



**EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LA
APLICACIÓN FOLIAR DE ÁCIDO GIBERÉLICO
EN LA FLORACIÓN DE ÁRBOLES DE
Coffea arabica L. Y SU IMPACTO FRENTE AL
CAMBIO CLIMÁTICO**

Leidy Natalia Zapata Restrepo

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas

Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Manizales, Colombia

Año 2013

**EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LA
APLICACIÓN FOLIAR DE ÁCIDO GIBERÉLICO
EN LA FLORACIÓN DE ÁRBOLES DE
Coffea arabica L. Y SU IMPACTO FRENTE
AL CAMBIO CLIMÁTICO**

Leidy Natalia Zapata Restrepo

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para
optar al título de

Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Asesora:

(MSc.) Dora Janeth García

Línea de Investigación

Biosistemas integrados

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas

Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Manizales, Colombia

Año 2013

DECLARACION EXPRESA

“Este trabajo presenta las opiniones personales de los autores, por lo que los posibles errores y conceptos emitidos son de responsabilidad exclusiva de éstos y no comprometen a la Universidad de Manizales ni a sus directores, asesores y jurados”.

Natalia Zapata Restrepo

Para comentarios y consultas ponerse en contacto con:

Natalia Zapata Restrepo.

e-mail: nataliazaa@yahoo.com

RESUMEN

La giberelina es conocida como una fitohormona que participa activamente en el control de la floración de varias especies. En el presente estudio se evaluó la aplicación exógena de ácido giberélico (0.1% y 0.5%) a 2959 plantas de *Coffea arabica* L., variedad *Castillo* cultivar Rosario con el Objetivo de establecer la relación existente entre la floración del café y el número de entrenudos inducidos en la rama principal media y superior mediante la aplicación foliar de la hormona. El proyecto se desarrolló en la Finca “El Limón” del Municipio de Buriticá (Antioquia) durante los meses de Agosto de 2012 y Febrero de 2013. Independientemente de la concentración de fitohormona aplicada, como resultado de la aplicación exógena se encontró un aumento en el número de entrenudos y en la producción de brotes florales. Finalmente determinar el análisis de significancia, los datos obtenidos en los diferentes parámetros fueron analizados mediante la prueba estadística T-Student del 95%.

Palabras claves: *Coffea arabica* L., giberelinas, floración, entrenudos, precipitación, fenómeno de “La Niña”.

ABSTRACT

Gibberellin is commonly known as a plant hormone that actively controls the flowering in several species. In this study we evaluated the exogenous application of gibberellic acid (0.1% and 0.5%) to 2959 plants of *Coffea arabica* L., variety *Castillo*, cultivar *Rosario*, with the aim of establishing the relationship between coffee flowering and number of internodes induced in the middle and upper main branch by foliar application. The project was carried out at the "El Limón" ranch in the town of Buritica, Antioquia (Colombia) during the months of August 2012 to February 2013. Regardless of the concentration of phytohormone used, the exogenous application resulted in an increase in flowering shoots and bud production. The data for all parameters were analyzed by the statistics significance test T- Student 95% confidence.

Keywords: *Coffea arabica* L., gibberellin, internodes, flowering, precipitation, "the Niña" phenomenon.

Tabla de Contenido

1	INTRODUCCIÓN	7
2	MARCO TEÓRICO	9
2.1	DESCRIPCIÓN BOTÁNICA Y SISTEMÁTICA DEL CAFÉ (<i>COFFEA ARABICA L.</i>)	9
2.1.1	RAÍCES	11
2.1.2	TALLO	13
2.1.3	RAMAS	14
2.1.4	HOJAS	15
2.1.5	FLORES	16
2.1.6	FRUTOS	17
2.2	FLORACIÓN DEL CAFÉ	20
2.2.1	FACTORES CLIMÁTICOS	20
2.2.2	INDUCCIÓN FLORAL E INICIACIÓN DE LA INFLORESCENCIA	21
2.2.2.1	Diferenciación	22
2.2.2.2	Latencia	22
2.2.2.3	Preantesis	22
2.2.2.4	Antesis	22
2.3	HISTORIA DEL CAFÉ	24
2.3.1	ORIGEN DEL CAFÉ EN EL MUNDO	24
2.3.2	ORIGEN DEL CAFÉ EN AMÉRICA Y COLOMBIA	25
2.4	IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL CAFÉ	28
2.5	CONDICIONES AMBIENTALES ÓPTIMAS PARA EL CULTIVO	31
3	HORMONAS VEGETALES	33

3.1	AUXINAS	34
3.1.1	SÍNTESIS DE LAS AUXINAS	36
3.1.2	FUNCIONES DE LAS AUXINAS	39
3.1.2.1	Elongación Celular.	39
3.1.2.2	Fototropismo y Geotropismo	39
3.1.2.3	Formación de ramas y raíces adventicias	40
3.1.2.4	Formación de frutos	41
3.1.3	USO COMERCIAL DE LAS AUXINAS	42
3.2	CITOQUININAS	42
3.2.1	SÍNTESIS DE LAS CITOQUININAS	43
3.2.2	FUNCIONES DE LAS CITOQUININAS	46
3.2.2.1	Estimulación del desarrollo de las ramas	46
3.2.2.2	Movilización de nutrientes	46
3.2.3	USO COMERCIAL DE LAS CITOQUININAS	47
3.2.3.1	Propagación y regeneración de tejidos	47
3.2.3.2	Control de la senescencia	47
3.3	GIBERELINAS	48
3.3.1	SÍNTESIS DE LAS GIBERELINAS	49
3.3.2	FUNCIONES DE LAS GIBERELINAS	51
3.3.2.1	Elongación de los tallos	51
3.3.2.2	Rompimiento de latencia en brotes y semillas	52
3.3.2.3	Juventud	52
3.3.3	LA FLORACIÓN Y LAS GIBERELINAS	53
4	CAMBIO CLIMÁTICO	56
5	MATERIALES Y MÉTODOS	59
5.1	UBICACIÓN	59
5.2	DISEÑO EXPERIMENTAL	60
5.3	TOMA DE DATOS	61

5.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	62
6	RESULTADOS Y ANÁLISIS	63
<hr/>		
6.1	PRECIPITACIÓN	63
6.2	ANÁLISIS DE SUELOS	64
6.3	DESARROLLO DE ENTRENUDOS	67
6.4	DESARROLLO DE FLORACIÓN	69

Índice de Figuras

<i>Figura 1. Vista histológica de raíz de Coffea arabica L</i>	12
<i>Figura 2. Raíz de Coffea arabica L.</i>	13
<i>Figura 3. Tallo y disposición de ramas de Coffea arabica L.</i>	14
<i>Figura 4. Disposición y forma de hojas de Coffea arabica L.</i>	15
<i>Figura 5. Descripción morfológica de la flor de Coffea arabica L.</i>	17
<i>Figura 6. Fotografía de una flor de Coffea arabica L.</i>	17
<i>Figura 7. Descripción de las partes del fruto de Coffea arabica L.</i>	19
<i>Figura 8. Fotografía de frutos maduros de Coffea arabica L.</i>	19
<i>Figura 9. Distribución de la floración del café en la zona Andina Colombiana</i>	23
<i>Figura 10. Registros de Coffea arabica L. en el mundo</i>	25
<i>Figura 11. Registros de Coffea arabica L. en Latinoamérica</i>	27
<i>Figura 12. Departamentos y regiones cafeteras de Colombia</i>	28
<i>Figura 13. Participación del café en el PIB mundial</i>	29
<i>Figura 14. Ácido Indolacético (AIA)</i>	36
<i>Figura 15. Biosíntesis de Triptófano</i>	37
<i>Figura 16. Estructura química de algunas auxinas naturales</i>	38
<i>Figura 17. Estructura química de las citoquininas usadas principalmente.</i>	43
<i>Figura 18. Estructura del ácido giberélico</i>	49
<i>Figura 19. Síntesis de giberelinas</i>	50
<i>Figura 20. Diseño y distribución de tratamientos en campo.</i>	60
<i>Figura 21. Precipitaciones presentadas por mes.</i>	63
<i>Figura 22. Resultado del análisis del suelo en estudio.</i>	65
<i>Figura 23. Fotografía del suelo en estudio.</i>	66
<i>Figura 24. Comparación de medias del desarrollo de entrenudos por tratamiento por mes.</i>	67
<i>Figura 25. Comparación de medias de floración entre tratamientos por mes.</i>	69
<i>Figura 26. Desarrollo de entrenudos y flores durante los seis meses de medición por los tres tratamientos.</i>	73

Índice de Tablas

<i>Tabla 1. Descripción botánica de Coffea arabica L.</i>	10
<i>Tabla 2. Descripción de condiciones de la zona de vida.</i>	59
<i>Tabla 3. Datos de precipitaciones por mes.</i>	64
<i>Tabla 4. Análisis de diferencias significativa de la floración evaluada por mes.</i>	71
<i>Tabla 5. Evaluación de la diferencia significativa de la floración evaluando mes y tratamiento.</i>	72

1 INTRODUCCIÓN

Según la Federación Nacional de Cafeteros - FNC- (2007) en los últimos treinta años el café ha constituido en promedio el 23% del Producto Interno Bruto (PIB) Agrícola, el 13% del PIB Agropecuario y el 2,3% del PIB en Colombia, generando el 9% del empleo en la población rural y siendo la base económica de 536.000 familias (Fonseca, 2003).

La floración del café es un estado fenológico asociado directamente con la producción del cultivo, por tanto es necesario comprender e identificar los factores que limitan o favorecen la aparición de este estado. Entender el fenómeno de floración y establecer una relación con las variables agro-meteorológicas, es de gran utilidad en el momento de tomar decisiones de tipo agronómico y nuevas investigaciones dado que podrá cuantificar el efecto potencial de la variabilidad climática sobre el cultivo y avanzar en la estimación de dichos efectos potenciales sobre la producción (Ramirez *et al*, 2010).

En la zona cafetera colombiana la variabilidad climática asociada a los fenómenos meteorológicos de “El Niño” y “La Niña” produce cambios en la distribución y magnitud de los elementos del clima (Jaramillo *et al.*, 2009). Durante los últimos tres años, estos cambios han reducido la producción de café en un 30% por disminución en la floración y por incidencia de enfermedades como la roya del café (*Hemileia vastatrix*).FNC (2012)

Los periodos de exceso de lluvias ocasionan que las flores permanezcan en reposo durante un tiempo más largo y en consecuencia las floraciones sean dispersas, muy poco concentradas, de poca magnitud o que presenten anomalías en el desarrollo de la flor. (Jaramillo y Arcila., 2009). Según lo planteado por Blázquez (2000), existen tres vías para la estimulación de la floración en las plantas: la luz, la temperatura y las giberelinas, siendo la más corta la tercera vía. Cada una de estas vías tiene como elementos generadores los fotoreceptores, los termoreceptores y los codones GA1 y GA4, respectivamente. Este mismo autor plantea que en la floración de otras especies, como el cacao y el maíz, se han identificado secuencias a través de las cuales las giberelinas regulan la expresión de los genes correspondientes a la activación de los codones GA1 y GA4.

Dado que la especie *Coffea arabica* L. es una planta de día corto y teniendo en cuenta que la estimulación de la floración se ve alterada por los fenómenos meteorológicos de “El Niño” y “La Niña”, es necesario conocer alternativas que permitan hacer sostenible la producción de café.

El presente trabajo pretende establecer la relación existente entre el desarrollo de entrenudos y la floración de *Coffea arabica* L., variedad *Castillo*, cultivar Rosario frente a la aplicación foliar de ácido giberélico. Se espera que los resultados de esta investigación sirvan como punto de partida para nuevas investigaciones asociadas a la estimulación e inducción floral de café; con la realización de nuevos proyectos que abarquen diferentes campos del conocimiento como la fisiología, bioquímica, biología y biología molecular y lograr con ello sopesar las actuales problemáticas en producción asociadas a los bruscos cambios climáticos para mantener la caficultura sostenible en nuestro país.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Descripción botánica y sistemática del Café (*Coffea arabica* L.)

El género *Coffea* tiene aproximadamente 100 especies, no obstante se destacan comercialmente sólo *Coffea arabica*, L. *C. canephora* Pierre ex Froenhner y *C. liberica* Bull ex Hiern (Norman, 2008). Son arbustos de hojas perennes que alcanzan una altura de catorce a veinte pies cuando están bien desarrollados. El produce ramas dimórficas, es decir, las sucursales de dos formas, conocidas como verticales y laterales. Cuando joven, las plantas tienen un tallo principal, sin embargo, eventualmente envían brotes laterales.

Los laterales pueden enviar ramales secundarios que se producen en pares opuestos alrededor del tallo. Son producidos solamente mientras la articulación de la posición vertical a los que están unidos, es joven, y si se rompen en ese punto, la posición vertical no logra su reproducción. La posición vertical puede producir nuevas ramas también, pero si una rama se corta, los laterales en esa posición tienden a regenerarse. Esto es muy deseable, ya que los laterales producen las flores. Este hecho es utilizado en la poda del cafeto (André y Berthaud, 1985). De hecho, en Colombia se usan varios tipos de podas con el fin de estimular este tipo de desarrollos laterales y así promover el desarrollo de ramas.

Las investigaciones de la última década han permitido la selección de nuevas progenies de porte bajo con resistencia a la roya y con mejores factores que determinan la productividad del cafetal. La mezcla de estas progenies es lo que hoy se denomina como Variedad Castillo®, la cual se liberó en el año 2005 por la FNC y a la cual nombraron en honor al científico Jaime Castillo Zapata. En investigaciones recientes se encontró un mejor comportamiento de la producción de algunas de las progenies de la Variedad Castillo®, por lo que se conformaron mezclas específicas para algunas regiones, en Antioquia por ejemplo se desarrolló Variedad Castillo, cultivar Rosario (Arcila *et al*, 2007).

Tabla 1. Descripción botánica de *Coffea arabica* L.

REINO	Plantae
FILO	Angiospermophyta
CLASE	Magnoliopsida
ORDEN	Gentianales
FAMILIA	Rubiaceae
GÉNERO	<i>Coffea</i>
ESPECIE	<i>Coffea arabica</i> L

Tomada de SID, Colombia, Instituto Alexander Humboldt.

Como se describe en la **Tabla 1**, el nombre científico del café es *Coffea arabica* L., es una Magnoliopsida perteneciente a la familia de las Rubiáceas. La primera descripción botánica de una planta de café, en el marco del *Jasminum namarabicanum*, fue hecha en 1713 por A. de Jussieu, quien estudió una sola planta procedente del jardín botánico de Amsterdam. Sin embargo, Linnaeus (1737) la clasifica como un género *Coffea* separado de la única especie conocida *C. arabica* (Balana *et al*, 2003)

La clasificación de cinco subsecciones se basa en la altura del árbol, grosor de las hojas, color de las frutas y distribución. Esta división geográfica parece ser debida a revisión en vista de las muchas especies descritas en la mitad posterior del Siglo XX. En 1980 Leroy, hizo grandes esfuerzos para indicar la relación entre las especies del género *Coffea* y los de *Psilanthus* y otros son de particular importancia para la comprensión del espectro conjunto del genero *Coffea*. Como los criterios de agrupamiento basados en caracteres morfológicos se volvió muy complejo, bastante confuso, y que se consideran de poco valor, muchos botánicos y genetistas han seguido la tendencia de la taxonomía moderna, con el fin de desarrollar un sistema más riguroso de clasificación que refleje las características genéticas y las interrelaciones entre las diferentes especies. Actualmente, los marcadores de ADN (marcadores moleculares) se utilizan como herramienta eficaz para la caracterización de germoplasmas y la reconstrucción de la filogenia (Agarwal, 2012).

Muchas nuevas especies de *Coffea* se han descubierto durante la exploración de los bosques tropicales de África desde la segunda mitad del siglo XIX. Algunos botánicos han tratado de describir estas especies, pero a menudo surge confusión y epítetos numerosos han demostrado ser sinónimos (André y Berthaud, 1985).

Los criterios más importantes para la diferenciación del género *Coffea* de todos los otros géneros dentro de la familia Rubiaceae es el gineceo y el sistema de clasificación planteado por Leroy en 1980 (André y Berthaud, 1985).

En términos genéticos, *C. arabica* es un alotetraploide natural ($2n = 4x = 44$), que difiere de todas las otras especies en su comportamiento de crianza autógamas. Otras especies son diploides ($2n = 2x = 22$) y auto-incompatibles. Hasta la fecha, la obra más autorizada y completa sobre la taxonomía del género *Coffea* es la de Chevalier propuesta en 1947 (García *et al.*, 2012).

El presente estudio se realizará específicamente con la especie *C. arabica*, variedad *Castillo*, cultivar Rosario gracias a que ha sido seleccionada como cultivar comercial colombiano, específicamente considerado por su suavidad, ser de porte medio y sobre todo por ser resistente a la Roya del café (*Hemileia vastatrix*); reuniendo las condiciones necesarias para la caficultura desarrollada en Colombia, específicamente en el Departamento de Antioquia.

2.1.1 Raíces

Las raíces desempeñan un papel fundamental en el crecimiento y la producción del café. La raíz es el órgano por el cual la planta se ancla al suelo y absorbe y transporta el agua y los minerales esenciales para su crecimiento. La raíz tiene además otras funciones menos conocidas como es la síntesis reguladora de algunas hormonas de crecimiento como las citoquininas el ácido giberélico y algunos metabolitos secundarios (Raven *et al.*, 1999). En la **Figura 1** se aprecia un corte transversal de raíz de *C. arabica* L. en un microscopio a 200 micras, donde se puede detallar.

