

**DESARROLLO DE FRUTAS DE CAFÉ (*COFFEA ARABICA L. VAR. LIMANÍ*)
UTILIZANDO REGULADORES DE CRECIMIENTO Y FERTILIZANTES**

Por

Waleska Torres Rodríguez

Tesis sometida en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

en

HORTICULTURA

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO

RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ

2010

Aprobado por:

Winston de la Torre Arce, Ph.D.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Wigmar González Muñiz, M.S.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Salvador Salas Quintana, Ph.D.
Presidente, Comité Graduado

Fecha

Duane A. Kolterman, Ph.D.
Representante de Estudios Graduados

Fecha

Hipólito O'Farrill Nieves, Ph.D.
Director de Departamento

Fecha

ABSTRACT

With the purpose to know the response in the development of coffee (*Coffea arabica*) berries variety Limaní, using applications of plant growth regulators and fertilizers were realized two experiments were conducted; both were done in the Agricultural Research Station at Adjuntas, Puerto Rico. The first experiment was done with an application of Pro- Gibb® (Gibberellic acid, GA), MILLERPLEX®, K-FOL® and NUTRILEAF 60® at 10, 100 and 1000 mg L⁻¹ concentrations and water, throughout the month of June. In the second experiment, four applications were done (one per crop), starting in January month, with the products aforementioned, this time CK, CK+GA y CK+NUTRILEAF 60® using the same concentrations.

The length, top diameter, stem diameter of the coffee tree and the grain size, were among the parameters established in the experiments, which were measured before and after each experiment. Before determining the grain size, the coffee fruit was processed and then were passed to a size classifier machine, model IMSA.

In the first experiment no significant changes were found between treatments, in dry grain size, except MILLERPLEX® at 1000 mg L⁻¹ concentration. Meanwhile, in the second investigation significant differences were found in the fresh and dry grain.

RESUMEN

Con el propósito de conocer la respuesta en desarrollo del grano de café (*Coffea arabica*) variedad Limaní y utilizando aplicaciones de reguladores de crecimiento y fertilizantes se realizan dos experimentos, ambos realizados en la Sub-Estación Experimental Agrícola de Adjuntas, Puerto Rico. En el primer experimento se realizó una aplicación de Pro- Gibb® (ácido giberelico, GA), MILLERPLEX®, K-FOL® y NUTRILEAF 60® a concentraciones de 10, 100 y 1000 mg L⁻¹ y agua durante el mes de junio. En el segundo experimento se realizaron cuatro aplicaciones de los productos antes mencionados (una luego de cada florecida), comenzando en el mes de enero, aunque esta vez, se añadió CK, CK+GA y CK+NUTRILEAF 60® utilizando las mismas concentraciones.

La longitud de los árboles de café, el diámetro de la copa, el diámetro del tallo y tamaño del grano fueron algunos de los parámetros establecidos para los experimentos, los cuales se midieron antes y después de cada experimento. Para determinar el tamaño del grano, el fruto de café fue procesado y luego fue separado en una maquina clasificadora por tamaño, modelo IMSA.

En la primera investigación no se encontró diferencias significativas entre la mayoría de los tratamientos en cuanto a tamaño del grano seco, excepto el de MILLERPLEX® a una concentración de 1000 mg L⁻¹. En la segunda investigación se encontró diferencias significativas de los tratamientos en cuanto al tamaño del grano fresco y seco.

DEDICATORIA

Deseo dedicar este trabajo a todas las personas que estuvieron junto a mí en el proceso de completar mis estudios graduados. Especialmente a toda mi familia por brindarme su apoyo incondicional.

A mis padres Luis R. Torres y Carmen Y. Rodríguez quienes son símbolo de admiración, dedicación y respeto. Estuvieron conmigo en todas las etapas de la investigación y quienes me mostraron que con esfuerzo y trabajo puedo alcanzar todas mis metas. Ellos me enseñaron a ser agradecida con Dios, convirtiéndome cada día en una mejor persona.

A mis hermanos Luis Arnaldo y Luis Javier por tenerme la paciencia y estar a mi lado en momentos de dificultad. Por brindarme su amor, comprensión, apoyo y compañía en todo momento.

AGRADECIMIENTO

Durante el proceso de completar mis estudios graduados, fueron varias las personas que contribuyeron de alguna manera u otra para poder lograr una de mis grandes metas. Quiero expresar un profundo agradecimiento a Dios por brindarme la oportunidad de conocer y compartir con tantas personas especiales.

