.** Agrotecnia de Cuba 35 (1): 12-17.
- 10) Casagrande, A. A.; Vasconcelos, A. C. M. 2008. **Fisiologia da aérea.** In: Cana-de-Açúcar. Leila Luci Dinardo-Miranda; Antonio Carlos Machado de Vasconcelos; Marcos Guimarães de Andrade Landell (editores). Campinas, São Paulo: Instituto Agronômico. P: 79-78.
- 11) Castro, P.R.C. 2016. **Fisiologia aplicada à cana-de-açúcar.** Piracicaba, São Paulo. STAB-Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, Regional Sul. 208 p.
- 12) CINCAE. 2017. **Inducción a la floración.** En: <http://cincae.org/areas-de-investigacion/programa-de-variedades/variedades-nacionales/induccin-a-la-floracion/>
- 13) Chaves Solera, M.A. 1982. **La maduración, su control y la cosecha de la caña de azúcar.** Seminario de tecnología moderna de la caña de azúcar, 2, San José, Costa Rica, 1982. Memorias. San José, CAFESA/ATACORI/MAG/LAICA, setiembre. p: 28-40.
- 14) Chaves Solera, M.A. 2013. **Composición del banco de germoplasma de caña de azúcar de Costa Rica.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, enero. 28 p.

- 15) Chaves Solera, M.A. 2014. **Informe Final: Visita técnica caña de azúcar al Nordeste Brasileño.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, 31 de julio. 55 p. Presentación Electrónica en Power Point. 40 Láminas.
- 16) Chaves Solera, M.; Bermúdez Acuña, L.; Mendez Pérez, D. 2015. **Análisis de resultados agroindustriales finales de la zafra 2014-2015.** Boletín Informativo “*Conexión*”, Número 9, Enero-Diciembre 2015, LAICA, San José, Costa Rica. 31 p.
- 17) Chaves Solera, M.A. 2016. **La mejora genética de la caña de azúcar en Costa Rica.** Congreso Nacional Agropecuario, Forestal y Ambiental, 14, Centro de Conferencias del Hotel Wyndham Herradura, Heredia, Costa Rica, 2016. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica, octubre 27 al 29. 28 p.
- 18) Chaves Solera, M.A. 2017. **¿Dónde se produce territorialmente la caña con que se fabrica el azúcar en Costa Rica?** Revista Entre Cañeros N° 8, San José, Costa Rica, marzo.
- 19) Clements, H.F. 1968. **Lengthening versus shortning dark periods and blossoming in sugarcane as affected by temperature.** Plant Physiology, v. 43. p: 57-60.
- 20) Clements, H.F.; Awada, M. 1965. **Experiments on the artificial induction of flowering in sugarcane.** In: Congress of ISSCT, 12, Porto Rico. Proceedings... p: 795-812.
- 21) Clements, H.F. 1975. **Flowering of sugarcane: mechanics and control.** Hawai: Agric. Expres. Station. 56 p. (Technical Bulletin, 92).
- 22) Coleman, R.E. 1968. **Physiology of flowering in Sugarcane.** In: Congress os ISSCT, 13°, Taipei. Proceeedings... Taipei: ISSCT, 1969. p: 992-1000.
- 23) Corrales R., J.L. 1984. **La floración y sus efectos sobre los rendimientos en la caña de azúcar.** Boletín Informativo DIECA (Costa Rica) Año 2, N° 11, San José. p: 1-2.
- 24) Devlin, R.M. 1976. **Fisiología vegetal.** 3ª edición. Traducido por Xavier Llimona Pages, Ediciones Omega, Barcelona. p: 445-459.
- 25) Gómez Santiago, N.C. 2015. **Inducción a la floración en caña de azúcar.** Famaillá, Tucumán, Argentina. Práctica profesional: Modalidad Practicantado Agronómico. Universidad Nacional de Tucumán. 45 p.
- 26) James, N.I; Miller, J.D. 1972. **Photoperiod control in the USDA sugarcane crossing program.** (14, 1972, New Orleans). Congress ISSCT breeding and genetics. p. 341-347.