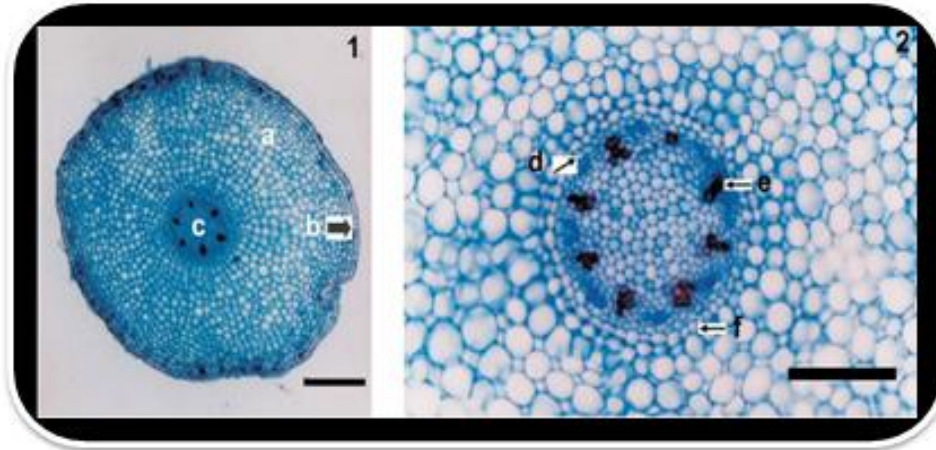


Figura 1. Vista histológica de raíz de Coffea arabica L

Tomada de (Santos et al, 2010)

1.a) cortex, 1.b) epidermis, 1.c) cilindro vascular, 2.d) peciolo, 2.e) poros de protoxilema y 2.f) endodermis

En la **Figura 2** se observa una fotografía de la raíz de un árbol adulto de café, donde se identifican la raíz pivotante y las raíces adventicias o secundarias.

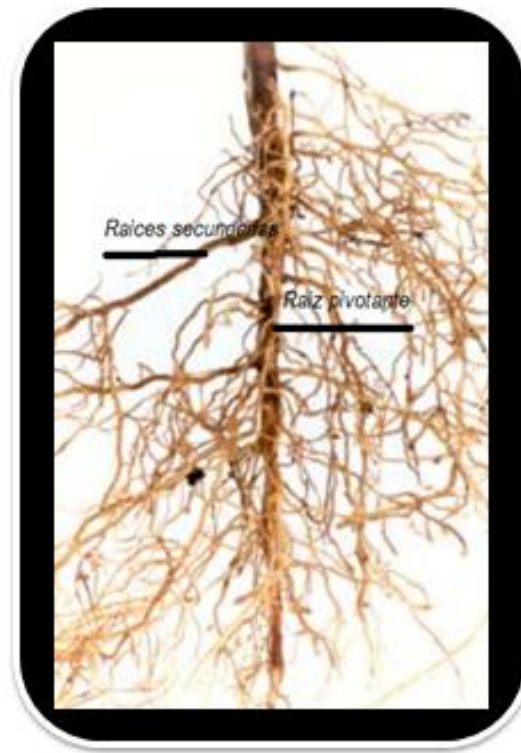


Figura 2. Raíz de *Coffea arabica* L.
Tomada de (Arcila *et al*, 2007)

2.1.2 Tallo

El tallo de café es leñoso, erecto y de longitud variable, de acuerdo al clima y tipo de suelo, puede variar entre 2 y 5 m de altura. En una planta adulta la parte basal es cilíndrica, mientras que la parte apical es cuadrangular y verde. Presenta la particularidad de producir tres tipos de yemas que originan diferentes partes de la planta: tallo, ramas y hojas, lo anterior se describe en la (Figura 3).



Figura 3. Tallo y disposición de ramas de *Coffea arabica* L.
Fotografía tomada por Henric Bjarehall 2012

2.1.3 Ramas

En la (**Figura 3**) también se puede observar cómo las ramas se presentan de forma opuesta y alterna, además de presentar un punto apical de crecimiento donde van formando nuevos entrenudos y nuevas hojas, en estas axilas se forman las flores que posteriormente darán origen a los frutos.

2.1.4 Hojas

Las hojas *Coffea arabica* L. son lanceoladas (en forma de lanza), están a cargo de dos en dos, frente a frente. De 12 cm a 24 cm de largo, con el ápice acuminado, algo atenuadas en la base, con pecíolos muy cortos, que se unen con las estípulas cortas en la base. Las hojas de café son delgadas, pero de textura firme, ligeramente coriáceas. Son de color verde muy oscuro en la superficie superior. El margen de la hoja es entero y ondulado (**Figura 4**).



Figura 4. Disposición y forma de hojas de *Coffea arabica* L.
Tomada de: <http://www.cdfa.ca.gov/plant/pe/agcommid/page16.htm>

2.1.5 Flores

En las axilas de las hojas se presentan las yemas florales de 1 a 3 ejes, los que se dividen en 2 o 6 ramificaciones cortas de 2 a 4 mm, cada flor está conformada por el cáliz, corola y estambres. El cáliz es poco desarrollado y se encuentra asentado en la base de la flor. La corola es un tubo largo de forma cilíndrica en la base que termina en cinco pétalos y mide de 6 a 12 mm. Cuando el botón floral no se ha abierto es de color verde, conforme se va abriendo adquiere el color blanco. Los estambres son cinco y se encuentran insertos en el tubo de la corola alternando con los pétalos, además son filamentos finos y sostienen anteras largas, las cuales se abren longitudinalmente cuando están maduras para liberar el polen. Las flores poseen un ovario súpero con dos óvulos, formando el gineceo. La estructura floral es descrita detalladamente en la (**Figura 5**). En la (**Figura 6**) se muestra una foto *in vivo* de *Coffea arabica* L.

Cada nudo de una rama tiene dos axilas foliares opuestas. En cada axila se forman de 3 a 4 yemas o inflorescencias y en cada una de ellas, entre 4 y 5 flores. Es decir, en un nudo existen potencialmente entre 24 y 32 botones florales (12 a 16 botones florales por axila). Cada yema está conformada por un pedúnculo, que contiene varios nudos en los cuales se insertan dos hojas diminutas y opuestas (brácteas) y en cuyas axilas se producen entre 3 y 5 botones florales. Este conjunto constituye la inflorescencia y se le conoce también como glomérulo. La yema que produce un glomérulo se demora aproximadamente 12 semanas para dar origen a los botones florales. (Ramirez *et al*, 2010).

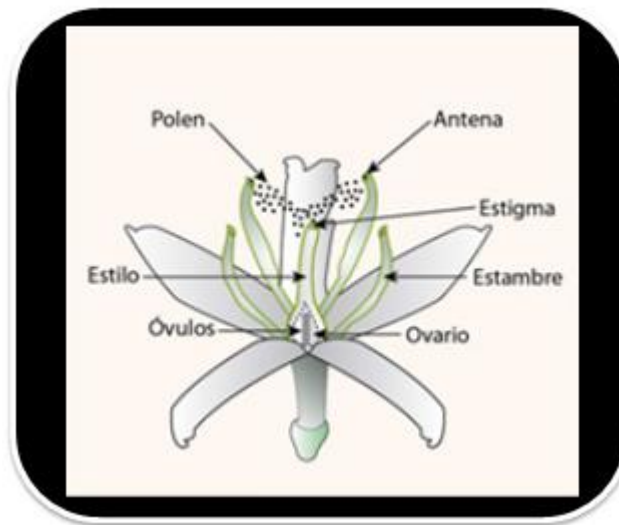


Figura 5. Descripción morfológica de la flor de *Coffea arabica* L.
Tomada de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/6894/1/71227065.2012.pdf>



Figura 6. Fotografía de una flor de *Coffea arabica* L.

2.1.6 Frutos

El fruto maduro de café es una drupa elipsoidal, ligeramente aplanada, con tres ejes principales que miden entre 12 y 18 mm de longitud, 8 y 14 mm de ancho y 7 a 10 mm de espesor. En el ápice se ubica el disco con una depresión central que corresponde a la base

del estilo. Está constituido por epicarpio o epidermis, mesocarpio o pulpa y el endosperma o semilla (Alvarado, 2007). Contiene dos tiendas y dos semillas. El Fruto está compuesto por: Pericarpio (exocarpo - mesocarpo - mucílago y endocarpo - Pergamino) y semillas (Favarin, 2012). En la **(Figura 7)** **Figura 7.** Descripción de partes del fruto de *Coffea arabica* L. se describe la división de cada una de las partes que componen el fruto y en la **(Figura 8)**, se muestra cada una de las partes del fruto de *Coffea in vivo*.

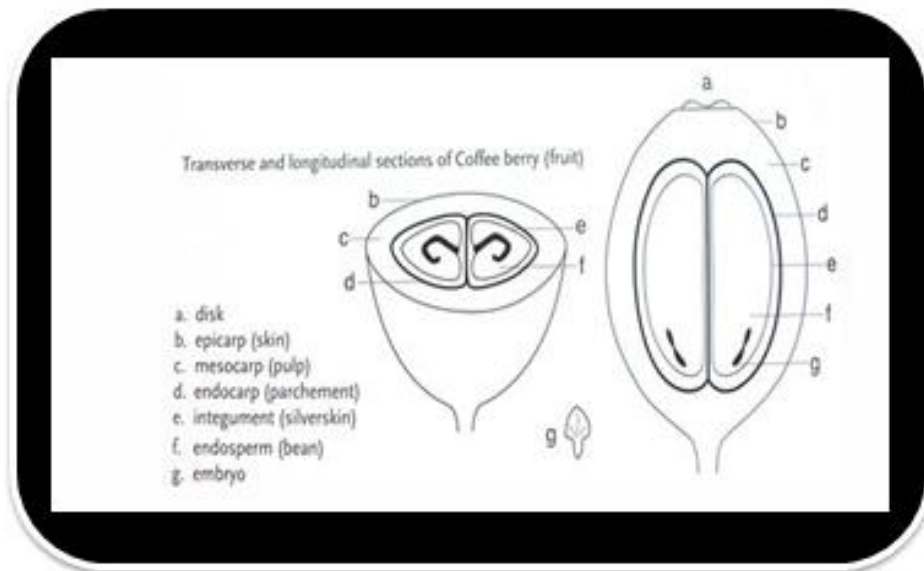


Figura 7. Descripción de las partes del fruto de *Coffea arabica* L.
 Foto Cortesía de: [photos/sweetmarias/432589978/in/photostream](https://www.instagram.com/photos/sweetmarias/432589978/in/photostream).



Figura 8. Fotografía de frutos maduros de *Coffea arabica* L.

2.2 Floración del café

Se puede entender la floración como la inducción y formación de los primordios florales. Es ampliamente y fuertemente discutido que factores internos (como las hormonas y estados nutricionales) y factores externos (como la luz y la temperatura) condicionan la inducción o estimulación floral.

Vélez y Jaramillo (2000) plantean que la floración de cafeto *Coffea arabica* L. está influenciada por factores genéticos, endógenos y ambientales; dentro de estos se incluye la radiación solar, la temperatura y la disponibilidad de agua en el suelo. Lo anterior, probablemente sea la explicación para que en países como Etiopía, India y Brasil haya solo un periodo de desarrollo vegetativo, mientras que en Kenya existen dos floraciones debido a periodos secos y húmedos. Los mismos autores afirman que en Costa Rica, Colombia y algunas regiones de Australia, donde hay periodos secos y húmedos, se da paso a varios periodos de crecimiento vegetativo y de floración.

2.2.1 Factores climáticos

La floración del cafeto es un evento asociado estrechamente con las condiciones climáticas de cada región y generalmente se registra como el momento de la antesis, cuando se abren las flores. Sin embargo, debe considerarse que la floración es un proceso de desarrollo complejo que inicia 4 a 5 meses antes de la apertura floral (Camayo y Arcila, *et al.*, 1996; Camayo *et al.*, 2003), lo cual corresponde a un periodo aproximado de duración de 120 días. En este caso se manejan dos aspectos: a. Desarrollo de la inflorescencia en las axilas foliares (nudos en las ramas) y b. Desarrollo de la flor en cada inflorescencia. En la axila de la hoja se forman entre tres y cinco yemas (inflorescencias) y en cada inflorescencia entre 4 y 5 flores.

El exceso hídrico se relaciona negativamente con el número de botones florales en café, por tanto cuando se presentan más de 20 días por trimestre con valores mayores 0,5 IEH (Índice de exceso hídrico), se reduce fuertemente el número de botones florales (Ramirez *et al*, 2010).

La temperatura, es representada por la suma térmica o tiempo térmico y por la amplitud térmica, para la floración del café es necesario que se acumulen 1100°C de temperatura por trimestre y que no se presenten más de 50 días por trimestre con amplitud térmica inferior a 10°C. La amplitud térmica con diferencias superiores a 10°C coincide con la mayor floración de las localidades. (Ramirez *et al*, 2010).

2.2.2 Inducción floral e iniciación de la inflorescencia

La primera etapa de la inducción floral ocurre a nivel molecular a una tasa muy rápida y no diferenciable externamente. Después de la inducción se inicia la inflorescencia y en este estado el nudo está rodeado por estípulas de color verde claro. El desarrollo de la inflorescencia continúa y puede durar de 30 a 35 días aproximadamente. Es inducida por fotoperiodos cortos, es decir que la duración del día no sea superior a 13, 5 horas días, lo cual nunca ocurre en el trópico (Arcila, 2007)

2.2.2.1 Diferenciación

Termina en el momento en que observan los botones florales sin abrir, éstos toman el nombre de “comino” ésta etapa tiene en promedio una duración de 45 días. (Arcila *et al*, 2007)

2.2.2.2 Latencia

Los botones alcanzan un tamaño de 4 a 6 mm, se separan y aun verdes cesan su crecimiento entrando a la fase de reposo que puede durar, 30 días. Ésta inactividad es una latencia inducida por el estrés hídrico y factores endógenos. Los periodos de diferenciación y latencia están controlados por disponibilidad hídrica, hormonas y nutrientes (Moreno, 2007).

2.2.2.3 Preantesis

Las lluvias, la reducción en la temperatura y la variación de los contenidos de ácido giberélico pueden estimular el crecimiento del botón floral latente, ésta etapa se detecta por la coloración blanquecina, un tamaño de 12 mm aproximadamente. Esta etapa dura aproximadamente de 6 a 10 días. (Velez y Jaramillo, 2000)

2.2.2.4 Antesis

Florescencia o apertura de la flor, tienen una duración aproximada de 3 días abierta (Moreno, 2007). Está condicionada a un estrés hídrico previo a un periodo lluvioso.

La periodicidad del desarrollo floral en café y su relación con los factores ambientales ha sido estudiada en varias regiones del mundo como India, Kenia, Brasil, Congo y Colombia. Se ha establecido que, en general el fotoperiodo, la distribución de los periodos húmedos y secos y la temperatura son los principales factores ambientales que afectan el desarrollo floral. De las fases más estudiadas son la inducción floral, la latencia y la antítesis (Camayo *et al*, 2003).

Los valores número de horas sol por año más frecuentes en la zona cafetera colombiana están entre 1600 y 2000 (4.4 - 5.6 horas por día). La temperatura oscila entre 17 y 23 °C,

que se consigue a una altura que va de 1000 y 2000 metros sobre el nivel del mar (msnm), la precipitación media anual debe ser bien distribuida y superior a 1200 mm (no se deben presentar déficit hídricos prolongados) y la humedad relativa debe estar sobre 70%. Estos límites permiten las mayores posibilidades de éxito con el cultivo, sin que ello signifique que el café no pueda vegetar fuera de ellos. El café necesita 5600 ± 620 unidades térmicas (u.t.) entre la siembra y la primera recolección de café y 2500 u.t. desde la floración hasta la maduración de la cereza, con un gradiente de 38 días por cada °C de temperatura (u.t. = temperatura media - 10 °C durante el período escogido) (Valencia, 2011).

En la **(Figura 9)Figura 9. Distribución** de la Floración del café en la Zona Andina Colombiana Se observa que las principales floraciones ocurren en los meses entre enero y marzo, después de un periodo de sequía. Cuando comienzan las lluvias se estimula la floración.

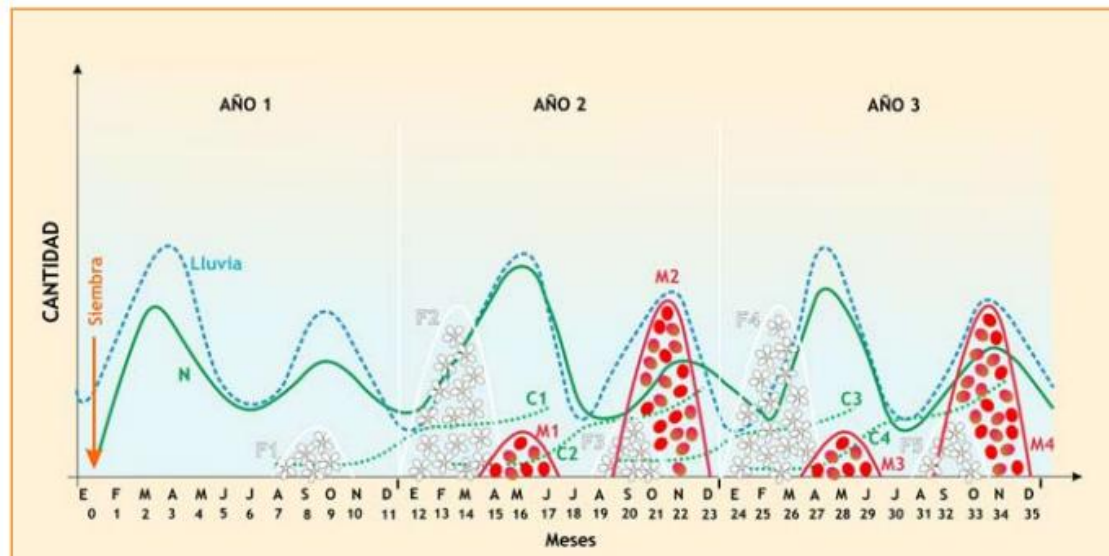


Figura 9. Distribución de la floración del café en la zona Andina Colombiana
Tomada de (Arcila *et al*, 2007)

La fase de desarrollo reproductivo comienza cuando al menos el 50% de la planta haya florecido. Puede estar influenciada por el fotoperiodo, la temperatura y la disponibilidad hídrica.

2.3 Historia del Café

2.3.1 Origen del Café en el Mundo

Estudios demuestran que el Café es oriundo de la provincia de Kaffa, al sur este africano (Originalmente se le conoce como Abisinia) Wagner (2001). El arbusto de café viajó entonces de Abisinia a Arabia a principios del siglo XV y durante dos siglos, Arabia Saudita suministró café al resto del mundo, a final del siglo XVII, los holandeses introdujeron la planta en Batavia, y desde allí una planta se presentó a Luis XIV en 1714. En Europa de las fechas se tienen registro de uso de café desde el siglo XVI, cuando se introdujo en Constantinopla, y un siglo más tarde, en 1652, la primera tienda de café fue abierta en Londres. En 1858 la cantidad importada en el Reino Unido era más de sesenta millones de libras (Grieve, 2012). En los inicios del siglo XVII, el consumo de café fue llevado de Turquía a Europa. Entró por el puerto de Venecia en Italia y pasó a Holanda, Francia, Inglaterra y Alemania. Se difundió el consumo por toda Europa y surgieron los establecimientos para tomar café (FNC, 2012).