Durante lo largo de mi vida, nunca antes imaginé llegar hasta aquí, por lo que quiero dar las gracias a la persona que me motivó y ayudó a realizar los estudios graduados; quiero agradecer sincera e infinitamente al Dr. Salvador Salas Quintana, quien se ha ganado mi respeto, admiración y aprecio, que además de ser un excelente profesor, es un gran ser humano, un verdadero amigo. Gracias por estar a mi lado, por establecerme retos y guiarme durante la investigación hacia el camino del éxito.

Quisiera resaltar mi agradecimiento a todas las personas de la Estación Experimental Agrícola de Adjuntas, especialmente a Wigmar González, Edrick Marrero, Evelio Hernández y a Don Arturo quienes con su iniciativa siempre estuvieron a mi disposición brindándome su cooperación y ayuda. A quienes representan el Almacén de compra y venta de café en Adjuntas, especialmente al Agro. Luis Alfonso y Agro. Paco por la disposición del laboratorio y por contribuir con su experiencia. Y mi agradecimiento infinito es para Norma y Janice quienes siempre me brindaron su ayuda en el departamento, al Dr. Winston de la Torre y al Dr. Feiko Ferwerda. Gracias a todos mis compañeros por su ayuda, quienes aportaron su tiempo y conocimientos en el análisis de la investigación.

Quisiera expresar mi gratitud también a toda mi familia por su solidaridad y cariño; especialmente a mi tía Elba J. Torres por toda su ayuda y sus sabios consejos. Gracias por su gran sacrificio mami y papi; por las veces en que cosechamos y despulpamos. Quiero agradecer además a mis hermanos por todas las ocasiones en que me acompañaron a la finca y a mi novio Roberto Latorre por ayudarme y por entender que gran parte de mi tiempo era dedicado al trabajo de la investigación.

TABLA DE CONTENIDO

	Página(s)
ABSTRACT	ii
RESUMEN	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS	v
TABLA DE CONTENIDO	vii
LISTA DE TABLAS.....	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
1 INTRODUCCIÓN	1
2 OBJETIVOS.....	4
3 REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
3.1 CAFÉ	5
3.1.1 ORÍGEN	5
3.1.2 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA.....	6
3.1.3 MORFOLOGÍA	7
3.1.4 ASPECTOS FISIOLÓGICOS	21
3.1.5 PROPAGACIÓN.....	25

3.2 NUTRICIÓN MINERAL	26
3.2.1 PRODUCTOS COMERCIALES.....	28
3.3 REGULADORES DE CRECIMIENTO.....	30
3.3.1 ÁCIDO GIBERÉLICO	30
3.3.2 CITOQUININAS.....	35
3.4 RENDIMIENTO	38
3.5 TAMAÑO DE MUESTRA.....	39
3.6 PRECIOS DEL CAFÉ EN PUERTO RICO	39
4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	41
4.1 EXPERIMENTO #1	43
4.2 EXPERIMENTO #2	52
5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	60
5.1 EXPERIMENTO #1	64
A. Altura Promedio de Plantas.....	65
B. Diámetro Promedio de Copas	65
C. Diámetro Promedio de Tallos.....	65
D. Peso Promedio de Granos Frescos	66
E. Longitud Promedio de Granos Frescos.....	66

F. Rendimiento Promedio Por Tratamientos.....	70
G. Cantidad de Granos de Café Pilado por Bandeja	70
5.2 EXPERIMENTO II.....	72
A. Altura Promedio de Plantas.....	73
B. Diámetro Promedio de Copas	73
C. Diámetro Promedio de Tallos.....	73
D. Diámetro Promedio de Tallos.....	74
E. Corte Transversal.....	77
F. Concentración de Clorofila	77
G. Longitud Promedio Granos Frescos.....	79
H. Peso Promedio de Granos Frescos	82
I. Longitud Promedio de Granos Secos	82
J. Rendimiento Promedio por Tratamientos.....	87
K. Clasificación por Tamaño Café Pilado.....	87
6 CONCLUSIONES	90
7 RECOMENDACIONES.....	91
8 REFERENCIAS	92