- 27) Humbert, R.P. 1974. **El cultivo de la caña de azúcar**. Traducción de Alfonso González Gallardo. México. Compañía Editorial Continental. 719 p.
- 28) Kendrick, R.E.; Frankland, B. 1981. **Fitocromo e crescimento vegetal**. Tradução Gil Martins Felipe. São Paulo: EPU: Ed. da Universidade de São Paulo. Temas de Biologia. Volume 25. 76 p.
- 29) Krishnamurthi, M. 1978. **The sugar cane pollen**. In: Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists (16., 1977, Sao Paulo). Proceedings. Brasil, Impres. p. 157–164.
- 30) Larrahondo, J.E.; Villegas, F. 1995. **Control y características de maduración**. In: El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Cali, CENICAÑA. P: 297-313.
- 31) Lee, T.S.G. *et al.* 1985. **Controle de florescimento da cana-de-açúcar através do emprego de produtos químicos**. STAB – açúcar, álcool e subprodutos, v.3, n.3. p: 17-21.
- 32) Mangeldorf, A.J. 1956. **Sugarcane breeding: in retrospect and improspect**. In: Congress of International Society of Sugar Cane Technologists, 9, New Delhi. Proceedings... Amsterdam: ISSCT, 1956. p: 560-575.
- 33) Moore, P.H.; Nuss, K.J. 1987. **Flowering and flower synchronization**. In: Heinz, D.J. (Ed.). Sugarcane improvement through breeding. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier. p: 102-127.
- 34) Moore, P.H.; Berding, N. 2014. **Flowering**. In: Sugarcane: Physiology, Biochemistry and Functional Biology / edited by Paul H. Moore, Frederick C. Botha. John Wiley & Sons, Inc. p: 379-410.
- 35) Morales, J.; Espinoza, G.; Quemé, J.L.; Orozco, H.; Paz, V.; Duarte, R. 2015. **Efecto del uso de Ethephon como inhibidor de la flor en el desarrollo de la caña de azúcar**. Memoria. Presentación de Resultados de Investigación 2014-2015, CENGICAÑA, Guatemala, setiembre. p: 339-348.
- 36) Nuss, K.J. 1978. **Synchronization of flowering to implement a proven cross breeding system in sugar cane**. In: Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists (16, 1977, São Paulo). Proceedings. Brazil, Impres. p. 111–119.

- 37) Pereira, A.R.; Barbieri, V.; Vilanova, N.A. 1983. **Condicionamento climático da indução ao florescimento em cana-de-açúcar.** Boletim Técnico PLANALSUCAR 5 (3): 5-14.
- 38) Pereira, A.R. 1985. **Previsão do florescimento em cana-de-açúcar.** Comunicação da Pesquisa Agropecuária, v. 3. p: 15-16.
- 39) Polo Juarez, P.A. 2005. **Caracterización de la floración en 306 variedades de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) con fines de mejoramiento para dos localidades de la zona cañera de Guatemala.** Instituto de Investigaciones agronómicas, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. Noviembre. 67 p.
- 40) Rangel, H. 1984. **El problema inductivo de la floración en Colombia.** In: Congreso de la Sociedad Colombiana de Caña de Azúcar (1, 1984, Colombia). Colombia, TECNICAÑA. p: 23–32.
- 41) Rodriguez, J.D. 1995. **Fisiologia da cana-de-açúcar.** Botucatu: UNESP. 100 p.
- 42) Salisbury, F.B.; Ross, C.W. 1994. **Fisiología vegetal.** México, Iberoamérica. 759 p.
- 43) Scarpari, M.S.; Beauclair, E.G.F. 2008. **Anatomia e Botânica.** In: Cana-de-Açúcar. Leila Luci Dinardo-Miranda; Antonio Carlos Machado de Vasconcelos; Marcos Guimarães de Andrade Landell (editores). Campinas, São Paulo: Instituto Agronômico. P: 79-78.
- 44) Silva C., E.; Martínez, F.; Madrid, C.; León, T. 2013. **La floración en caña de azúcar, su manejo para mejoramiento genético y en la producción comercial.** Congreso AETA, 3, Guayaquil-Ecuador, Sep.18-20 del 2013. 9 p.
- 45) Soto, G.J. 1999. **Floración en caña de azúcar (*Saccharum* spp.) y su relación con rendimientos.** Revista AgriCultura 17:21-25.
- 46) Subirós Ruiz, F. 1995. **El cultivo de la caña de azúcar.** San José, Costa Rica: EUNED. 448 p.
- 47) Torres Paz, J.; Acosta Granados, J. s.f. **Fisiología de la caña de azucaR. II. La Floración.** <http://monografias.umcc.cu/monos/2002/Jesus%20Torres1.pdf>
- 48) Van Dillewijn, C. 1952. **Botany of sugarcane.** The Chronica Botanica Co., Waltham, Masschusetts. 520 p.