En la (Figura 10) **Figura 10.** Registros *de Coffea arabica* L en el mundo, se describen los sitios en el mundo donde actualmente se conoce la presencia de cultivos de café.



Figura 10. Registros de *Coffea arabica* L. en el mundo
Tomada de SIB Colombia. Instituto Alexander Humboldt.

2.3.2 Origen del Café en América y Colombia

Antes de llegar a América y a Colombia, el café cumplió un largo Periplo. En 1660 el Holandés Nicolas Witzan, logró burlar la vigilancia de los árabes y llevar, desde Moka un arbusto o unas semillas a la ciudad de Batavia (Antigua capital de las indias orientales Holandesas y hoy Yakarta) de éstos árboles el Gobernador ordenó sembrar en Amsterdam (Chalarca, 2011).

La primera referencia sobre la existencia de café en Norteamérica data de 1668 y, pronto después de esa fecha, se abrieron establecimientos de café en Nueva York, Filadelfia, Boston y algunas otras ciudades. El *Boston Tea Party* de 1773 se planeó en un establecimiento de café, el *Green Dragon*. Tanto la Bolsa de Nueva York como el Banco de Nueva York empezaron en establecimientos de café, en lo que es hoy el distrito financiero de Wall Street (Chalarca, 2011).

Fue en el decenio de 1720 cuando el café se empezó a cultivar por primera vez en las Américas, gracias a lo que es quizá el relato más fascinante y romántico de la historia del

café. Gabriel Mathieu de Clieu era un oficial de la Marina francesa que estaba de servicio en la Martinica y que, en 1720, viajó a París con permiso. Adquirió un cafeto que se llevó con él, en el viaje por mar de vuelta. El cafeto fue instalado en una caja de cristal y dejado en cubierta para mantenerlo caliente y que no lo dañase el agua salada (ICO, 2012).

Se cree que los holandeses también fueron quienes introdujeron el cultivo en Suramérica en 1714 en las Guayanas Holandesas (Hoy Surinam). Los primeros arbustos de café llegaron a las islas del Caribe a comienzos del siglo XVIII llevados por los franceses y de allí pasó a Brasil y Colombia, donde se consolidó como un cultivo importante en el Siglo XIX (FNC, 2012). En la **(Figura 11) Figura 11**. Registros de *Coffea arabica* L. en Latino América., se muestran los países Latino Americanos que actualmente presentan registros de café sembrado.

La versión más autorizada sobre el ingreso del café en Colombia es sobre la plantación del sacerdote Jesuita español José Gumilla, quien consigna en su libro "*El Orinoco Ilustrado*", la siembra de la planta en la misión de Santa Teresa de Tabagem, fundada por la Compañía en la desembocadura del río Meta, en el Orinoco, hacia 1730. Los jesuitas llevaron luego las semillas a Popayán y las sembraron en 1736 en el seminario que tenía la comunidad en la ciudad (Chalarca, 2011).



Figura 11. Registros de *Coffea arabica* L. en Latinoamérica
Tomada de SIB Colombia. Instituto Alexander Humboldt.

Machado (2001) plantea que desde una perspectiva histórica, el café ha generado empleo y desarrollo institucional, al igual que ayudó a la salida del capital comercial que durante el siglo XIX estuvo estático por los negocios del oro, la quina, el añil y el tabaco. El café es quizás la agroindustria más grande de Colombia en términos de ingresos, empleo y estabilidad.

La historia del café y la economía cafetera se pueden periodizar en cuatro épocas: (Machado, 2001)

- El establecimiento de la industria cafetera 1880-1910.
- La expansión pre-capitalista de la economía 1910-1930.
- La transición al capitalismo 1940-1970.
- Modernización de la economía cafetera y su crisis estructural 1970-2000

2.4 Importancia económica del Café

Colombia es un país productor de café suave arábigo lavado, cuya área productiva al año 2000 se estimó en 750.000 hectáreas, un 25% menor a la registrada a comienzos de la década de los años noventa. Esta área se encuentra distribuida en la mitad de los municipios con que cuenta el país, esto es, 564 municipios ubicados en 16 departamentos. Con ésta extensión, el cultivo del café representa el 20% del área total agrícola del país, equivalente aproximadamente a 4 millones de hectáreas. En la (**Figura 12**) se puede apreciar la división de Colombia cómo país cafetero, incluyendo las cuatro zonas representativas. Según Fonseca (2003), el país cafetero puede dividirse en cuatro regiones:

- Centro-Occidente: Departamentos de Antioquia, Caldas, Quindío, Risaralda, Tolima, Valle.
- Oriente: Boyacá, Cundinamarca, Norte de Santander y Santander.
- Sur: Cauca, Huila y Nariño.
- Marginal Norte: César, Magdalena.

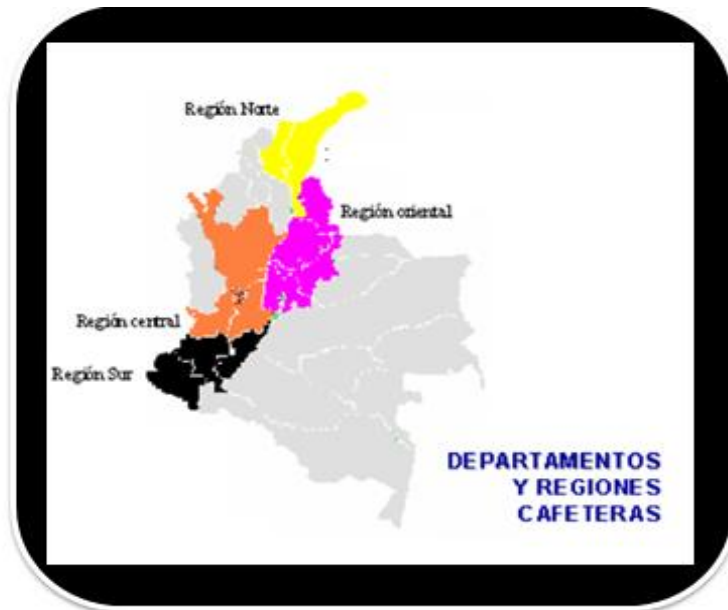


Figura 12. Departamentos y regiones cafeteras de Colombia
Tomada de (Fonseca, 2003)

En la (Figura 13) se puede observar, según datos de la Organización Internacional de Café (OIC), cómo la participación del grano en el PIB mundial ha ido disminuyendo con el paso de los años. Es así como en 1980 tenía una participación de casi el 0.16 %, mientras que actualmente es de aproximadamente el 0,05%, Sin embargo a nivel de país, en los últimos treinta años el café ha respondido en promedio por el 23% del PIB Agrícola, el 13% del PIB Agropecuario y el 2,3% del PIB total (FNC, 2007).

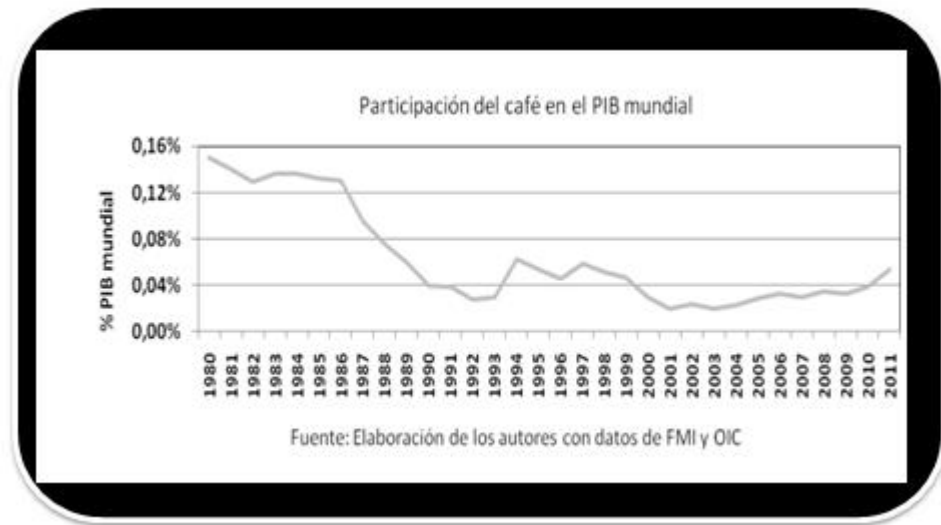


Figura 13. Participación del café en el PIB mundial
Tomado de, Organización Internacional de Café OIC

En Colombia también disminuyó la influencia económica del grano. La participación del café pergamino en el PIB del sector agropecuario pasó de representar cerca del 25.0% hacia finales de la década del setenta, a un poco más de 6.0% hoy. En el PIB total, la participación del café cayó a 0.6% en 2011, desde un 3.0% registrado a comienzos de la década de 1980. La producción alcanzó su techo histórico en los años 1991 y 1992, con 16 millones de sacos de 60 kilos de café verde. En 2006 y 2007 la producción anual fue de 12 millones de sacos y, a partir de ese momento, ha mostrado una tendencia decreciente que llevó la producción a los niveles del período 1958 - 1977, durante el cual pocas veces la producción superó los 8 millones de sacos. En 2009 presentó una drástica contracción (7.8

millones de sacos), un ligero repunte en 2010 y de nuevo un retroceso en 2011 - 7.8 millones (Cano *et al*, 2012).

El peso relativo de la caficultura dentro del conjunto de la economía nacional, ha caído significativamente, no sólo debido al estancamiento de la producción y de las exportaciones, que en términos absolutos han disminuido de manera notable durante los últimos años sino también por el crecimiento muy significativo de otros sectores, en particular el minero-energético, y de otros cultivos de tardío rendimiento, como la palma de aceite y los frutales, además de las flores y de la producción y comercialización externa de otros alimentos procesados. (Cano *et al*, 2012)

El 60% de los cafeteros del país, tienen cafetales con una extensión menor a 1 Ha y responden por el 16,8% del área cafetera total. Si se agregan los cafeteros que poseen cafetales con tamaños inferiores o iguales a 5 has, los resultados son aún más impactantes: representan el 95% del total de productores y el 62,2% del área total y, en promedio, explotan 1 hectárea de café y el promedio de producción para fincas tecnificadas alcanza 125 arrobas (de 12.5 kilos) de café verde por hectárea. Colombia sigue siendo un país que produce café a altos costos unitarios. Parte de la explicación se encuentra en la alta participación que representan los costos de jornales en la estructura total de costos, la cual está entre un 70% y un 80%, asociado principalmente con las actividades de establecimiento, sostenimientos, recolección y administración (Fonseca, 2003).

En términos generales, que haya una reducción en la producción de café, redundaría en que la calidad de vida, en términos económicos, de 536.000 familias colombianas disminuye, debido a que su economía depende únicamente de la producción de café.

2.5 Condiciones ambientales óptimas para el cultivo

Los hábitats naturales de las especies de *Coffea* son el soto bosque de los bosques tropicales de África. Muchas formas de *C. canephora* se puede encontrar en los bosques de tierras bajas ecuatoriales desde Guinea hasta Uganda, mientras que las poblaciones naturales de *C. arabica* están restringidas a los bosques de las tierras altas del sudoeste de Etiopía (Berthaud, 1988) en altitudes de 1600-2800 m. Para ambas especies, un corto período seco que dura de dos a cuatro meses, correspondientes a la fase de crecimiento de reposo, es importante para estimular la floración. Unas precipitaciones abundantes durante todo el año son a menudo responsables de cosecha dispersa y bajos rendimientos. La falta de un período seco también puede limitar el cultivo de café en las regiones tropicales de tierras bajas (Maestri y Barros, 1977)

La temperatura óptima media anual para el *Coffe arabica* L. es de 18-21 ° C. Por encima de 23 ° C el desarrollo y la maduración de los frutos se acelera, a menudo conduce a la pérdida de calidad (Camargo, 1985). Temperatura relativamente alta durante la floración, sobre todo si se asocia con una estación seca prolongada, puede causar el aborto de flores (Camargo, 1985). Cabe señalar, sin embargo, que los cultivos seleccionados en condiciones intensivas han permitido que las plantaciones de café arábigo se haya extendido a las regiones marginales, con temperaturas medias tan altas como 24-25 ° C, con rendimientos satisfactorios, como en el noreste de Brasil (DaMatta y Ramalho, 2006)

Los requisitos de precipitaciones dependen de las propiedades de retención del suelo, la humedad atmosférica y la nubosidad, así como las prácticas de cultivo. El rango óptimo de precipitación anual es de 1200-1800 mm para el *C. arabica* (Alegre, 1959). Un rango similar parece ser necesaria para el café robusta, aunque se adapta mejor que arabica a lluvias intensas superiores a 2000 mm (Da Matta, 2007).

Para seleccionar una zona para café se deben tener en cuenta entonces los factores de suelo y clima como criterios de orientación. Del suelo: la profundidad efectiva, la relación aire-

agua, el pH, la resistencia a la erosión, los regímenes de agua y la temperatura del suelo son factores determinantes. Del clima: se deben tener presentes: la altitud, temperaturas medias y extremas, precipitación y su distribución a través del tiempo. Una profundidad efectiva mayor de 70 cm es muy buena y mala la que es menor de 30 cm.

El cafeto es un cultivo muy exigente en una buena relación aire-agua, según la calificación de los factores del suelo se requiere una calificación mayor de 70 puntos, menos de 50 sería mala. El pH debe estar entre 4,8 a 6,0. Un grado de agregación mayor de 80 da una estabilidad estructural muy alta, en cambio menos de 20 es muy baja. El suelo es resistente a la erosión cuando la pendiente de un suelo (cafetales al sol) es de 70 por ciento y éste tiene estructura fuerte, muy estable, abundante contenido de materia orgánica y agentes cementantes; es muy susceptible si tiene una pendiente del 10 por ciento y sus características inversas al anterior. Para el cultivo del café los rangos térmicos favorables son: temperatura media anual entre 19 y 21,5 grados C. Se recomienda para cafetales al sol aquellas zonas que presentan entre 160 a 200 días lluviosos al año (Gómez y Suarez, 1979).

Una temperatura óptima cercana a 21 C° para el crecimiento del café, con un límite inferior de 10 C° y uno superior a 32 C°, fuera de los cuales el crecimiento sería nulo. Teniendo como base inferior una temperatura de 10 C°, el número de unidades térmicas calculadas, requeridas entre la siembra de la planta (a los seis meses de edad) y la primera floración, fue de 2.500. Entre la primera floración y la primera cosecha, fue de 3.250 para un total de 5.750 unidades térmicas. El número de días transcurridos entre la siembra y la floración fue de 330 días; entre floración y cosecha fue de 220 días para un total de 550 días (Jaramillo y Guzman, 1984).

3 HORMONAS VEGETALES

Una planta para crecer necesita luz, CO₂, agua y elementos minerales, incluido el nitrógeno del suelo. Con todos estos elementos, la planta fabrica materia orgánica, convirtiendo materiales sencillos en los complejos compuestos orgánicos de que están formados los seres vivos. La planta no se limita a aumentar su masa y su volumen, sino que se diferencia, se desarrolla, adquiere una forma y crea una variedad de células, tejidos y órganos. En las plantas superiores, la regulación y coordinación del metabolismo, el crecimiento y la morfogénesis a menudo dependen de señales químicas de una parte de la planta a otra. Esta idea se originó en el siglo XIX con el Botánico alemán Julius Von Sachs 1832-1897 (Taiz, 2006).

Muchos de los detalles de cómo están regulados estos procesos no son conocidos, pero ha quedado claro que el desarrollo normal depende de la conjunción de numerosos factores internos y externos. Los principales factores internos son compuestos químicos orgánicos (Taiz, 2006).

Las Hormonas son moléculas orgánicas que se producen en una región de la planta y que se trasladan de una a otra región, ubicada a unas cuantas células de distancia, en la cual se encargan de iniciar, terminar, acelerar o desacelerar algún proceso vital. En las plantas éste proceso está generalmente desarrollado con ciertos aspectos de su crecimiento. Los animales poseen glándulas especiales que producen hormonas pero los vegetales carecen de ellas. La ausencia de estas estructuras especializadas dificulta la definición de las hormonas en las plantas. Las hormonas además se caracterizan por tener efecto en cantidades extremadamente pequeñas comparadas con la cantidad requerida de nutrientes como azúcares (Salisbury, 1988).

Es posible sintetizar gran cantidad de compuestos que al aplicarse a las plantas tienen los mismos efectos que las hormonas vegetales naturales, aun cuando químicamente son

sustancias diferentes, científicos han acordado dar a estas sustancias el nombre de regulador de crecimiento. De ésta forma las hormonas de crecimiento pueden considerarse reguladores de crecimiento pues intervienen en todos los sistemas de la planta pero los reguladores de crecimiento no pueden considerarse hormonas. Es importante resaltar que en todo momento por regla general más de una hormona está influyendo en el proceso de desarrollo y que además son varios los procesos que van influenciados por la acción de la misma hormona (Salisbury, 1988). Se define entonces cómo reguladores de crecimiento aquellas sustancias que siendo sintéticas cumplen con funciones en pequeñas cantidades de modificar, inhibir o acelerar los procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas.

A continuación se describen las hormonas más importantes en el crecimiento y desarrollo de las plantas, además de algunas de las características e intervención en los procesos vitales de las mismas.

3.1 Auxinas

Las Auxinas son hormonas que estimulan el crecimiento de las plantas, especialmente el tallo e inhiben el desarrollo lateral de las ramas. El representante de estas hormonas es el ácido indolacético, que normalmente se dice que proviene del triptófano, debido a que su estructura tiene gran parecido a éste (Saavedra, 2008). La aplicación de esta hormona no sería recomendable para aumentar la producción de frutos en Rubiáceas, debido a que inhibe el crecimiento lateral que es donde se originan las flores y posteriormente, los frutos.