9 APENDICE A	
TABLAS ESTADISTICAS	99
10 APÉNDICE B	
ASPECTOS GENERALES	110
11 APÉNDICE	
FIGURAS.....	116

LISTA DE TABLAS

TABLAS	PÁGINA(S)
1. Precios de Café al Agricultor	40
2. Café Pilado por Quintal.....	40
3. Café Tostado y Molido.....	40
4. Tratamientos Utilizados en el Experimento I	45
5. Temperatura Promedio del Aire Experimento I.....	48
6. Precipitación Total Experimento I	49
7. Temperatura Promedio del Aire Experimento II.....	56
8. Precipitación Total Experimento II	57
9. Descripción de Enfermedades y Plagas que afectan el café.....	61
10. Efecto de Tratamientos en la Longitud de Granos Secos, Experimento II.....	69
11. Concentración de la Clorofila.....	78
12. Efecto de los Tratamientos en la Longitud de Granos Frescos, Experimento II	81
13. Efecto de Tratamientos en Longitud Granos Secos, Experimento II	84

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS	PÁGINA(S)
1. Capas que Forman el Fruto de Café	16
2. Efecto de Tratamiento MILLERPLEX en Grano Seco, Experimento I	66
3. Efecto de Tratamientos en Longitud Grano Seco, Experimento I.....	68
4. Efecto de Tratamientos en la Cantidad de Granos por Bandeja Experimento I.....	71
5. Yemas Florales, Florecida, Separación de Flores del Fruto	74
6. Curva de Crecimiento de Fruto de Café, Variedad Limaní	76
7. Efecto de Tratamientos en Longitud Granos Frescos, Experimento II	80
8. Efecto de Tratamientos en Longitud Granos Secos, Experimento II	83
9. Efecto de GA en Grano Seco, Experimento II	85
10. Efecto de MILLERPLEX en Grano Seco, Experimento II	85
11. Efecto de CK en Grano Seco, Experimento II	85
12. Efecto de CK + Nutrileaf en Grano Seco, Experimento II	86

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS	PÁGINA(S)
13. Efecto de CK + GA en Grano Seco, Experimento II	86
14. Efecto de K-Fol en Grano Seco, Experimento II.....	86
15. Granos de Café Pilado, Grano Monstruo vs. Extra Grande.....	87
16. Efecto de Tratamientos en la Cantidad de Granos por Bandeja.....	89

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Tanto en Puerto Rico como a nivel mundial, el café (*Coffea spp.*) es uno de los principales productos agrícolas. Éste se ha mantenido durante el último siglo como la tercera industria agropecuaria de mayor importancia económica de nuestra isla (Monroig 2007). La industria del café en Puerto Rico es responsable de generar más de veinticinco mil empleos directos en el período de cosecha y alrededor de 14,000 durante el año. Además, el café es considerado el segundo producto comercial más importante del planeta luego del petróleo según Ramírez-Vallejo (Schröder 2007). Este producto fue introducido a Puerto Rico en el año 1736 (Wrigley 1988). Desde entonces el café se ha destacado por el gran impacto económico en nuestra Isla. Han ocurrido varios eventos históricos, tales como: la introducción al país de nuevas plagas como la broca, huracanes que han afectado las cosechas, una disminución en la mano de obra, desarrollo urbano, entre otros, lo cual ha ocasionado una tendencia a la disminución de la producción del café.

De acuerdo a estadísticas reportadas por el Departamento de Agricultura de Puerto Rico, cifras preliminares para el año 2007/08 indican que el ingreso bruto agrícola del país del grupo II de cosechas, era \$325,810,000, de los cuales \$49,809,000 fueron aportados por la industria del café. Según un estimado de consumo de productos agrícolas y la distribución del valor de la producción

agrícola en orden de importancia económica 2006/07, el café ocupó el quinto lugar con un por ciento acumulativo de 63.2.

Dada la importancia del cultivo del café a nivel mundial y tomando en cuenta la oportunidad de exportar un café de calidad, sería un éxito el lograr colocarnos a nivel de grandes exportadores en ese renglón. Por tanto, podríamos igualar o mejorar su calidad, ya que básicamente tenemos las características ambientales favorables para su cultivo.