- 49) Viveros Valens, C.A. 1990. Efecto de la edad de la planta y de varios tratamientos foto inductivos en la inducción de la floración de la caña de azúcar. Colombia, CENICAÑA. 63 p.
- 50) Viveros Valens, C.A; Cassalet, C. 1993. Inducción y sincronización de floración en variedades de caña de azúcar. Sugar Jour. 95:289-292.
- 51) Whatley, J.M.; Whatley, F.R. 1982. A luz e a vida das plantas. Tradução Gil Martins Felipe. São Paulo: EPU: Ed. da Universidade de São Paulo. Temas de Biologia. Volume 30. 101 p.
- 52) Wikipedia. 2017a: <https://es.wikipedia.org/wiki/Fotoperiodo>
- 53) Wikipedia. 2017b: <http://www.coordenadas-gps.com/mapa/pais/CR>

Anexo: Especies vegetales según clase fotoperiodica.

Espécie	Fotoperiodo Crítico (horas)	Espécie	Fotoperiodo Crítico (horas)	Espécie	Fotoperiodo Crítico (horas)
DIA CORTO		DIA LARGO		NEUTRAS	
<i>Chrysanthemum spp</i>	12	<i>Agropyron smithii</i>	10	<i>Cucumis sativus</i>	
<i>Euphorbia phlcherrima</i>	12,5	<i>Beta vulgaris</i>		<i>Euphorbia peplus</i>	
<i>Fragaria chiloensis</i>	10	<i>Bromus inermis</i>	12,5	<i>Fragaria chilolusis</i>	
<i>Glycyne max</i>	11	<i>Dactylis glomeratae</i>	12	<i>Gardemia jasminoides</i>	
<i>Kalanchoe blossfeldiana</i>		<i>Hordeum vulgare</i>	12	<i>Gossypium hirsutum</i>	
<i>Nicotiana tabacum</i>	14	<i>Hyoscyamus niger</i>		<i>Lycopersicum esculentum</i>	
<i>Oriza sativa</i>	12	<i>Lactuca sativa</i>		<i>Mirabilis</i>	
<i>Porophyllum lanceolatum</i>		<i>Lolium spp</i>	11-13	<i>Phaseolus lunatus</i>	
<i>Ricinus communis</i>		<i>Phalaris arundinaceae</i>	12,5	<i>Phaseolus vulgaris</i>	
<i>Saccharum officinarum</i>	12	<i>Phleum spp</i>	12-14,5	<i>Pisum sativum</i>	
<i>Salvia occidentalis</i>		<i>Plantago lanceolata</i>		<i>Solanum tuberosum</i>	
<i>Xanthium pennsylvanicum</i>		<i>Rudbeckia bicolor</i>	10	<i>Zea mays</i>	
		<i>Sinapis alba</i>			
		<i>Spinacea oleracea</i>	13		
		<i>Trifolium pratenses</i>	12		
		<i>Triticum aestivum</i>	12		

Fuente: Apostilla Curso de Fisiología da Produção. 1981. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Prf. Nei Fernandes Lopes.