Cómo se mencionó anteriormente el AIA se parece mucho al aminoácido triptófano, y probablemente es éste el precursor del AIA formado en la planta viva, aunque se conocen cuatro vías de formación del AIA cada una de ellas con un intermediario distinto. Diferentes grupos de plantas emplean distintas rutas para producir AIA a partir del triptófano, (**Figura 15**). Además, algunas plantas, tales como el maíz (*Zea mays*) emplean distintas rutas según su estado de desarrollo. La auxina se produce en los ápices de los coleóptilos de las gramíneas y en los meristemos apicales de los tallos y, en menor

proporción, de las raíces. También se encuentra en los embriones, en cantidades notables, y en las hojas jóvenes, flores y frutos (Taiz, 2006).

Went (1988), descubrió que las Auxinas se encuentran en mayor concentración en tejidos con crecimiento rápido, como ápices, tallo, raíces, hojas jóvenes y yemas. Ahora se sabe que las semillas y los frutos también tienen elevadas concentraciones. Went descubrió además, que el movimiento de las auxinas es unidireccional, desde el ápice hasta la base, a éste movimiento se le denominó transporte polar. Las auxinas no se transportan a través de Xilema y floema sino de célula a célula. Su movimiento es activo y no pasivo lo que significa que las células que transportan dicha molécula deben estar respirando, su movimiento es más rápido que la difusión.

La mayor parte de los efectos de las auxinas se descubrieron durante los últimos años de la década de 1930, cuando fisiólogos disolvían AIA (Ácido Indolacético) en lanolina purificada y la aplicaban a las plantas.

La auxina incrementa la plasticidad de la pared celular. Cuando la pared celular se ablanda, la célula se dilata debido a la presión del agua dentro de su vacuola (presión de turgencia). A medida que se reduce la presión del agua, por dilatarse la célula, ésta toma más agua y de este modo continúa agrandándose hasta que la pared opone resistencia. Según parece, el ablandamiento de la pared celular no es debido a la interacción directa entre el AIA y los constituyentes químicos de la pared. Tanto la biosíntesis del ARN como la de proteínas son necesarias para que se dé este efecto de ablandamiento; si son inhibidas, no se observa ni ablandamiento ni crecimiento. Estudios realizados en células caulinares demostraron que el AIA incrementaba la biosíntesis de celulasa, la enzima que digiere la celulosa. Los tejidos vegetales tratados con AIA tienen de 12 a 14 veces más celulasa que los no tratados, en condiciones idénticas. Así, es presumible que, por lo menos, algunos de los efectos producidos en la pared celular por la auxina provengan de la producción de nuevo RNA mensajero codificador de la celulasa, la cual rompe las trabazones que impiden el crecimiento de la pared celular (Taiz, 2006). En la (**Figura 14**), se observa la estructura química del ácido indolacético o AIA.

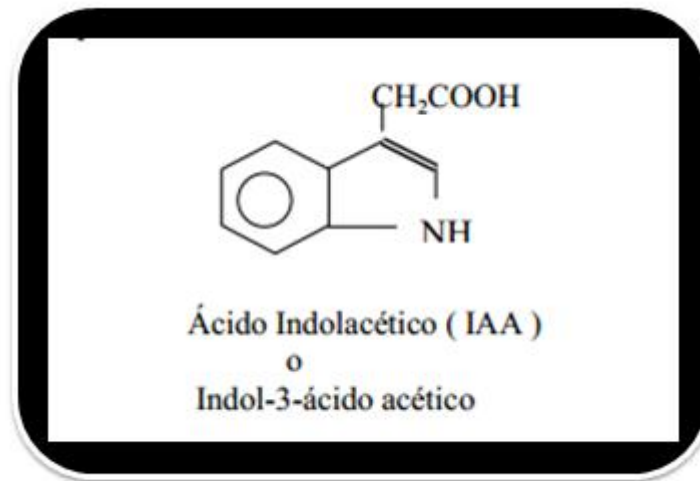


Figura 14. Ácido Indolacético (AIA)
Tomado de (Saavedra, 2008)

3.1.1 Síntesis de las Auxinas

El ácido indolpiruvico se convierte en indolacético mediante una reacción de descarboxilación, la etapa final implica la oxidación de ésta molécula para dar el ácido indolacético (**Figura 15**)

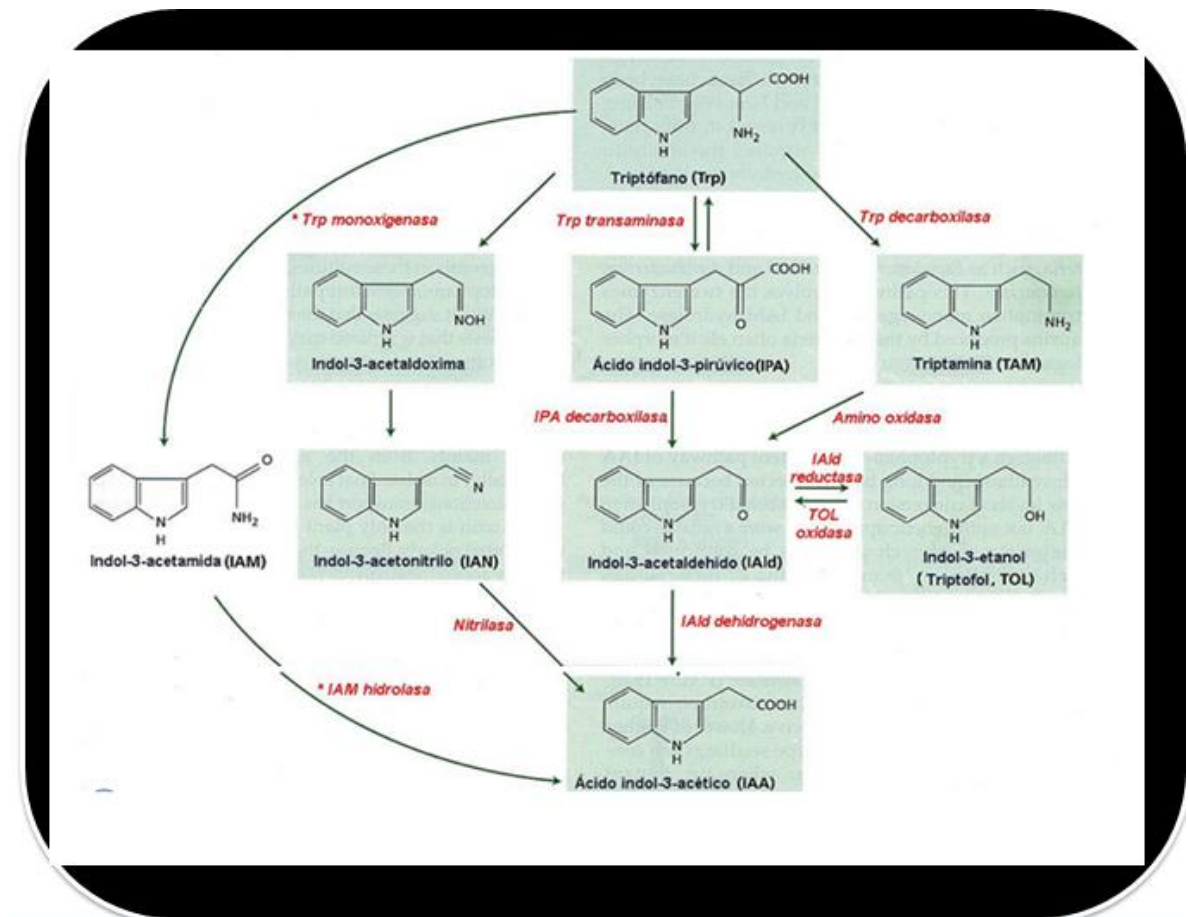


Figura 15. Biosíntesis de Triptófano
Tomado de (Taiz, 2006)

El triptófano sufre una descarboxilación dando Triptamina, que es oxidada y desaminada para producir indolacetaldehído. Finalmente, éste compuesto se oxida hasta ácido Indolpirúvico (García, 2012). El AIA, se encuentra en todas las plantas, hay otros compuestos en las mismas que tienen también actividad auxínica; como por ejemplo, el ácido fenoxiácético –AFA-.(Figura 16)

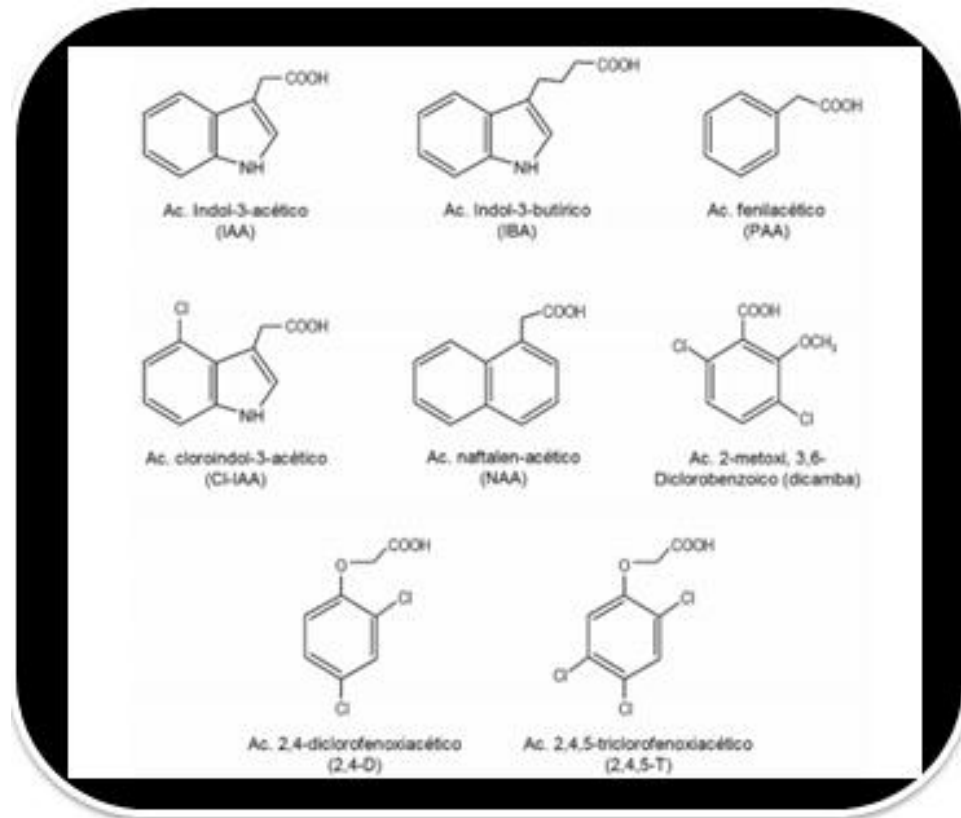


Figura 16. Estructura química de algunas auxinas naturales
Tomado de (Seberol, 2005)

El nivel endógeno de auxina en la planta puede regularse no sólo por su tasa de síntesis y velocidad de transporte entre órganos, sino también por mecanismos de desactivación. La desactivación de AIA puede ocurrir mediante su conjugación con otras moléculas como azúcares o aminoácidos. La idea de la presencia de formas conjugadas de auxinas se originó de los trabajos pioneros que involucraban tres formas distintas para extraer AIA, una difusión simple, otra algo más difícil que requería el uso de solventes orgánicos y, por último, una tercera forma que requería métodos más enérgicos, como hidrólisis con NaOH o el empleo de enzimas proteolíticas (Jordan y Casaretto, 2006).

3.1.2 Funciones de las Auxinas

3.1.2.1 *Elongación Celular.*

El proceso más aparente inducido por auxinas es la elongación celular “local”; ésta se lleva a cabo en 2 etapas:

- 1° Etapa: Elongación celular rápida debido a la inexistencia de regulación génica y al incremento de protones que favorecen con pH ácidos, la optimización de enzimas hidrolíticas: celulasas, glicoxidasas, etc. que debilitan la pared celular justificando un aumento en la presión de turgencia y provocando finalmente la elongación celular. Esto se conoce como teoría quimiosmótica o crecimiento ácido de la pared celular.
- 2° Etapa: Elongación a largo plazo debido a la expresión génica diferencial para la síntesis de enzimas responsables de la degradación de la pared celular.

3.1.2.2 *Fototropismo y Geotropismo*

Cuando la planta está en posición horizontal, la fuerza de la gravedad hace que la auxina se distribuya mayormente en la parte inferior del tallo o raíz. Mientras en el tallo las auxinas estimulan el crecimiento de la parte inferior (ocasionando una curvatura hacia arriba), en raíces un mayor nivel de la hormona inhibe el alargamiento de las células, por lo tanto, las de la cara superior se alargan más y la raíz se curva hacia abajo. Esta re-distribución de auxina en la raíz podría deberse a la percepción de la gravedad por algunas células que se localizan en el casquete, caliptra o cofia (Jordan y Casaretto, 2006). Estas células (estatocitos) contienen los llamados estatolitos correspondientes a amiloplastos que sedimentan en repuesta al vector gravitacional. Una ubicación basal de los estatolitos ocasionaría un transporte polar de auxina a lo largo del lado inferior desde la cofia hacia la zona de elongación de la raíz, donde retardaría el crecimiento. A diferencia de lo que ocurre

con el estímulo luminoso unilateral, la gravedad no actúa en forma de gradiente entre las partes superiores. En las raíces, que tienen gravitropismo positivo, los estatocitos se localizan entre las células de la cofia. Siempre que la raíz esté creciendo adecuadamente, los estatolitos estarán sedimentados en las paredes basales de las células. Sin embargo, cualquier variación en la dirección del crecimiento hará que los estatolitos se desplacen hacia las paredes laterales de los estatocitos, alterando así la correcta redistribución de auxina entre las células radicales (Curtis y Barnes, 1997).

3.1.2.3 Formación de ramas y raíces adventicias

Durante la formación de raíces adventicias en tallos tratados con auxinas, las células inicialmente se dividen en forma desordenada para dar lugar a una masa de tejido que semeja un tumor y recibe en nombre de callo (Salisbury, 1988).

Mientras las auxinas estimulan el crecimiento de los tallos y coleóptilos, inhiben el crecimiento de la raíz primaria, pero estimulan la formación de raíces secundarias. La concentración óptima para el promover elongación de tallos es entre 10^{-6} y 10^{-5} M, sin embargo, en raíces esta concentración es muy alta y retarda su crecimiento. Las auxinas además promueven la biosíntesis de la hormona etileno que inhibe el crecimiento radicular. Niveles menores a 10^{-9} M de AIA serían capaces de inducir crecimiento de raíz, pero no ocurriría a niveles normales endógeno más altos (Jordan y Casaretto, 2006).

El proceso de rizogénesis está íntimamente asociado a la división celular. Una práctica común en horticultura es aplicar auxinas para favorecer el enraizamiento de esquejes. En técnicas de cultivo de tejidos se utilizan auxinas y citocininas para promover la división celular y la diferenciación de raíces y tallos, respectivamente. Las auxinas estimulan a la división de células localizadas en el periciclo justo arriba de la zona de elongación para provocar la formación de raíces laterales. Este fenómeno también se aplica en la formación de raíces adventicias la cual puede ocurrir en varios tejidos donde existan un grupo de células en activa división (Jordan y Casaretto, 2006).

3.1.2.4 Formación de frutos

Plantas que son tratadas con inhibidores de transporte de auxinas o plantas mutantes defectuosas en transportar auxina muestran deformidades en las inflorescencias y en la arquitectura floral, lo que sugiere que esta hormona es necesaria para un adecuado desarrollo de flores. De igual manera la aplicación de auxina en forma exógena induce el desarrollo floral en varias especies. Asimismo, auxina contribuye con el crecimiento normal de frutos. Un ejemplo clásico lo constituyen aquenios de frutilla que fallan en completar su crecimiento (cuaje) cuando se les ha retirado las semillas, fuentes de auxina endógena. Sin embargo, la aplicación de auxina a estos frutos sin semillas es capaz de restaurar el desarrollo de frutos normales. Además la auxina tendría un efecto positivo sobre la maduración de algunos frutos al promover de alguna manera la síntesis de etileno. (Salisbury, 1988)

3.1.3 Uso Comercial de las Auxinas

A partir del conocimiento del AIA se impulsó la síntesis química de moléculas estructuralmente semejantes para su utilización en agricultura, dichas estructuras se denominaron auxinas sintéticas. La ingeniería genética aprovecha el conocimiento de las rutas de biosíntesis de auxinas para la transgénesis en plantas. Hoy en día las posibles aplicaciones son:

- Aclareo de frutos, las auxinas permiten el reparto de fotoasimilados.
- Retardante en la caída de frutos.
- Cuajado de frutos.

Las auxinas sintéticas, que se usan en forma de aerosol o de polvo, tienen varias aplicaciones en la agricultura. Entre sus usos están detener el brote de yemas de tubérculos de papas, destruir hierbas de hoja ancha (2,4-D, 2,4-DB, 2,4,5-T) y prevenir la caída prematura de frutos (NAA) y pétalos de flores. Estos compuestos también se usan para obtener frutos sin semillas (partenocárpicos) como tomates, higos y sandías, y para estimular el crecimiento de raíces en esquejes (IBA, NAA) (Jordan y Casaretto, 2006).

3.2 Citoquininas

Estos compuestos se han encontrado en todas las plantas, particularmente en los tejidos que se dividen de forma activa como meristemas, semillas en germinación, frutos en maduración y raíces en desarrollo. Estas hormonas se llamaron citocininas (de “citocinesis”) o citoquininas. Los estudios sobre la acción de las citocininas en la división celular han demostrado que son necesarios en algunos procesos posteriores a la replicación del ADN, pero anteriores a la mitosis (UPV, 2012) - **Figura 17**-.