La calidad del café es determinada, en gran parte, por el grado de excelencia en que es procesado. Producir un buen café, conlleva el proveer condiciones ambientales ideales para el cultivo, altitud adecuada, nutrición y manejo del árbol, así como, un proceso de beneficiado que conserve las características del grano: aroma, acidez, cuerpo y sabor; tomando en consideración la temperatura y el tiempo de tueste, el molido y la presión utilizada para prepararlo finalmente. Un café de calidad es reconocido por su color, forma y gran tamaño. El grano de café (green coffee), debe tener un aspecto uniforme, sin manchas al pilarlo y no debe tener defectos al realizarle un análisis físico como: granos partidos, brocados, negros, entre otros; ni defectos sensoriales de fermentación o sucios (Monroig 2007).

En Puerto Rico se ha comenzado la exportación de café para el mercado de cafés especiales o 'gourmet'. En este mercado un criterio muy importante a considerar es el tamaño del grano, ya que para ser clasificado como café especial debe colocarse en una medida de zaranda entre 14 a 22. Entre mayor es el tamaño del grano, mayor es su precio.

Durante el año 2009 según la Organización Internacional de Café, el país que realizó mayor cantidad de exportaciones de café *C. arabica* y *C. canephora* fue Brasil. Este país se colocó en el primer lugar, ya que exportó 30, 962, 591 sacos de 132 lbs. Vietnam obtuvo el segundo lugar ya que logró exportar 17, 637, 238 sacos de 132 lbs.

Surgió esta investigación con el propósito de estudiar el comportamiento del café ante la aplicación de cinco productos comerciales que poseen una fácil disponibilidad en el mercado agrícola, lo cual representa un beneficio para agricultores que interesen obtener una mejor producción del café. En esta investigación se espera promover un aumento en tamaño del grano de café en la variedad Limaní (*Coffea arabica* x *C. canephora*) x Villa Sarchí, utilizando dos reguladores de crecimiento: Giberelinas y Citoquininas. Además, se utilizaron tres fertilizantes: MILLERPLEX®, K-FOL® y NUTRILEAF 60®, tomando en consideración la importancia de la nutrición mineral en las plantas.

Los reguladores de crecimiento están envueltos en varios de los procesos fisiológicos de las plantas, por lo tanto, podemos combinarlos para manipularlos de manera que sea posible aumentar el tamaño del grano de café.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

- Promover aumento en tamaño del grano de café utilizando los fertilizantes: MILLERPLEX®, K-FOL® y NUTRILEAF 60® y dos reguladores de crecimiento: Giberelinas (PRO-GIBB® 20%) y Citoquininas (6-BENCILAMINOPURINA) a tres diferentes concentraciones (10, 100, 1000 mg L⁻¹).
- Determinar cuan efectivo es el suministro de una o varias aplicaciones de fertilizantes y reguladores de crecimiento utilizados en el cultivo de café.

CAPÍTULO III

REVISION DE LITERATURA

3.1 Café

3.1.1 Origen del Café

El café es un cultivo procedente de Etiopia. Originalmente fue encontrado en áreas de bosque natural, donde se desarrollaba en extensiones de entre 1,370-1,830 metros, equivalentes a 4,500-6,000 pies.

Su origen está relacionado a varias leyendas. Entre las leyendas más populares se encuentra la de Omar, fundador de Moca, Ousab, quien fue exiliado y para alimentarse consumió una bebida de las frutas de café. Otra de las leyendas fue la del pastor Kaldi, quien observó que sus cabras, al comer la fruta del café, se ponían alegres y juguetonas; más tarde, logró que monjes las probaran, lo que ocasionó que permanecieran despiertos (Salas 2005; Wrigley 1988).

Antes de ser lo que es hoy en día, tuvo múltiples usos durante su historia, desde una ración alimenticia, medicina, bebida fría, bebida caliente hasta estimulante, entre otros. Fue clasificado por Carolus Linneaus como *Coffea arabica* para el año 1737, aunque había sido clasificado anteriormente (1714) por Antonie de Jussieu como *Jasminum arabicum laurifolium*.

El café en Puerto Rico fue introducido para el año 1736, procedente de República Dominicana (Wrigley 1988). Actualmente en Puerto Rico la región dedicada al cultivo del café es el área oeste central de la isla. Los pueblos que comprenden esta zona son los municipios de: Lares, Utuado, Ciales, Adjuntas, Jayuya, Villalba, Juana Díaz, Ponce, Peñuelas, Yauco, Guayanilla, Las Marías, Maricao, San Sebastián, Mayagüez, San Germán, Sabana Grande, Moca, Añasco, Aguada, Hormigueros y Orocovis (Muñiz y Monroig 1994).