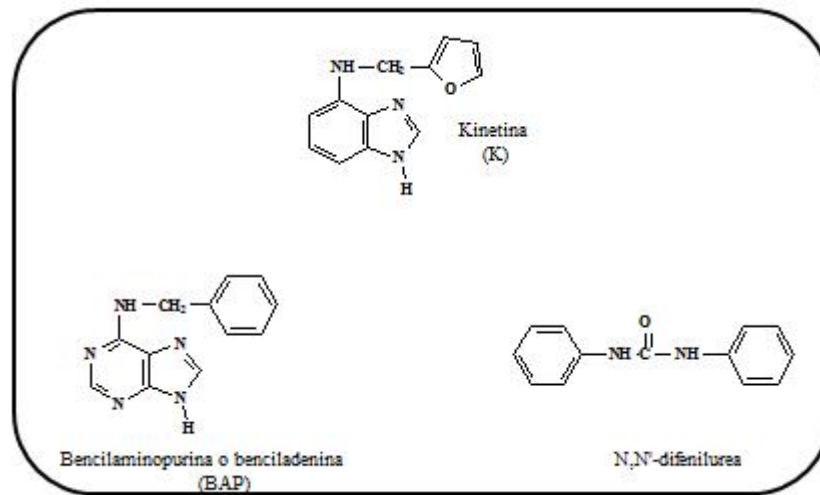


Figura 17. Estructura química de las citoquininas usadas principalmente.
Tomado de (Curtis y Barnes, 1997)

3.2.1 Síntesis de las Citoquininas

La biosíntesis está asociada a regiones de la planta con actividad meristemática (meristemos apicales y cambium), especialmente en tejidos en crecimiento (semillas, frutos y raíces). Las citoquininas han sido consideradas estructuralmente como derivadas de adeninas o purinas, y dentro de este grupo se incluyen la kinetina, zeatina y benzilaminopurina. Debido a su variación estructural se ha llegado a clasificar en citoquininas isoprenoides y aromáticas (Sakakibara, 2006).

Este grupo de fitohormonas es considerado el responsable de los procesos de división celular, entre los que se encuentran la formación y crecimiento de brotes axilares, la germinación de semillas, la maduración de cloroplastos, la diferenciación celular (Sakakibara, 2006) y también el control de varios procesos vegetales como el retardo de la senescencia y en la transducción de señales. Se cree que las citoquininas son sintetizadas en tejidos jóvenes o meristemáticos como ápices radiculares, yemas del tallo, nódulos de raíces de leguminosas, semillas en germinación, especialmente en endospermas líquidos y frutos jóvenes; desde donde se transportan vía xilema hacia la hoja donde se acumula, para luego ser expresada (Aguilar, 2010).

La primera citoquinina natural fue aislada de *Zea mays* (maíz) por lo que se la denominó zeatina (Z) 6-(4-hidroxi-3-metil-2-trans-butenoamil) purina. Posteriormente se aislaron ribofuranosilzeatina y su cinco-monofosfatos (Lethan, 1968).

Al primer grupo pertenecen la mayoría de las citoquininas vegetales y puede subdividirse a su vez en tres clases. La primera es la formada por zeatina (Z) y sus derivados, ribósidos, O-glucósidos, N-glicósidos, variaciones en cadena lateral o isómeros cis. La segunda clase contiene los metabolitos de reducción como dihidrozeatina (diH) Z sus derivados y conjugados. Mientras que en la tercera clase se ubican N⁶- (isopentenil) adenina, iP y sus derivados (Campbel, 2005).

Al grupo de los análogos N⁶-benciladenina pertenecen la activa citoquinina sintética 6-bencilaminopurina (BAP) y unos pocos derivados naturales especialmente hidroxilados. (Campbel, 2005)

Desde el primer aislamiento de citocininas a partir de muestras de ácidos nucleicos, los fisiólogos vegetales han sospechado siempre que estas hormonas han de estar de algún modo relacionadas con los ácidos nucleicos. Cuando Holley y sus colaboradores desvelaron por primera vez la estructura de una molécula de ARNt, se encontraron con que la molécula contenía un cierto número de bases atípicas. Más tarde se descubrió que en algunos tipos de ARNt la citocinina natural (N-isopenteniladenina), que es a su vez una base atípica, está incorporada en la molécula. La i⁶Ade se encuentra, por ejemplo, en las moléculas de ARNt para la serina y para la tirosina, en las cuales está ubicada inmediatamente junto al anticodón. Sin embargo, todavía no se sabe si su presencia o su ubicación en moléculas de ARNt está relacionada con su actividad promotora de la división celular. Se conoce que el último efecto de las citocininas implica cambios en la expresión génica, probablemente a nivel transcripcional (UPV, 2012).

La biosíntesis tiene lugar principalmente en el citosol de las células de meristemas apicales de raíz, y también en embriones jóvenes de maíz y hojas jóvenes en desarrollo. La cadena lateral deriva de la vía del acetato-mevalonato. El isopentenil pirofosfato se transfiere al AMP (derivado de la síntesis de purinas) por acción de la Citoquinina sintasa (una prenil

transferasa similar a las de la síntesis de los terpenos). El isopentenil adenina ribonucleótido generado se transforma en las diferentes citoquininas, sin embargo muchas de las enzimas involucradas todavía no se han identificado. Las provenientes del RNAt se forman durante el procesamiento del precursor del RNAt (existe una prenil transferasa diferente a la vista en la otra vía que reconoce una secuencia específica de bases, y no emplea AMP como sustrato) (Jordan y Casaretto, 2006).

Esta acción se encuentra en tejido vascular, sobre todo en el xilema, en puntas de raíces, en frutos en desarrollo, en tejidos tumorales infectados por *Agrobacterium tumefaciens*, en semillas en germinación, en nódulos de raíces de Leguminosas, en algas, bacterias y hongos (Taiz, 2006).

La movilización de las citoquininas sintetizadas en las raíces es (como ribonucleótidos principalmente) por el xilema hacia la hoja, donde se acumulan (en primavera y principios del verano). Cuando las hojas alcanzan el máximo desarrollo, las citoquininas son exportadas vía floema a otros órganos, como los frutos (Seberon, 2005).

La biosíntesis está asociada a regiones de la planta con actividad meristemática (meristemas apicales y cambium), especialmente en tejidos en crecimiento (semillas, frutos y raíces).

3.2.2 Funciones de las Citoquininas

En primer lugar, regulan el ciclo celular en plantas, y por tanto, la división celular. Cuantas menos citoquininas, menor es el tamaño de los meristemos y el crecimiento apical se reduce bastante. Pero en las raíces, el efecto es justo lo contrario: cuanta menos citoquinina, más crecimiento (Taiz, 2006).

3.2.2.1 Estimulación del desarrollo de las ramas

Las Citoquininas evitan la degradación de proteínas existentes e inducen la síntesis de nuevas, particularmente algunas que estabilizan clorofilas. En presencia de luz intervienen en maduración y síntesis de cloroplastos debido a que favorecen la síntesis de proteínas tilacoidales que enlazan las clorofilas retrasando su degradación y también inducen la formación de proteínas fotosintéticas y estructurales de membranas tilacoidales. (Taiz, 2006).

3.2.2.2 Movilización de nutrientes

Las citoquininas ocasionan una movilización diferencial de nutrientes hacia los tejidos donde se hallan más concentradas, esto se denomina efecto “fuente-sumidero” y es vital para el retraso de la senescencia (News, 2010).

En plantas superiores las citoquininas se sintetizan principalmente en los sistemas radiculares. La producción de citoquininas libres se da por dos mecanismos: la síntesis de novo y la liberación de las contenidas en el ARN de transferencia (ARN_t), también existe una combinación de ambos. (Taiz, 2006).

3.2.3 Uso Comercial de las Citoquininas

3.2.3.1 Propagación y regeneración de tejidos

Debido a que los efectos de las citocininas en plantas están relacionados principalmente en la capacidad de estimular la división y la diferenciación celular junto a otros reguladores de crecimiento (auxinas), se les utiliza en la propagación clonal de material ornamental o forestal, de calidad superior y en la regeneración masiva de plantas elite. Por ejemplo, en viveros especializados, donde la propagación de plantas in vitro es una actividad permanente, su uso está vinculado con la inducción de la organogénesis, especialmente la formación caulinar, de nuevos brotes adventicios y de embriones somáticos. En diversas coníferas, ha sido posible masificar la producción de brotes con aplicaciones de citocininas a cotiledones en estadios tempranos de germinación de semillas, lo cual permite obtener plantas por vía asexual después del enraizamiento de dichos brotes. En todas aquellas plantas donde se manifiesta la “totipotencia celular”, ya sea en condiciones in vivo o in vitro, las citocininas contribuyen considerablemente en la manifestación y eficiencia de dicho proceso (Jordan y Casaretto, 2006).

3.2.3.2 Control de la senescencia

Las citocininas retardan la senescencia, proceso que implica clorosis por degradación de la clorofila, y dado que permiten la manutención de la síntesis de proteínas, junto a carbohidratos y otros compuestos orgánicos, es posible usar dicha hormona para dilatar y mantener la vida de flores con hojas. La inserción por transformación de genes que causan sobreproducción de citocininas, como el gen IPT, permite obtener de manera más extendida las características de retardo de senescencia. Por ejemplo, en tomates se obtiene un periodo más largo de crecimiento (demora en la senescencia), mayor formación de yemas y brotes conducentes a flores y frutos, con mayor productividad, plantas con más vigor, con mayor contenido de clorofila y por tanto de mayor eficiencia. Si bien lo anterior corresponde a

biotecnologías especializadas de laboratorio, efectos parecidos son posibles de obtener mediante aplicación de la hormona en forma externa. Obviamente, el efecto será particular respecto a dosis, especies, variedades, estadios y otras condiciones culturales impuestas al cultivo elegido. En combinación con giberelinas, las citocininas actuarían promoviendo también el crecimiento de algunos frutos (Jordan y Casaretto, 2006).

3.3 Giberelinas

Al mismo tiempo que Frits Went descubría las auxinas en el año 1926, los patólogos vegetales japoneses estaban a punto de descubrir el segundo grupo importante de hormonas vegetales, Las giberelinas. Ellos estudiaban la enfermedad del retoño tonto, en arroz, las plantas infectadas por el hongo *Gibberella fujikuroi*, crecían hasta una altura anormal y después decaían y morían. E. Kurosawa fue quién realizó el descubrimiento. Durante la época de 1930 los investigadores japoneses purificaron éste y otros compuestos relacionados con la sustancia extraída por el hongo (Salisbury, 1988). La industria química estadounidense sólo tuvo éxito hasta 1950, cuando se pudo extraer la molécula de ácido giberélico por la USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) en Illinois (Taiz, 2006).

Las giberelinas son un grupo de diterpenoides que se definen más por su estructura que por su actividad biológica, contrario a lo que ocurre con las auxinas y las citoquininas (Santner, 2009). Todas son ácidos carboxílicos diterpenoides tetracíclicos, se las denomina ácidos giberélicos y se las representa como **GA**s, distinguiéndose una de otra por un subíndice: GA₁₃, GA₂₀, GA₅₂, etc. Hasta hoy se han caracterizado unas 125 giberelinas, identificadas hasta el año 2003, descubiertas en plantas, animales y hongos (García., 2012) Todas tienen 19 o 20 átomos de carbono agrupados en sistemas de 4 o 5 anillos. Las de 20 carbonos son las que tienen mayor actividad; las de 19 carbonos surgen cuando las de 20 pierden un carbono, y llevan un anillo de G lactona. Una planta puede producir varias giberelinas, aunque no todas ellas sean activas. Se forman en ápices de tallos y raíces, en hojas jóvenes,

partes florales, semillas inmaduras, embriones en germinación. En general las partes vegetativas contienen menos GA que las partes reproductivas, así las semillas inmaduras son ricas en **GAs**, aunque dichos niveles disminuyen a medida que éstas maduran (Seberol, 2005) Existen dos tipos de formas, las libres que son las que tienen de 19 a 20 átomos de carbono y las conjugadas que están en unión con glúcidos, de forma que no tienen actividad (García, 2012). **Figura 18.** Estructura del ácido giberélico.

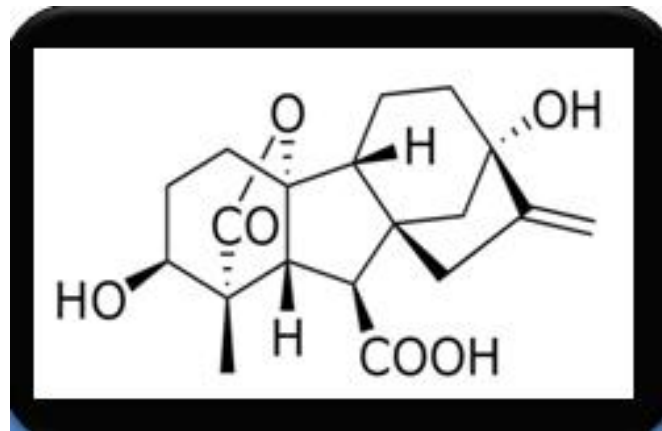


Figura 18. Estructura del ácido giberélico
Tomada de <http://www.answers.com/topic/gibberellin>

3.3.1 Síntesis de las Giberelinas

Las giberelinas se sintetizan prácticamente en todas las partes de la planta, pero específicamente en las hojas jóvenes. También se pueden encontrar varias cantidades de giberelinas en los embriones, semillas, frutos, y es posible que ahí se sinteticen. Las giberelinas viajan rápidamente en todas las direcciones de las plantas a través de floema por el parénquima cortical, su transporte no es Polar (Salisbury, 1988).

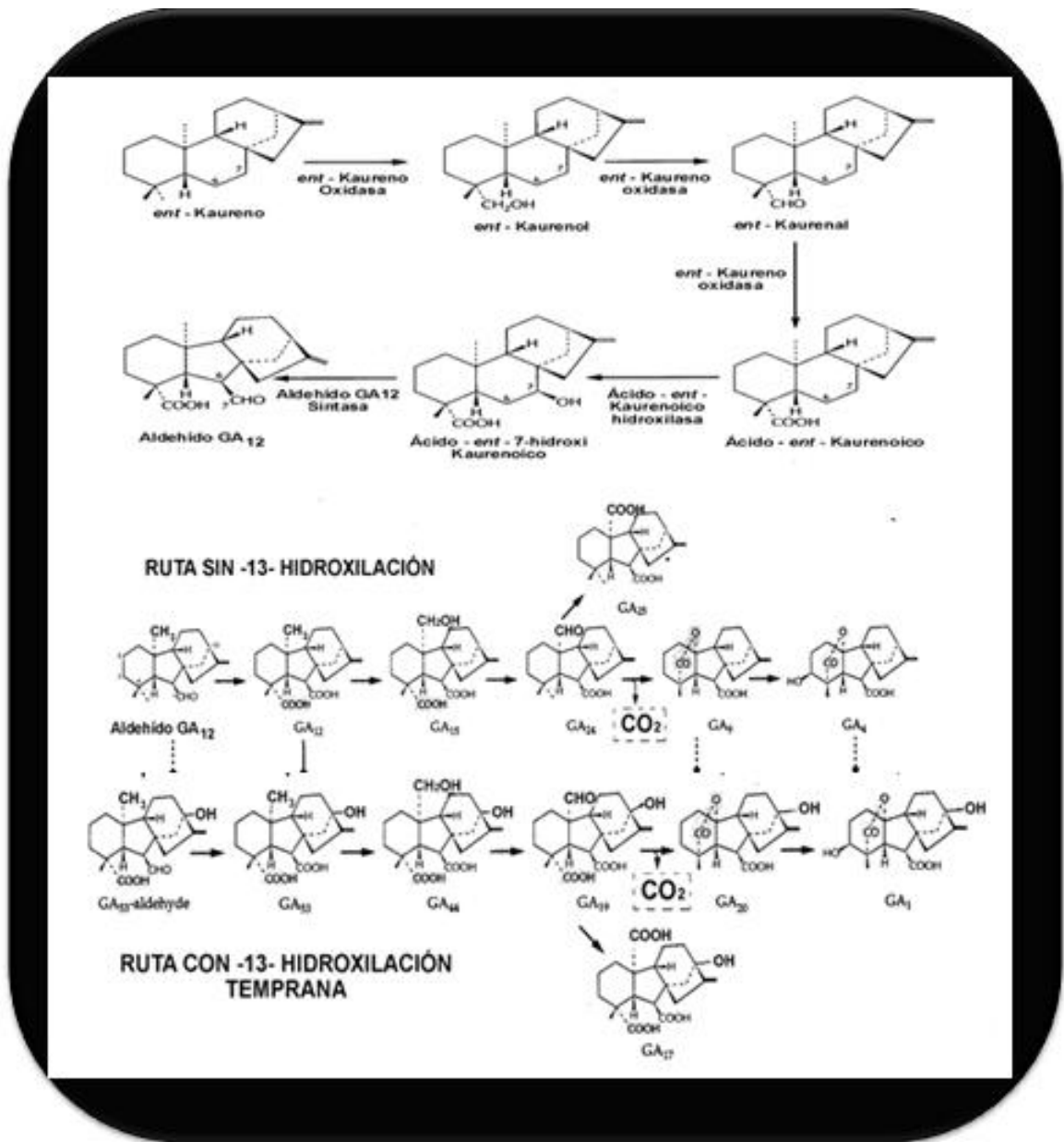


Figura 19. Síntesis de giberelinas
Tomada de (Seberol *et al*, 2005)

Se puede decir que los primeras pasos de síntesis son comunes al camino biosintético de poliisoprenoides a partir de la **Acetil CoA** y por la vía del **acetato mevalonato** se forma **isopentenil PP**, que representa la unidad isoprélica base de estos compuestos. Luego

continuará la síntesis con formación de geranil PP, farnesil PP y **geranil geranil PP** (compuesto de 20 carbonos, dador de todos los carbonos de las giberelinas). Este compuesto se cicliza para formar el **ent-Kaureno** o (-) **Kaureno**. Por acción de monooxigenasas (del tipo citocromo P450) el C19 de este compuesto es oxidado a alcohol (ent-Kaurenol), aldehído (ent-Kaurenal) y ácido ent-Kaurenoico, a nivel de la membrana del retículo endoplásmico. En un paso posterior el anillo B se contrae por expulsión del C7 pasando de un anillo de 6 Carbonos a otro de 5, formando el **gibano**, luego por oxidación en C7 se forma el **GA₁₂ aldehído**. El aldehído GA12 se transforma en giberelina tipo C19 mediante dos rutas, una que involucra la 13 hidroxilación temprana y otra donde no se hidroxila esa posición. En ambas vías hay descarboxilación y reacciones catalizadas por oxidasas de membrana y citosolicas (Seberol *et al*, 2005).

3.3.2 Funciones de las Giberelinas

En las plantas fisiológicamente más activas son las giberelina A1 (GA1) y giberelina A4 (GA4), el (GA3) Ácido giberélico aparece poco en plantas superiores (Garcia , 2012).

Las giberelinas biológicamente activas, actúan como reguladores esenciales del desarrollo de las plantas y cubren todos los aspectos de la historia de vida de las plantas, modulando varias respuestas del crecimiento como la germinación de semillas, el crecimiento del tallo, la partenocarpia, la expansión foliar, la elongación de la raíz, la floración y la liberación de enzimas hidrolíticas en algunos tejidos (Aguilar, 2010).

3.3.2.1 Elongación de los tallos

Las respuestas más sorprendentes a la aplicación de giberelinas se observan en los enanos genéticos, en los cuales los genes necesarios para la síntesis de giberelinas aparentemente han mutado dando lugar a formas inefectivas, éste fenómeno se mostró por primera vez en plantas de maíz enano. Por supuesto las plantas que son enanas por otros factores, como

baja cantidad de auxinas, no responden a la aplicación de giberelinas (Jordan y Casaretto,2006)

En algunas ocasiones se quiere inhibir la elongación de tallos por ejemplo se considera que los crisantemos son mejores cuando tienen tallos chaparros. Actualmente se conocen diversos compuestos sintéticos que inhiben la síntesis de giberelinas cuando se aplican a plantas intactas. Estos retardadores de crecimiento son considerados de importancia comercial y se les ha dado el nombre de antigiberelinas (Salisbury, 1988)

3.3.2.2 Rompimiento de latencia en brotes y semillas

Específicamente las giberelinas aumentan la elongación celular, haciendo posible que las raíces puedan atravesar las cubiertas de las semillas. Este efecto de las giberelinas tiene al menos una aplicación práctica, el ácido giberélico acelera la germinación de las semillas y por ello asegura uniformidad en la producción de la malta de cebada usada en la cervecería. Las semillas de la mayoría de las plantas precisan un periodo de letargo antes de que puedan germinar. En determinadas plantas, normalmente el letargo sólo puede ser interrumpido por la acción del frío o de la luz. En muchas especies, entre las que cabe incluir la lechuga, el tabaco, y las avenas espontáneas, las giberelinas pueden sustituir el factor que interrumpe el letargo, promoviendo así el crecimiento del embrión y la salida de la plántula (UPV, 2012).

3.3.2.3 Juventud

Las giberelinas influyen en la relación que existe entre las formas juvenil y adulta de las plantas. En muchas especies las plantas jóvenes no pueden florecer y pueden tener hojas con formas diferentes a las hojas en fase adulta. Muchos árboles especialmente las coníferas tienen periodos juveniles prolongados durante los cuales no hay producción de estructuras reproductivas. Si se aplica giberelinas a estos árboles frecuentemente las coníferas se convierten en adultas y entonces hay formación de conos (Salisbury, 1988).

Las giberelinas intervienen además en la división mitótica en los ápices de las plantas haciendo que haya una mayor longitud de los entrenudos o bien aumentando la cantidad de éstos en especial en plantas con tallo en roseta (Salisbury, 1988).

Se sabe que diversos programas endógenos de desarrollo y factores externos alteran los niveles endógenos las giberelinas en las plantas a través de cambios con la expresión de genes que codifican enzimas de metabolismo, por tanto el conocimiento de regulación de expresión de dichos genes es importante para identificar los mecanismos moleculares implicados en el desarrollo y para conocer como estos mecanismos ayudan a las plantas a adaptarse a los cambios medioambientales mutación de pérdida y ganancia de función de factores transcripcionales afectan de modo severo a procesos de desarrollo dependientes de giberelinas, lo que apoya la idea de que dichos factores pueden ayudar a regular el metabolismo de Giberelinas (Rodriguez, 2004).

3.3.3 La floración y las giberelinas

En 1950 los investigadores descubrieron que las plantas en respuesta a periodos de bajas temperaturas o días largos frecuentemente florecían cuando se les trataba con concentraciones altas de giberelinas. También encontraron que las concentraciones de giberelinas normalmente aumentan cuando estas plantas florecen. Las plantas que presentan ésta respuesta generalmente son plantas arrosetadas como el diente de león, la zanahoria, la remolacha, todas sus hojas provienen de tallos reducidos y cuando florecen aparece un vástago que se alarga rápidamente en un proceso que se llama Lanzado. Actualmente se piensa que la respuesta principal a las giberelinas es el alargamiento del tallo y que éste lleva indirectamente a la floración (Salisbury, 1988).

Según Taiz (2006), las giberelinas pueden Influenciar la iniciación floral y la determinación sexual debido a que pueden sustituir el requisito de día largo o frío para la floración de muchas plantas, especialmente las especies de roseta.

Por otra parte, la aplicación exógena de giberelinas acelera la floración. Parte de la promoción de la floración a través de la vía facultativa podría ejercerse a través de la activación de la síntesis de giberelinas, según sugiere el hecho de que la actividad de las enzimas que sintetizan estas hormonas está bajo control circadiano (Blázquez, 2000), El mismo autor asegura que existen tres vías para la estimulación de la floración en las plantas. Estas tres vías son: La luz, la temperatura y las giberelinas, siendo la más corta la ruta de estimulación de las giberelinas.

Las giberelinas son además un componente del estímulo de floración en algunas plantas, donde las flores son unisexuales la determinación del sexo floral es genéticamente regulado. Sin embargo, también está influenciado por factores ambientales, tales como el estado nutricional y fotoperiodo, y efectos medioambientales como se ha hablado antes, pueden ser mediada por la giberelina, por ejemplo, las flores estaminadas (macho), y las flores pistiladas (hembra) están contenidas en la flor. La exposición a días cortos y noches frías aumenta los niveles endógenos de giberelinas en más de 100 veces y al mismo tiempo provoca feminización flores. La aplicación exógena de ácido giberélico también puede inducir flores femeninas o pistiladas (Taiz, 2006)

En *Arabidopsis* se ha observado que las giberelinas promueven la floración, se han descrito funciones en los genes GA1, GA4 y GA5, las giberelinas participan en el proceso floral los cuales en ausencia de giberelinas inhiben la inducción de SOC1, la regulación de ésta vía se daría mediante condiciones ambientales o fisiológicas que modularían la expresión de la GA20 – Oxidasa. Las giberelinas actuarían en forma redundante con la vía foto periódica, y sería una de las vía principales para la floración (Guevara, 2003).

Browning (1973) plantea que la ruptura de la dormancia de las yemas florales está controlada por hormonas, después que las lluvias o el riego rompen la dormancia el contenido de giberelinas aumenta rápidamente, mientras que no se altere en la savia del xilema. La giberelina en las yemas disminuye tan pronto como se inicia el crecimiento rápido. Los contenidos absolutos de ácido abscísico no cambian sino hasta cuatro días antes de la antétesis aumentando de allí en adelante, Browning sugiere que el reinicio de

crecimiento que lleva a la antítesis puede ser regulado por la liberación de giberelinas libres a partir de formas ligadas a las yemas, reconoce la existencia de un estímulo secundario que se transporta en el xilema, posiblemente una citoquinina podría estar involucrada. Después de romperse la dormancia de las yemas florales por la lluvia, aumenta el contenido de almidón en la corola, hasta nueve días antes de la antesis. Posteriormente disminuye poco a poco al principio y violentamente al llegar al cuarto día previo a la antesis. Los azúcares aumentan constantemente hasta la florescencia (Maestri, 1982).

4 CAMBIO CLIMÁTICO

Los impactos climáticos son definidos como las consecuencias del cambio o variabilidad climáticas en los sistemas naturales, transformados y/o humanos; por lo tanto, las fases fenológicas de especies silvestres o domesticadas pueden ser afectadas por estos impactos (Villers *et al*, 2009)

El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como lo evidencian un número significativo de cambios observados y sus respuestas que están siendo investigados tanto para los sistemas naturales como para los manejados. Estas evidencias abarcan impactos en los ciclos estacionales y de vida (fenológicos) de las especies, lo que incluye desde la retención o caída de las hojas hasta cambios en la floración y la maduración de frutos, entre otros (Villers *et al*, 2009).

El cambio climático está presente en la subregión andina desde hace más de tres décadas. En 1990 se registraron a nivel mundial cambios en la temperatura global de 0,2 °C por década y, entre 1974 y 1998, este incremento en la región de los Andes Centrales fue de 0,34 °C; es decir, un 70% más que el promedio mundial. Asociada al retroceso y a la desaparición de los glaciares, la alteración de los caudales afectaría el acceso a fuentes de agua para consumo humano, lo que implicaría, casi indiscutiblemente, graves consecuencias para la ciudad de Lima, por ejemplo. Se dañarían muchos sistemas de energía hidroeléctrica. (Comunidad Andina, 2008)

Los sistemas agrícolas de subsistencia ya se ven afectados por los patrones anómalos de lluvia y la subida de las temperaturas. Los ecosistemas de montaña (páramos, humedales de altitud, bosques nublados) se encuentran entre los ecosistemas más sensibles a los cambios climáticos. Aunque no existen pruebas científicas comprobadas, hay datos recientes que sugieren que la alteración de los ciclos hidrológicos de los ecosistemas de altitud podrían estar relacionados con la alta incidencia de incendios forestales ocurridos en la última

década. Dicha alteración de los ciclos hidrológicos causaría desequilibrios que pueden repercutir incluso en la región amazónica. “El Niño” y “La Niña” (El Niño Southern Oscillation - ENSO) son fenómenos climatológicos que representan una amenaza. (IPCC-WGI, 2007)

Estudios realizados en Perú sugieren que este fenómeno aumentará en intensidad y, probablemente, en frecuencia, por efecto del cambio climático. En los últimos siete años, las emergencias por inundaciones, sequías, deslizamientos y heladas, entre otros, se han duplicado mostrando la vulnerabilidad de la región respecto a la adaptación y la necesidad de respuesta a dichos fenómenos. (Agrifort Cosult, 2009)

Durante el desarrollo de “El Niño”, se identifican cuatro fases: Inicio, desarrollo, madurez y debilitamiento. La fase inicial corresponde al desplazamiento de aguas cálidas desde el sureste de Asia y Polinesia ecuatorial hacia el centro del océano Pacífico, debido a la disminución en la intensidad de los vientos alisios que soplan desde el Oriente hacia el Occidente; en la fase de desarrollo las aguas cálidas se desplazan desde Asia hacia Suramérica; en la fase de madurez ocurre el máximo calentamiento frente a las costas de Perú, Ecuador y Colombia y, por último, en la fase de debilitamiento se va retornando a la normalidad, en la cual los vientos alisios empiezan a recuperar su intensidad y la temperatura de las aguas superficiales comienzan a disminuir. Estas condiciones originan lluvias intensas en Ecuador y Perú, y sequías en algunas regiones del continente asiático, en África y Australia (Jaramillo,2009).

Hoy se puede afirmar que “El Niño” y “La Niña” existen hace miles y quizás millones de años, pues estos fenómenos, que afectan a la atmósfera y a los océanos, son el resultado, entre otros muchos factores, de la rotación de la tierra, de la redistribución de la energía recibida desde el sol y de la disposición de los continentes en relación con los mares, que data desde hace unos 50 millones de años (Roberto, 2010).

Sin desconocer que causas antropogénicas como el aumento de los gases de invernadero, el dióxido de carbono, el metano y el óxido nítrico han acelerado los procesos e intensificado las frecuencias e intensidades de los eventos (IPCC-WGI, 2007).

En la zona cafetera colombiana la variabilidad climática asociada a los fenómenos de “El Niño” y “La Niña” produce cambios en la distribución y magnitud de los elementos del clima (Jaramillo *et al.*, 2009). Durante los últimos tres años, estos cambios han reducido la producción de café por disminución en la floración y por incidencia de enfermedades como la roya del café *Hemileia vastatrix*. Los periodos de excesos de lluvias durante las épocas habituales de mayor floración ocasionan que los “cominos” permanezcan en reposo durante un tiempo más largo y que en consecuencia las floraciones sean dispersas, muy poco concentradas, de poca magnitud o que presenten anomalías en el desarrollo de la flor (Jaramillo y Arcila, 2009). El exceso hídrico se relaciona negativamente con el número de botones florales en café, por tanto cuando se presentan más de 20 días por trimestre con valores mayores 0,5 IEH (Índice de exceso hídrico). Se reduce fuertemente el número de botones florales (Ramírez *et al.*, 2011).

La temperatura, representada por la suma térmica o tiempo térmico y por la amplitud térmica explicaciones en la floración del café. Es necesario que se acumulen 1100°C de temperatura por trimestre y que no se presenten más de 50 días por trimestre con amplitud térmica inferior a 10°C. La amplitud térmica con diferencias superiores a 10°C coincide con la mayor floración de las localidades. (Ramírez *et al.*, 2011).

Las correlaciones entre la cantidad total de lluvia y las producciones de café en el área de Chinchiná (Colombia), mostraron que para una eficiente correlación entre el transcurso del clima y la próxima producción de café, no es suficiente el registro de crecimiento del año anterior o el de la florescencia, que se efectúa en relación directa con la precipitación. Hay que tener también en cuenta el transcurso meteorológico (favorable y desfavorable), durante la época en la cual ocurre la competencia causada por las necesidades de la planta para la maduración. Otros elementos pueden aprovecharse para investigar la correlación con la formación de las yemas florales (Trojer, 1962).

Según la FNC (2012), la disminución por producción debido al fenómeno de “La Niña” ha sido de un 30% de la producción, durante los últimos años.

5 MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Ubicación

La fase experimental se realizó en el Municipio de Buriticá en el Departamento de Antioquia, ubicado sobre la cordillera occidental, en la vertiente del Cauca a 1630 m.s.n.m. de la cabecera municipal y a 1836 m.s.n.m en la vereda Sincierco, en la Finca el Limón. Ésta finca cuenta con una predominancia en suelos Andisoles derivados de cenizas volcánicas, serie Salgar, definida por la Federación de Cafeteros como un suelo cascajoso, con altos contenidos de arcilla. Previo al inicio de la sección experimental se realizó un análisis de suelo, empleando la metodología propuesta por Corpoica (Corpoica, 2011). (Figura 22).

La Zona de vida de la vereda Sincierco es la definida por Holdridge como Bosque húmedo Montano bajo (bh-MB), con temperatura promedio superior a los 12 C° y precipitaciones que van entre los 1000 y los 2000 mm anuales (Tabla 2). Es una zona de vida donde predomina la vida arbórea.

Tabla 2. Descripción de condiciones de la zona de vida.

Altitud	2100 m.s.n.m
Temperatura	12 - 17 C.
Precipitación	1900 n (mm)
Formación vegetal	bh-MB

5.2 Diseño experimental

La fase experimental se llevó a cabo en un lote de 0,5 hectáreas, con 2959 árboles de café arabica, variedad Castillo cultivar Rosario, sembrados, a una distancia de siembra de 1,3 X 1,3 m siembra en cuadro. Se seleccionaron los surcos de las plantas a las cuales se les aplicarían los tratamientos, según se observa en la **(Figura 20)**. El proyecto se inició con plantas de 28 meses de edad, los últimos análisis se hicieron cuando las plantas tenían 34 meses de edad.

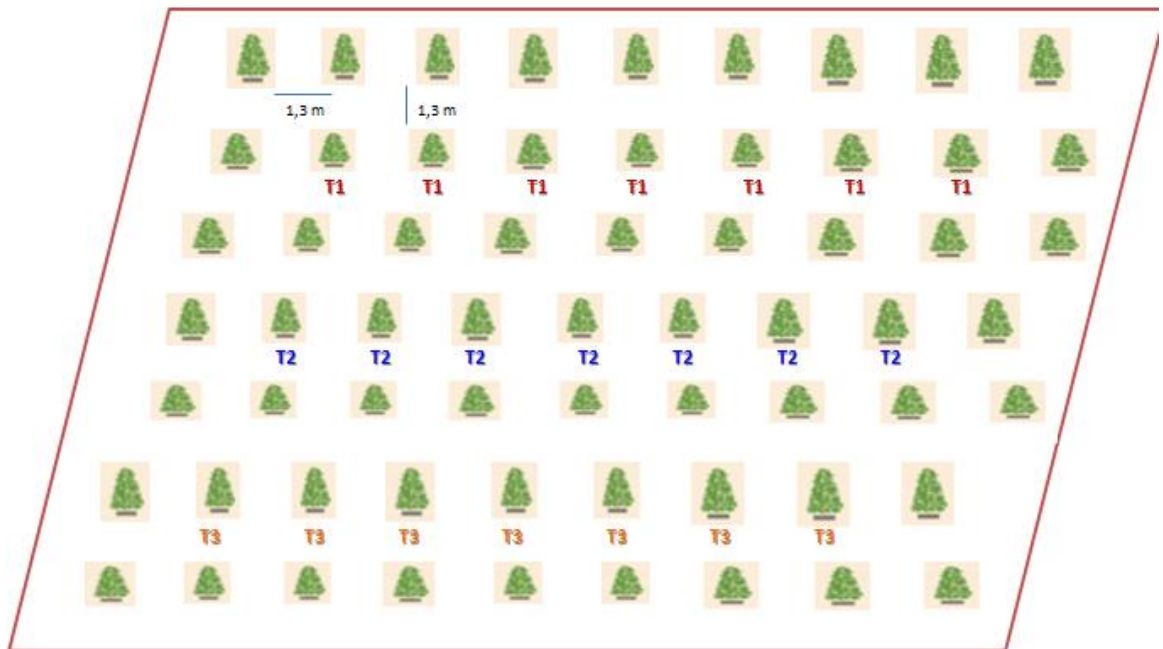


Figura 20. Diseño y distribución de tratamientos en campo.

Luego, a las plantas seleccionadas se les realizó aplicación de ácido giberélico (AG) Nombre comercial GIBGRO® 90% SP distribuido por Nufarm en presentación de 100 g como polvo soluble. Ingrediente activo: (3S,3aS,4S,4aS,7S,9aR,9bR,12S)-7,12-dihydroxy-

3-methyl-6-methylene-2-oxoperhydro-4a,7-methano-9b,3-propeno[1,2-b]furan-4carboxylic acid.

La aplicación se realizó en dos dosis:

1. 100 ml de AG en 20 litros de agua. Concentración del 0,5%. Este tratamiento fue llamado tratamiento (T3).
2. 20 ml de AG en 20 litros de agua, concentración 0,1%. Este tratamiento fue llamado (T2).
3. 0 ml de AG. Testigo. (T1)

Estas soluciones fueron aplicadas en forma foliar entre las 7 a.m y 10 a.m con bomba de espalda, con boquilla de baja descarga (menos de 180 cc/ minuto), en aplicaciones desde abajo hacia arriba, con el fin de asperjar el envés de la hoja.