3.1.2 Clasificación Taxonómica

El café es un cultivo que pertenece al Reino Plantae, División Espermatofitas, Subdivisión Angiospermae, Clase Dicotiledóneas, Orden Rubiales, Familia Rubiaceae (Wrigley 1988). Esta familia tiene aproximadamente unos 500 géneros y sobre 6,000 especies. Dentro de la familia se incluyen algunos géneros como los de *Gardenia* e *Ixora*. De éstos, el género de mayor importancia económica es *Coffea* (Wrigley 1988).

En Puerto Rico, particularmente, se cultivan tres especies de café: *C. arabica*, *C. canephora* y *C. liberica*. Dentro de cada especie, existen variedades de importancia: Típica, Borbón, Caturra y Pacas pertenecientes al *C. arabica*, Robusta a la especie *C. canephora* y la variedad Exelsa a la especie *C. liberica* (Monroig 1998).

Además, se utilizan en la Isla algunas variedades, producto de cruces genéticos que se han desarrollado artificialmente, entre los que se encuentran la variedad Catuaí (Caturra x Mundo Nuevo), Limaní (Villa Sarchi x Híbrido de Timor = Sarchimor) y la Frontón (Caturra x Híbrido de Timor = Catimor). Las últimas dos variedades son clasificadas como *C. arabica*, por poseer gran parte de las características de la especie, la única diferencia que existe en comparación con las otras variedades, es que poseen resistencia a la roya del café (*Hemilea vastatrix*).

3.1.3 Morfología

Hay varias descripciones, en diferentes investigaciones, de las etapas de crecimiento del árbol de café. Éstas fueron tomadas en consideración al momento de crear una escala para la clasificación de sus etapas de crecimiento. Algunas de estas investigaciones fueron realizadas por: Arcila 1990; Arcila *et al.* 1993; León y Fournier 1962; entre otros.

En una investigación realizada anteriormente, se establece una escala conocida como BBCH (Biologische Bundesantalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie) para describir cada etapa de desarrollo del árbol de café. Para el año 2002, se publica la aplicación de esta escala, en donde se determinaron diez (10) etapas de crecimiento principales de café (*C. arabica*, *C. canephora* y *C. liberica*) enumeradas del cero (0) al nueve (9).

Etapa 0- Germinación

Las semillas de café bajo ciertas condiciones ambientales, alcanzan su madurez fisiológica aproximadamente a los 200 días después de la florecida y generalmente son cosechadas a los 240 días (Salazar *et al.* 1994).

- a) Sub-etapa **00**. Se describe como la semilla seca.
- b) Sub-etapa **01** a la **03**. Comienzo de la imbibición, lo cual tarda aproximadamente una semana. Del periodo de imbibición a emergencia de la semilla, tarda aproximadamente de siete (7) a nueve (9) semanas.
- c) Sub-etapa **05**. Después de tres (3) semanas, la radícula se hace visible y es cuando ocurre la elongación de la radícula.
- d) Sub-etapa **06**. Es caracterizada por la formación de pelos radicales.
- e) Sub-etapa **07**. Hipocótilo con cotiledones emergen del endospermo de la semilla.
- f) Sub-etapa **09**. Se considera, cuando el hipocótilo con cotiledones brotan del suelo y las raíces alcanzan una longitud de 6 a 7 cm (Huxley 1969).

Etapa 1- Crecimiento Vegetativo.

Desarrollo del tallo principal de plantas jóvenes, ramas y hojas. Esto ocurre en pares, lo que está asociado a la formación de nudos.

- a) Sub-etapa **10**. A las nueve (9) semanas después de la siembra de la semilla, los cotiledones aparecen completamente y el primer par de hojas verdaderas comienzan a separarse (Arcila 1988).
- b) Entre las sub-etapas **11** y **12**, las hojas adquieren un color verde claro o bronceado, esto dependiendo la variedad y luego pasan a ser de color verde oscuro.
- c) Sub-etapa **13**. Tres (3) pares de hojas son visibles.
- d) Entre las sub-etapas **15** a la **19**. Nueve (9) pares de hojas o más se han desarrollado.

Etapa 2- Formación de Ramas.

- a) De la sub-etapa **20** a la **29**. Se han formado noventa (90) o más pares de ramas primarias.

Etapa 3- Elongación de Ramas.

- a) De la sub-etapa **31** a la **39**. Noventa (90) o más nudos se han formado.

Etapa 4- Desarrollo Vegetativo.