5.3 Toma de datos

La muestra fué de 256 individuos dentro de una población de 2959 árboles. Para la compilación de los datos se tomaron 28 árboles por tratamiento y se evaluó la rama más larga de la parte media superior de los árboles. En esta rama, los días 23 de los meses de Agosto y Noviembre del año 2012 y Febrero del año 2013, se contó en número de entrenudos y flores presentes.

Teniendo en cuenta lo propuesto por Moreno (2007) la medición o conteo de la floración se hizo después de la latencia. Se realizó medición con pluviómetro artesanal diariamente y posteriormente se realizaron promedios con información pluviométrica regional.

5.4 Análisis estadístico

Los datos fueron sometidos a análisis estadístico mediante la prueba T- Student con probabilidad del 95% de nivel de significancia. En el paquete de datos Excel.

6 RESULTADOS Y ANÁLISIS

El presente capítulo ilustra y analiza los resultados obtenidos en las mediciones realizadas durante los seis meses de observación (Agosto de 2012 hasta Febrero de 2013), de acuerdo a la evaluación por aplicación de ácido giberélico. Antes de eso es necesario tener en cuenta las variables ambientales como la precipitación, que están ligados inversamente al proceso de floración del café.

6.1 Precipitación

Las precipitaciones en milímetros durante un año (**Figura 21**) Febrero del año 2012 hasta el mes de Febrero del año 2013. Se observó que los meses más lluviosos fueron Abril, Mayo, Agosto, Octubre y Noviembre del año 2012, con valores promedios de entre 240 y 370 mm de lluvia. Mientras que, durante los meses de Febrero de los años 2012 y 2013 se observó una menor precipitación con valores de 50 a 150 mm por mes. Tabla 3

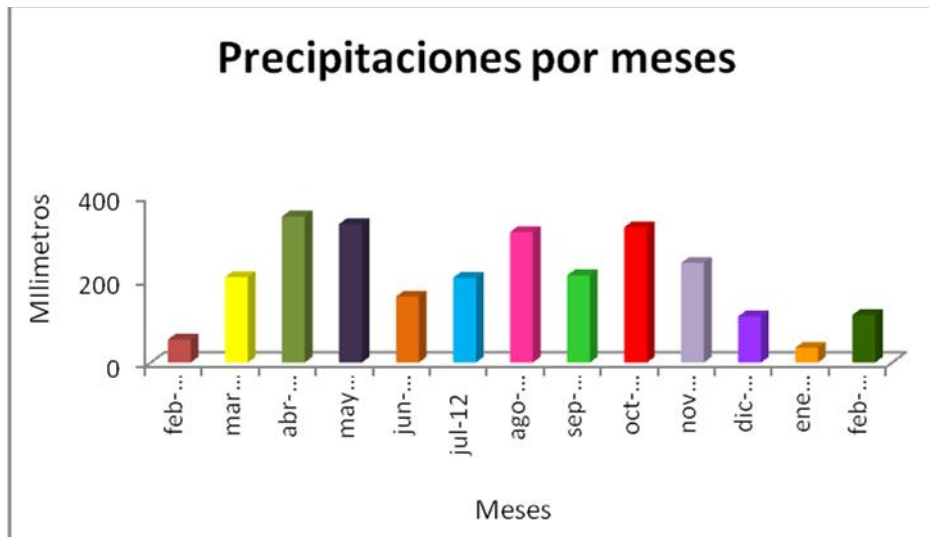


Figura 21. Precipitaciones presentadas por mes.

Según (Da Matta, 2007) para *C. canephora* y *C. arabica* L., es necesaria una fase seca para estimular la floración. Además, plantean que las precipitaciones abundantes son responsables de bajos rendimientos en la producción del café. Con base en esto y en los datos de precipitación presentados en la **Figura. 21** y en la Tabla 3, se espera tener una menor floración después de los meses más lluviosos es decir durante los meses de Agosto y Noviembre. La época de mayor floración debe ser según lo reportado por como (Arcila *et al*, 2007) Después de un periodo seco y se debe presentar con las primeras lluvias entre los meses de enero y marzo.

Tabla 3. Datos de precipitaciones por mes.

Fecha	Precipitaciones en mm
Feb-13	114,34
Feb-12	55,27
Ago-12	314,17
Sep-12	210,09
Oct-12	325,7
Nov-12	239,75
Dic-12	110,92

6.2 Análisis de suelos

El análisis de suelos fue realizado en la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. El suelo empleado en estudio presenta comportamiento ácido, lo cual es característico de los Andisoles de clima frío. El contenido de materia orgánica es bastante alto (17 %) debido a que la meteorización en las zonas altas es baja. El nivel de fósforo fue también alto, 20

mg/kg. Lo cual concuerda con lo reportado por Jaramillo (2002), indica que en este tipo de suelo se fija el fósforo. Los demás niveles de minerales están en promedios normales, a excepción del porcentaje de saturación de aluminio el cual fue es del 20%. Este suelo es Franco Arenoso con densidad aparente de 0,62 y con 65.7% de humedad gravimétrica. Adicionalmente, el resultado de la concentración de los cationes (K^+ , Ca^+ , Mg^{++}), mostró que no están en balance; lo cual se verá reflejado en alteraciones o problemas durante las fertilizaciones.

PRECIPITACIÓN (mm)	2.500	ÁREA: (Ha)	2.00	DENSIDAD (Árboles/ha):	10.000	
		ALTITUD (m s.n.m.)			10000	
DENSIDAD APARENTE:	0,62	FECHA ANÁLISIS:	2012-07-24			
		EXPOSICIÓN SOLAR				
		Sol	3. DETERMINACIÓN DE NECESIDADES NUTRICIONALES:			
RESULTADOS DEL ANÁLISIS				ELEMENTO	EXTRACCIÓN	NECESIDAD (kg/Ha)
pH	5,3	MICRONUTRIMENTOS		N	312	293
M. O. (%)	17,0	HIERRO ($mg\ kg^{-1}$)	157,0	P_2O_5	173	167
FÓSFORO ($mg\ kg^{-1}$)	20	MANGANESO($mg\ kg^{-1}$)	7,0	K_2O	390	390
POTASIO ($cmol_c\ kg^{-1}$)	0,18	COBRE ($mg\ kg^{-1}$)	9,0	CaO	719	719
CALCIO ($cmol_c\ kg^{-1}$)	2,0	ZINC ($mg\ kg^{-1}$)	4,0	MgO	230	230
MAGNESIO ($cmol_c\ kg^{-1}$)	0,5	BORO ($mg\ kg^{-1}$)	0,52	S	52	45
AZUFRE ($mg\ kg^{-1}$)	7,0	CLASE TEXTURAL	F.A.	Fe	Revise N.C.	Revise cultivo
ALUMINIO ($cmol_c\ kg^{-1}$)	0,7	ARENA (%)	68	Mn	Revise N.C.	Revise cultivo
C.I.C.E.	3,36	LIMO (%)	16	Cu	Revise N.C.	Revise cultivo
SAT DE AI (%)	20,83	ARCILLA (%)	16	Zn	Revise N.C.	Revise cultivo
				B	Revise N.C.	Revise cultivo
					BORAX 48% (g/árbol)	#¡VALOR!

Figura 22. Resultado del análisis del suelo en estudio.

Según Gómez y Suarez (1979), el café es un cultivo muy exigente en una buena relación aire-agua, según la calificación de los factores del suelo se requiere una calificación mayor de 70 puntos, menos de 50 sería mala. El pH debe estar entre 4,8 a 6,0. Un grado de agregación mayor de 80 da una estabilidad estructural muy alta, en cambio menos de 20 es

muy baja. El suelo es resistente a la erosión cuando la pendiente de un suelo (cafetales al sol) es de 70 por ciento y éste tiene estructura fuerte, muy estable, abundante contenido de materia orgánica y agentes cementantes. Es muy susceptible si tiene una pendiente del 10 por ciento y sus características inversas al anterior. Para el cultivo del café los rangos térmicos favorables son: temperatura media anual entre 19 y 21,5 grados °C. Se recomienda para cafetales al sol aquellas zonas que presentan entre 160 a 200 días lluviosos al año.

En la **(Figura 23) Figura 23.** Fotografía del suelo en estudio.se observar un corte trasversal profundo del suelo estudiado donde se aprecia: el horizonte A profundo con alto contenido de materia orgánica y horizontes B y C con trazas de materia orgánica al igual que hierro.

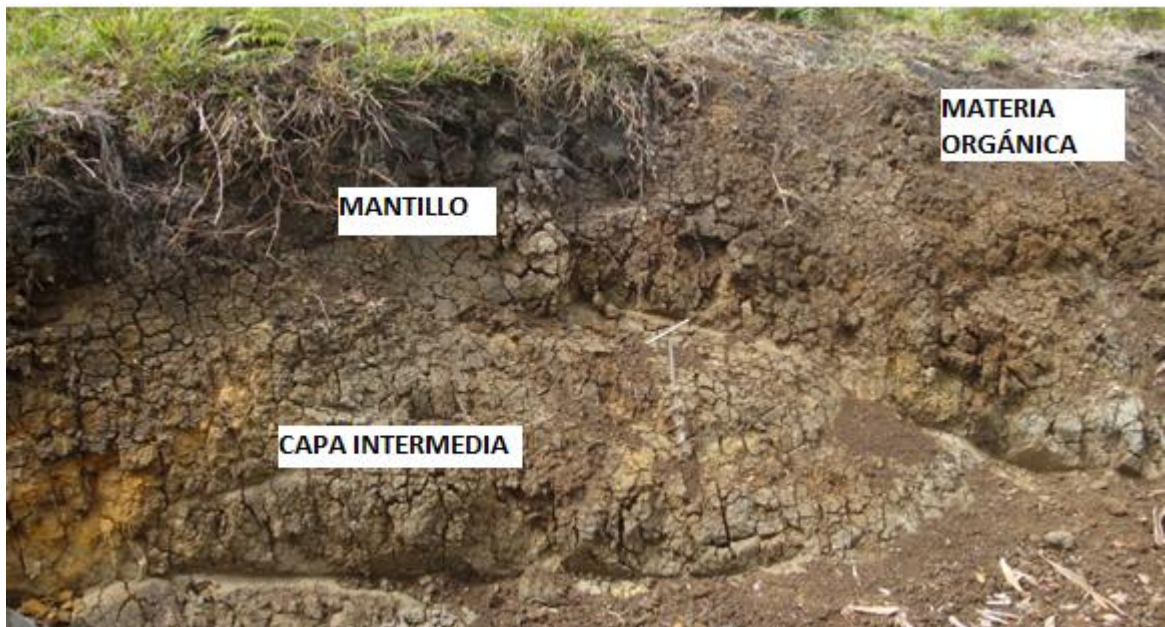


Figura 23. Fotografía del suelo en estudio.

6.3 Desarrollo de entrenudos

El desarrollo de los entrenudos de los árboles de café fueron mayores durante los meses de Noviembre de 2012 y Febrero de 2013, después de tres y seis meses respectivamente de las aplicaciones. Además, se observó que el desarrollo de los entrenudos fue mayor en las plantas sometidas al Tratamiento 3 (T3) (Aplicación foliar de ácido giberélico al 0,5%) durante los meses de Agosto y Noviembre, encontrando entre 15 y 17 entrenudos respectivamente. (Figura 24)



Figura 24. Comparación de medias del desarrollo de entrenudos por tratamiento por mes.

Sin embargo, en el mes de Febrero del año 2013, se observó un mayor desarrollo de entrenudos en el tratamiento 2 con un valor de 18 entrenudos en promedio. Según Briceño (1992), entre los meses de enero y abril hay una disminución del crecimiento vegetativo debido a que disminuye la disponibilidad de agua en el suelo para la planta y por tanto el

ácido abscisico disminuye. Por el contrario, el desarrollo reproductivo empieza y los niveles de giberelinas aumentan. Sin embargo, el grupo de Montoya *et al*, (1961) argumentan que el número de entrenudos por rama aumentó durante los meses de enero a abril en un promedio de 2,32 a libre exposición. Según los mismos autores existe una estrecha relación entre el número de entrenudos y la producción de café cereza del año siguiente.

Según el análisis de varianza para el desarrollo de entrenudos por mes, se obtuvo que cada dos meses se presentó un aumento en el número de entrenudos de 1,84. Es decir que hubo un aumento de 0,38 mayor que en condiciones sin aplicación de giberelinas.

El anterior resultado es soportado por Salisbury, (1988) quien afirma que las giberelinas intervienen además en la división mitótica en los ápices de las plantas haciendo que haya una mayor longitud de los entrenudos o bien, aumentando la cantidad de éstos. El mismo autor plantea que la respuesta principal a las giberelinas es el alargamiento del tallo y que éste lleva indirectamente a la floración.

De acuerdo a lo establecido por Seberol, (2005), se infiere que una planta puede producir varias giberelinas, aunque no todas ellas sean activas. Se forman en ápices de tallos y raíces, en hojas jóvenes, partes florales, semillas inmaduras, embriones en germinación. En general las partes vegetativas contienen menos giberelinas que las partes reproductivas.

6.4 Desarrollo de floración

La (Figura 25) **Figura 25.** Comparación de medias de floración entre tratamientos por mes. Muestra el desarrollo floral presentado por los árboles de café durante los meses de Agosto y Noviembre del año 2012 y Febrero del 2013. Donde, durante el mes de Agosto (2012) se presentaron entre 20 y 70 flores por rama; valor superior al obtenido al promedio. El tratamiento (T3) -Aplicación foliar de ácido giberélico al 0,5%- arrojó una mayor floración.

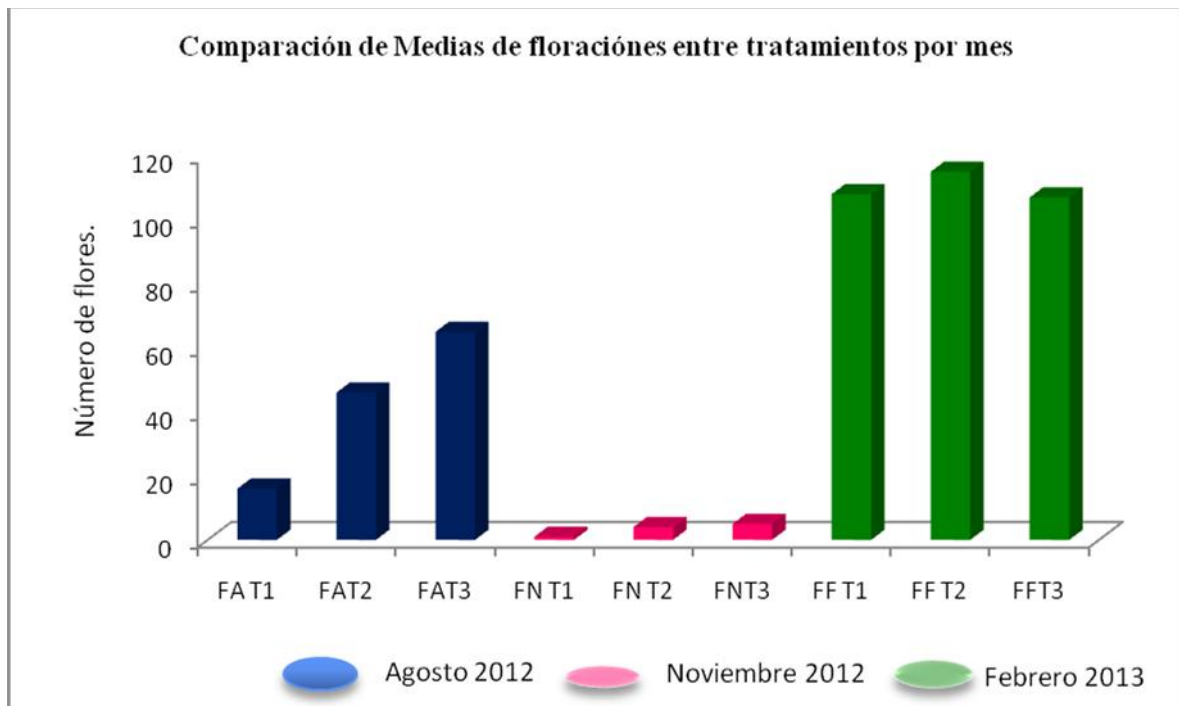


Figura 25. Comparación de medias de floración entre tratamientos por mes.

Durante el mes de Noviembre (mes de precipitaciones promedio de 239 mm) se presentaron floraciones de entre 1 y 5 flores por rama, **Figura 25** fue el mes donde se presentó la menor cantidad de flores en comparación con los otros meses y comparando los

tratamientos aplicados se presentó una mayor floración en los tratamientos que el testigo, con diferencia estadísticamente significativa, **Tabla 5**.

A su vez, en el mes de Febrero se observó una mayor floración comparada con los otros 2 meses de medición anteriores, Agosto y Noviembre del año anterior.

En el mes de Enero se presentó una precipitación promedio de 114 mm, siendo precedida por precipitaciones promedio de 110 y 90 mm durante los meses de Diciembre y Enero, **Figura 21**. Precipitaciones presentadas por mes. dicho déficit hídrico posiblemente provocó una mayor floración en los árboles de café sujetos de medición, contrario a lo ocurrido en los meses de Agosto y Noviembre. Durante el mes de Febrero hubo una mayor floración con los arboles sometidos al tratamiento 2 y al testigo que es el tratamiento 1. Con floraciones entre 110 y 120 flores por rama media superior del árbol medido.

Teóricamente la floración en la Zona Andina colombiana se presenta en el mes de Febrero para la cosecha principal, lo anterior no había ocurrido durante los últimos cinco años, donde por excesos de lluvia por fenómeno de “La Niña”, la floración había sido dispersa y disminuida. (**Figura 9**)

La giberelina en las yemas disminuye tan pronto como se inicia el crecimiento rápido. Los contenidos absolutos de ácido abscísico no cambian sino hasta cuatro días antes de la antétesis aumentando de allí en adelante. Browning (1975), sugiere que el re-inicio de crecimiento que lleva a la antétesis puede ser regulado por la liberación de giberelinas libres a partir de formas ligadas a las yemas. Reconoce la existencia de un estímulo secundario que se transporta en el xilema, posiblemente una citoquinina podría estar involucrada. Después de romperse la dormancia de las yemas florales por la lluvia, aumenta el contenido de almidón en la corola, hasta nueve días antes de la antesis. Posteriormente, disminuye poco a poco al principio y violentamente al llegar al cuarto día previo a la antesis. Los azúcares aumentan constantemente hasta la florescencia (Maestri, 1982) La variabilidad en el desarrollo floral durante los meses de medición fue de 2343, es decir que el aumento de la floración desde Agosto de 2012 a Febrero de 2013 presentó un aumento de 2400 veces aproximadamente.