Etapa 5- Emergencia y Desarrollo de Flores.

- a) Sub-etapa **51**. Yemas florales emergen de las axilas de las hojas.
- b) Sub-etapa **57**. Las flores son visibles.
- c) Sub-etapa **59**. Las flores tienen sus pétalos de 6-10 mm.

Etapa 6- Florecida.

- a) Sub-etapa **60**. Ocurre apertura de flores.
- b) Sub-etapa **61**. Apertura del 10% de las flores.
- c) Sub-etapa **63**. Ocurre un 30% de la apertura de flores.
- d) Sub-etapa **65**. Se observa un 50% de la apertura de flores.
- e) Sub-etapa **67**. Ocurre un 70% de la apertura de flores.
- f) Sub-etapa **69**. Ha ocurrido el 90% de la apertura de las flores.

Etapa 7- Desarrollo del Fruto.

- a) Sub-etapa **70**. Pequeños frutos son visibles.
- b) Sub-etapa **71**. Comienza el crecimiento de los frutos y tienen un 10% de su tamaño final, son conocidos como cabeza de alfiler.
- c) Sub-etapa **73**. Los frutos son de color verde claro de contenido líquido y cristalino, tienen el 30% de su tamaño final y ocurre un crecimiento rápido de los mismos.
- d) Sub-etapa **75**. Aún tienen contenido líquido y cristalino teniendo un 50% de su tamaño final.
- e) Sub-etapa **77**. Los frutos son de color verde oscuro, de contenido sólido color blanco ya teniendo un 70% de su tamaño final.
- f) Sub-etapa **79**. El grano es de color verde, de contenido sólido y blanco, tiene el 90% de su tamaño final.

Etapa 8- Maduración.

- a) Sub-etapa **81**. Comienza un cambio en el color del fruto.
- b) Sub-etapa **85**. Hay un incremento en la intensidad del color de la fruta.
- c) Sub-etapa **88**. El fruto se encuentra completamente listo para la cosecha.
- d) Sub-etapa **89**. Ocurre la sobremaduración del fruto donde comienza a tornarse en color oscuro y luego a secarse.

Etapa 9- Senescencia.

- a) Sub-etapa **93**. Las hojas viejas cambian su color verde y se tornan amarillentas.
- b) Sub-etapa **94**. Ocurre cambio de color en el follaje y defoliación en la parte baja del árbol.
- c) Sub-etapa **97**. La producción se concentra en la parte superior del árbol.
- d) Sub-etapa **99**. Se realizan los tratamientos pos cosecha (Arcila *et al.* 2002).

Crecimiento

Conocer la fenología del cultivo es muy importante para determinar el momento adecuado para realizar las prácticas de manejo como: fertilización, control de enfermedades y control de malezas. El crecimiento de la planta de café se desarrolla de las células meristemáticas localizadas en el ápice del tallo, las ramas y las axilas de las hojas. El ápice del tallo principal es responsable de la formación de nudos y del crecimiento vertical o crecimiento ortotrópico (Moens, 1968).

Tallo

El tallo de los arbustos de café normalmente está compuesto de un eje central que va alargándose formando nudos y entrenudos, caracterizado por un crecimiento vertical. Éste a su vez tiene la capacidad de desarrollar ramas horizontalmente. En los primeros nueve a once nudos de una planta joven sólo brotan hojas. De ahí en adelante ésta comienza a emitir ramas laterales. El café exhibe un dimorfismo único en su crecimiento vegetativo.

Ápice y Ramas

El ápice de las ramas se encarga de la formación de hojas, nudos y del crecimiento lateral o crecimiento plagiotrópico de éstas (Moens, 1968). Las ramas se alargan continuamente y son producidas a medida que el eje central se alarga y madura. El crecimiento y la emisión de nuevas ramas laterales en forma opuesta

van dando lugar a una planta de forma cónica. Las ramas primarias plagiotrópicas dan origen a las ramas secundarias y terciarias donde se producen hojas, flores y frutos. Una rama plagiotrópica no da origen a una rama ortotrópica. La eliminación del ápice de crecimiento de una rama lateral puede inducir al desarrollo de ramas secundarias y terciarias (Monroig 2007).