Por medio de la prueba de significancia T-Student con probabilidad del 95%, se identificó diferencia significativa entre la floración generada por los árboles medidos durante los 6 meses de medición. (Tabla 4)

Tabla 4. Análisis de diferencias significativa de la floración evaluada por mes.

Análisis T-Student.

Diferencia significativa de Floración en los meses Agosto y Noviembre 2012 y Febrero 2013.	P- Value
T -Student Agosto y Noviembre de 2012	4,51294E-20
T -Student Agosto de 2012 y Febrero de 2013	2,19387E-35
T - Student Noviembre de 2012 y Febrero de 2013	7,92382E-57

En la **Tabla 5. Evaluación** de la diferencia significativa de la floración evaluando mes y tratamiento. Se observa que no hubo diferencia significativa entre las floraciones de los tratamientos durante el mes de Agosto, mientras que entre tratamientos y testigo si hubo diferencia significativa.

De igual manera ocurre durante el mes de Noviembre, donde no se encuentra diferencia significativa entre los tratamientos, pero si se encuentra con el testigo.

Para finalizar se analizó la floración obtenida durante el mes de Febrero del año 2013 y se encontró que no hubo diferencia significativa entre la floración de los arboles sin tratamiento y los arboles del tratamiento 3 (T3) -Aplicación foliar de ácido giberélico al 0,5%-. De la misma forma tampoco se encontró diferencia significativa entre los dos tratamientos. Es decir que factores como la baja precipitación y el estrés hídrico presentado por las plantas pudo presentar un efecto positivo en el desarrollo floral, lo anterior ocurre en consecuencia a lo enunciado por Moreno (2007) cuando define que los periodos de diferenciación y latencia están controlados por disponibilidad hídrica, hormonas y

nutrientes y que la florescencia o apertura de la flor está condicionada a un estrés hídrico previo a un periodo lluvioso.

Tabla 5. Evaluación de la diferencia significativa de la floración evaluando mes y tratamiento.

Meses	Prueba T- Student por tratamiento	P- Value
Agosto 2012	T student FAT1 y FAT2	7,83513E-17
	T student FAT1 y FAT3	6,85712E-08
	T Student FAT2 y FAT3	0,010914925
Noviembre 2012	T student FNT1 y FNT2	6,48713E-07
	T student FNT1 y FNT3	6,972E-20
	T Student FNT2 y FNT3	0,15491115
Febrero de 2013	T Student FFT1 y FFT2	0,323007795
	T Student FFT1 y FNT3	0,881352521
	T Student FFT2 y FFT3	0,306815811

Finalmente, Se observa que durante el mes de noviembre existió una floración muy baja en comparación con el número de entrenudos existentes; mientras que en el mes de Febrero de 2013 ocurrió lo contrario, es decir, una floración mucho mayor al número de entrenudos desarrollados. Se esperaba entonces según la literatura (Garcia, 2012) que los niveles de giberelinas endógenos fueron bajos durante el mes de Noviembre y aumentaron durante el mes de Febrero (**Figura 6**)

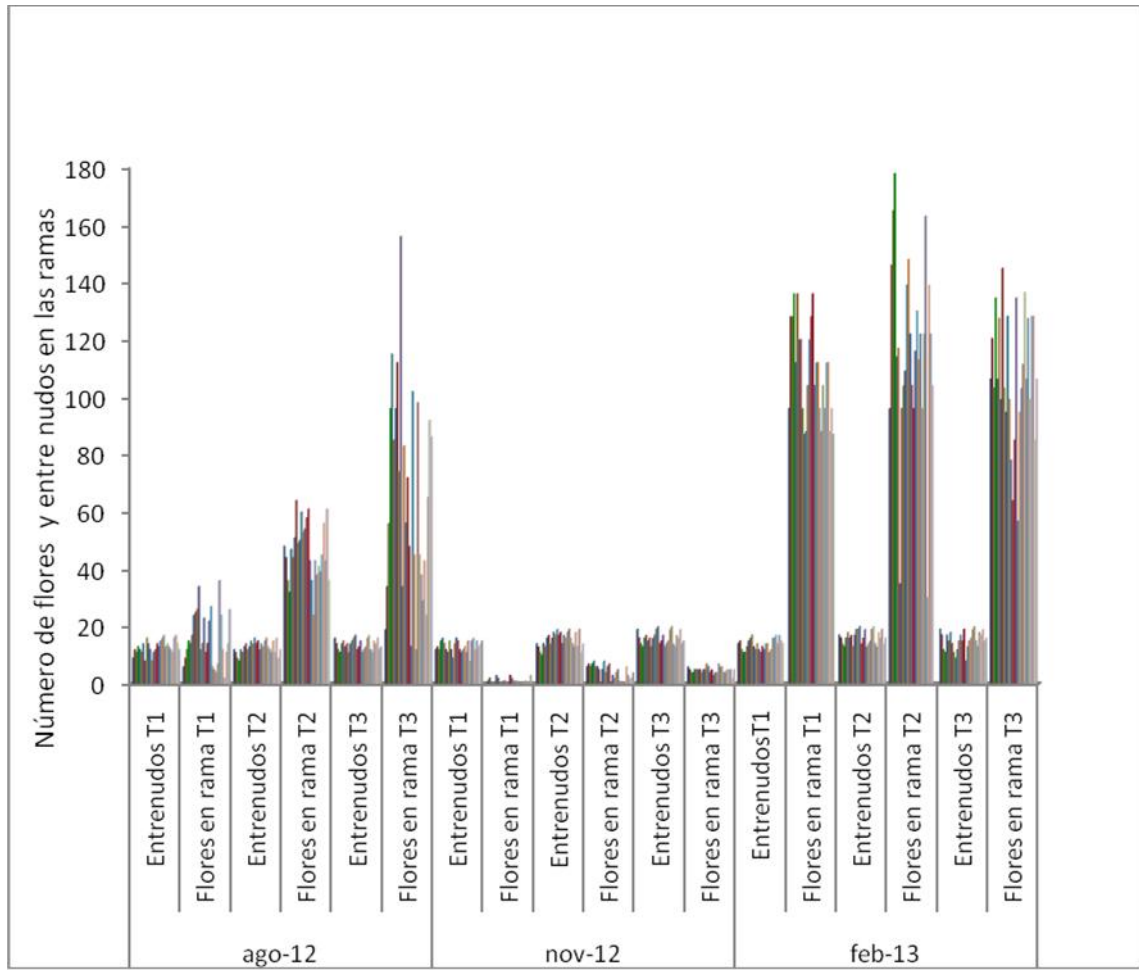


Figura 26. Desarrollo de entrenudos y flores durante los seis meses de medición por los tres tratamientos.

7 CONCLUSIONES

- Existe una relación directa entre el desarrollo floral y la aplicación externa de forma foliar al ácido giberélico.
- Entre los meses de Agosto de 2012 y Febrero de 2013 se presentó una respuesta directa de la floración a la aplicación de ácido giberélico, no presentándose diferencia significativa con relación a las dos dosis aplicadas.
- La respuesta de la floración a la aplicación de ácido giberélico actuó de forma redundante con las vías fotoperiódicas y termoperiódicas.
- De acuerdo a los resultados obtenidos, se observaron diferencias entre tratamientos T1 (testigo, T2 y T3) sin existir diferencia entre los tratamientos T2 y T3, es decir que es coherente aplicar AG al 0,1%.
- Según los resultados se puede indicar que en condiciones climáticas óptimas para la floración de café el cultivo no necesita aplicación de ácido giberélico, pero en condiciones climáticas alteradas cómo ocurre en los fenómenos climáticos de Niño y Niña si se podría recomendar éste tratamiento para inducir floración.

BIBLIOGRAFÍA

Agarwal. R. 2012 Exploring the coffe species. India. Disponible en: http://www.ccmb.res.in/coffeegermplasm/cof_species_ver1/researchers_spe.htm

Agrifort consult. 2009. Cambio climático en América Latina. Comisión Europea. Vol 4 pag 22.

Aguilar, M. C., L.M Melgarejo,. M. Romero. 2010. Fitohormonas. En Experimentos en fisiología y bioquímica vegetal Universidad Nacional de Colombia. Ed. Departamento de biología. Cap 3. 24-36.

Alvarado, S. R., G.C, Rojas. 2007. El cultivo y beneficiado del café. San José de Costa Rica. Universidad Estatal a distancia. Ed segunda. Pag 11-21

André. C., J. Berthaud. 1985. Botanical classification of coffee. In Coffe, Botany, Biochemistry and Production of beans and Bevereage. Londres y Sidney: Crom Helm, pag 49

Arcila, J. P., F. V. Farfán., B. Moreno., L.G. Salazar., E. G Hincapié. 2007. Sistemas de produccion de café en Colombia. Chinchiná, Caldas: Cenicafé. Pag 12

Balana, R. J. 2003. Determinación del efecto económico de los nemátodos fitoparasiticos en el cultivo de café. 2. Guatemala. Pag 49 – 52

Barnes 1997. Invitación a la Biología. Editorial Médica Panamericana. Ed.(5). 236-348.

Berthaud, J. 1988. Genetics resources of Coffea In: R J Clarke and R Macrae (eds) Coffee. Agronomy , Vol 4 . pag 1-42.

Blázquez, M.A. 2000. Integration of floral inductive signals in *Arabidopsis*. Nature 404: 889-892 Universidad de Brishton.

Briceno, J. 1992. Desarrollo del Coffea arabica II. Niveles endógenos de Ácido absicico y Giberelinas. *Agronomía Costarricense* 16(1) , 131-135.

Browning, G. 1975. Perspectives in the hormones Physiology. *Acta hort* 49. 27-43.

Camayo V., G.C.;Chaves C., B.;Arcila P., J.;Jaramillo R., A. 2003. Desarrollo floral del cafeto y su relación con las condiciones climáticas de Chinchiná, Caldas. *Cenicafé*. 54(1)35-49.

Campbel, N. R. 2005. *Biología*. Madrid Espana: Ed 2.Panamericana 36-54.

Cano, S. C., M.C.Vallejo., G.E. Caicedo., T.J. Amador., C.E. Tique. 2012. El mercado mundial de café y su impacto en Colombia. *Borradores de econnomía* , Vol 710. 3-11

Chalarca, J. 2011. Vida y hechos del café en Colombia. 124-265.

Corpoica. 201. Guia para las muestras de análisis de suelos. 2-9.

Disponible en.

"<http://www.google.es/search?hl=es&tbo=p&t>.

DaMatta, F. M., C. P. Ronchi., M. Maestri., R. S. Barros. 2007. Ecophysiology of coffee growth and production. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. Vol.19 no.4 Londrina Oct.

Favarin, J. 2012. Botánica, morfología y zoneamiento agrícola del café. Marco de la producción vegetal. 9-19

Flores, V. 2008. Las citoquininas están asociadas al desarrollo floral de plantas de *Solidago x luteus* en días cortos. *Agronomía colombiana*. v.26 n.2 . 8-13.

FNC. 2012. *Café de Colombia*. Disponible en: http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/el_cafe/

FNC. 2007. Principales cifras de la caficultura en Colombia.

Disponible en:

<http://mailin.cafedecolombia.com/productivo/Inscripc.nsf/792337e1.pdf>

FNC. 2012. Una mirada al estado actual y al futuro de la producción de café en Colombia. Bogotá D.C: Café de Colombia. Agrocadenas. Documento de trabajo N 59. 2-18

FNC. 2004. Cartilla cafetera cap 2. Chinchiná Caldas: Cenicafé. 4-6

Fonseca, L. 2003. Colombia: escenario social, económico e institucional de la crisis cafetera. Bogotá: Oficina Cepal. 3-14

Garcia, F. B. 2012. Identificación y caracterización de Marcadores Moleculares de Introgresión provenientes de *Coffea canephora* Pierre ex Foehner. En Líneas F5 de *Coffea arabica* L. Tesis Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. 26-32.

Garcia, F. J. 2012. Biología y Botánica. Universidad Politecnica de Valencia. Departamento de sistemas agroforestales. Reguladores de crecimiento.

Gomez A., A.; Suarez S., J.V.; (1979). Clima y suelo para el cafeto. Avance técnico de Cenicafé 86. 2-3.

Grieve, M. (2012). Botanical modern Herbar.

Disponible en:

<http://botanical.com/botanical/mgmh/c/coffee82.html>

Guevara, E. J. (2003). La reproducción de las plantas. Editorial. Universidad de Costa Rica. 35-84.

ICO. (2012). International Coffee organization.

Disponible en:

http://www.ico.org/ES/coffee_storyc.asp

IPCC-WGI. 2007. The Physical Science Basis. Editorial. Cambridge University. Arizona. 23-26.

Jaramillo R., A.; Arcila P., J. 2009. Variabilidad Climática En la zona cafetra Colombiana Asociada al evento del Niño y su efecto en la caficultura. *Avances técnicos Cenicafé* , 389. 1-3.

Jaramillo R., A.;Guzman M., O.;. 1984. Relación entre la temperatura y el crecimiento en *Coffea arabica* L., variedad Caturra. *Revista Cenicafé* , 57-65.

Jaramillo R., A.;Arcila P., J. 2009. Variabilidad climática en la zona cafetera Colombiana Asociada al evento de la nina y su efecto en la caficultura. *Avances técnicos Cenicafé*, 390.1-4

Jaramillo., D. 2002. Introducción a las Ciencias del Suelo. Medellín: Editorial.Universidad Nacional de Colombia. 124-130

Jordan, M., J. Casaretto. 2006. Hormonas y Reguladores del Crecimiento.Fisiología vegetal Editorial.Universidad de la Serena. (pp. 1 - 28). La Serena, Chile.

Lethan, D. S. 1968. The estructura of zeatin, factor inducing cell division. *Pocceedigs of the chemical society* , 230 - 232.

Machado, A. 2001. El Café en Colombia, principios del siglo XX. In U. N. Colombia, Desarrollo económico y social en Colombia del Siglo XX. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 109.

Maestri M., B. R. 1982. Ecofisiologia de cultivos tropicales café. Mexico: IICA/ CATIE, 132.

Montoya, L. 1961. Influencia de la luz y de la fertilización Nitrogenada sobre el equilibrio entre en crecimiento y la diferenciación de *Coffea arabica* L..*IICA* , Costa Rica 122.

Moreno M, A. 2007. Fundamentos sobre sistemas de producción. En Sistemas de producción de café en Colombia (pp. 37 - 51). Chinchiná - Caldas: Cenicafé.

News, I. 2010, mayo. Periódico digital.

Disponible en:

http://www.innovakglobal.com/periodicos_pdf/periodico_innovak_mayo10.pdf

Norman, M. 2008. Agrocadena del café. Ministerio del Ministerio de agricultura y ganadería. Costa Rica, 3-18.

Ramirez B., V. R., Arcila., J., & Montoya R., E. 2010. Estimación de la Humedad del suelo de cafetales a libre exposición. Cenicafé 61(3) , 251-259.

Roberto, A. 2010. El Fenómeno del Nino y su influencia en el clima.

Disponible en:

http://www2.ing.puc.cl/~iing/ed433/fenomeno_el_nino.htm

Rodriguez, M. R. 2004. Metabolismo y modo de acción de las fitohormonas.:Revista de Biología Universidad de Salamanca. Salamanca. 67-72

Saavedra, G. 2008. Estructuras De Hormonas Vegetales. Ciencia ahora n 21 , 41 - 44.

Sakakibara, H. 2006. Cytokinins, activity, Biosynthesis y traslocation. Annual Review of plants Biology , 431-449.

Salisbury, F. J. 1988. Botánica. México. D. F: McGraw-Hill. 48-302

Santner A., E. 2009. Plant hormones are versatile chemical regulators of plant growth. Nature Chemical Biology , n 41, 303.

Disponible en:

<http://www.scielo.br/cgi-bin/wxis.exe/iah/?IsisScript=iah/iah.xis&base=article%5>

Santos , J. A., S. Carvalho,; E. Castro,. C. N Gomes. 2010. Enra Observações anatômicas em plantas de Coffea arabica L. obtidas por enraizamiento de estacas. Rev. Ceres vol.57 no.2. 57 (2), 175 - 180.

Schaufelberger, P. 1962. Modelo para evaluar el clima en las zonas cafeteras. Revista Cenicafé. Chinchiná, Caldas , 22- 37.

Soberón J. R., Quiroga E. N., Sampietro A. R., Vattuone M. A (2005). Catedra de e Fitoquímica. Instituto de Estudios Vegetales. Giberelinas. y Citoquinas. Universidad Nacional de Tucumán. San Miguel de Tucumán. Argentina, 4-12

Suarez., J. V. (1972). El clima en la zona cafetera. Cenicafé Avance técnico n 15 .3-4

Taiz, L. Z. (2006). Physiology vegetal. Sunderland: Universidad Jaume. 322-406

Trojer, H. (1962). La clasificación natural de los climas. Cenicafé Avance técnico n 13 , 3 - 22.

Ukers, W. 1922. All about coffee. The Tea and Coffee Trade Journal Company. Nueva York , 2-34

UPV. Univeridad Politécnica de Valencia. 2012. Departamento de ecosistemas agroforestales. Reguladores de crecimiento.

Valencia A., G. 2011. Fisiología, Nutrición y fertilización del cafeto. Costa Rica, 2-8

Velez A., B.E.;Jaramillo R., A.;Chaves C., B.;Franco A., M.; 2000. Distribución de la floración y la cosecha de café en tres altitudes. Avance técnico de Cenicafé 272 , 1 -3

Villers, L ., N. Arizpe., R. Orellana., C. Conde., J. Hernández. 2009. Impactos del cambio climático en la floración y desarrollo del fruto del café en Veracruz, México. Scielo, INCI V 34 N 2 ,

Wagner, R. (2001). The History of coffe in Guatemala. Bogotá: Anacafe.12-24