Hojas

Las hojas de los arbustos de café surgen de las ramas laterales y poseen un peciolo corto, plano en la parte superior y convexo en la parte inferior. La lámina es de textura fina, fuerte y ondulada. Las hojas del café tienen forma ovalada o lanceolada y pueden durar de siete a ocho meses. Su tamaño puede variar de tres a seis pulgadas de largo, el color y la cantidad varía con respecto a la especie. La vida de las hojas en *C. arabica* es de siete a ocho meses mientras que en la *C. canephora* es de siete a diez meses (Monroig 2007).

Yemas florales

Las yemas florales, generalmente, aparecen de dos a tres años, dependiendo la variedad. Nacen de las axilas de las hojas en las ramas laterales. Estas yemas tienen la capacidad de evolucionar en ramificaciones. La florecida no alcanza su plenitud hasta el cuarto a quinto año (Monroig 2007).

La inflorescencia del café es una cima de eje muy corto que posee un número variado de flores. En los *C. arabica* es de dos a nueve y en *C. canephora*

de tres a cinco (Monroig 2007). Las flores son blancas, pequeñas y poseen una fragancia singular, única y agradable. Los cinco pétalos de la corola se unen formando un tubo. El número de pétalos puede variar de cuatro a nueve dependiendo de la especie y la variedad. El cáliz está dividido en cuatro o cinco sépalos. Un 94% de las flores en la especie *C. arabica*, puede auto-polinizarse y sólo en un 6% ocurre polinización cruzada, lo que significa que hay poca variabilidad (Monroig 2007).

Fruto

El fruto del café es considerado una drupa que normalmente posee dos semillas simétricas, separadas por un tabique interno del ovario. Es de forma ovalada o elipsoidal ligeramente aplanada (Monroig 2007). Puede haber variaciones, ya sea, por causas genéticas o ambientales. Frecuentemente en el fruto se pueden observar tres semillas por causa de poliembrionía falsa o puede tener una sola semilla redonda (caracolillo) causada por el aborto del óvulo (Salas 2005).

Se realizó una investigación para el año 1994, en la que se determinó el crecimiento del fruto de café variedad Colombia. En la misma se caracterizó el crecimiento por medio del peso fresco y el peso seco. Se determinó una curva de crecimiento sigmoide de tres periodos. La primera etapa es la de floración que ocurre hasta los 60 días. La segunda etapa es una exponencial de 180 días y la tercera etapa de estabilización hasta la madurez de 240 días (Salazar *et al.* 1994).

Según Opile, el crecimiento y desarrollo de frutos de *C. arabica* es muy similar al de otras drupas ya que tienen una curva de crecimiento doble sigmoide.

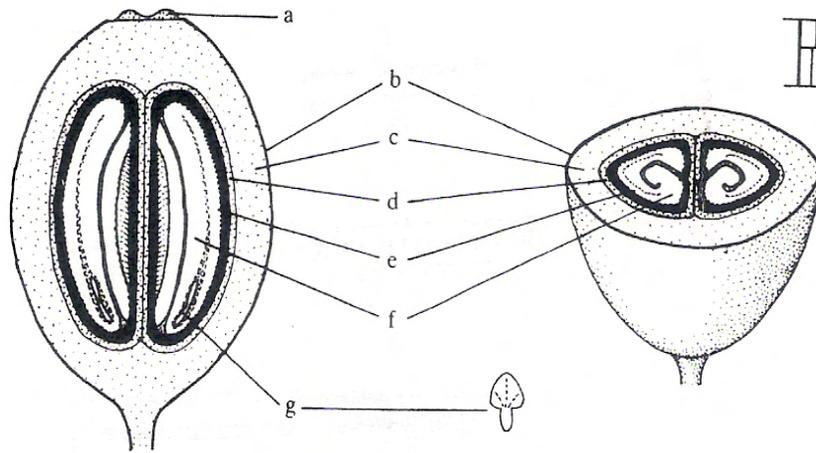
Luego de la antesis, los frutos se encuentran en una etapa donde se les conoce como cabeza de alfiler. En esta etapa los frutos se expanden rápidamente de la semana 9 a la 14. El fruto llega a su tamaño final a las 16 semanas. Cuando los frutos se encuentran en etapa de cabeza de alfiler, hay tres reguladores de crecimiento envueltos. La giberelina y la citoquinina se encuentran en bajas concentraciones mientras que el ácido abscísico se encuentra en altas concentraciones. Se ha encontrado que en frutas maduras de *C. arabica* el nivel de giberelinas disminuye pero la actividad de ésta es mayor cuando la semilla está completamente formada (Wormer 1964).

Por otro lado, la distribución de citoquininas en frutos de café aparenta ser bimodal. Esto se refiere a que se observan dos aumentos de su concentración, el primero que es el de mayor actividad, ocurre cuando la fruta comienza una expansión rápida y el segundo ocurre en frutas madurando. Niveles de citoquininas comienzan a disminuir con la formación del endospermo (Wormer, 1964) y la actividad de esta hormona también disminuye en frutos maduros (Opile 1979).

Tomando en cuenta que Mendes (1941) y Wormer (1964) realizaron estudios anteriormente sobre el crecimiento y desarrollo del café, Huxley decide estudiar la estructura del fruto y la semilla del café. Es importante conocer el crecimiento y desarrollo de los tejidos que componen el fruto de café, en varios aspectos de calidad. Frutos en desarrollo atraen carbohidratos (Cannell y Huxley

1969); probablemente ocurre lo mismo con los nutrientes. Si ocurre estrés de agua en las etapas tempranas del desarrollo del fruto, esto significaría un factor crítico y decisivo en el tamaño final de la semilla. Durante la primera parte de su experimento, se utilizó granos de café Robusta y realizó un corte transversal donde se muestran las capas que forman el grano (Figura 1).

Figura 1. Capas que Forman el Fruto de Café; a. ombligo, b. epicarpio, c. mesocarpio, d. endocarpio e. integumento, f. endospermo, g. embrión



(Wrigley, 1988)

Capas que Forman el Fruto del Café:

- a) Disco Floral (Ombligo)
- b) Epicarpio, conocida como la capa externa del fruto, (exocarpio, cutícula o cáscara); está compuesto por una capa fina que contiene estomas dispersas, es de color verde debido a la clorofila y a la medida en que también el grano foto-sintetiza, contribuye con su crecimiento (Cannell 1969). En su madurez, se torna color rojo o amarillo, es jugoso y envuelve todas las demás partes del fruto (Monroig 1996).

- c) La próxima capa es conocida como mesocarpio (mucílago o baba) y forma la pulpa, se encuentra en la parte central del fruto, formada por dos (2) tipos: la parte exterior está unida al epicarpio y la parte interior unida a la semilla con una capa fina de células elongadas, gelatinosa y color cremoso (Monroig 2007). El mucílago es removido por fermentación, aunque en *C. arabica* el proceso es más lento debido a que estas células se encuentran atadas firmemente.
- d) Luego se encuentra el endocarpio (pergamino o cascarilla) cubierta corácea de color crema a marrón (Monroig 2007). Su función principal es proteger la semilla de cualquier daño mecánico. Es relativamente inmune a los gases, particularmente restringe el suministro de oxígeno al embrión (Huxley 1969); cuando éste se remueve a las semillas, pueden germinar de cuatro (4) a cinco (5) semanas antes.
- e) Otra de las capas es la película plateada o integumento seminal que cubre la superficie del endospermo.
- f) El endospermo es un tejido encargado del almacenamiento, donde finalmente se encuentra el embrión (Huxley 1969) y se conoce como la semilla propiamente constituida (Monroig 2007).
- g) Embrión, localizado en la superficie convexa de la semilla y representado por un hipocotilo y dos cotiledones (Monroig 2007).

El período del crecimiento rápido del grano está relacionado al tamaño y la forma de la semilla de café. Al final de este periodo ocurre la formación del endocarpio, que es una capa fina e inelástica, el cual establece el tamaño máximo que tendrá la semilla (Wormer 1964).

Estudios adicionales demostraron que el tamaño de las semillas aumenta cuando hay mayor contenido de almidón disponible por fruto, por lo que frutos de menor tamaño se observan al final de la temporada de cosecha. Otro factor que determina el tamaño y forma de la semilla, es la formación del endospermo. Aproximadamente de 12 a 19 semanas después de la florecida, el endospermo puede llenar el espacio que hay entre una capa fina y el mismo. Al ser inelástica esta capa fina, el endospermo no puede ser más grande que el integumento. Cuando el endospermo no ocupa la cavidad de la capa fina queda vacío y ocurre lo que se conoce como granos vanos. Esto podría ser causado por factores fisiológicos, aunque es muy común en la variedad Mundo Novo y ocurre debido a su genética y puede ser eliminado por selección de la semilla (Wormer y Njuguna 1966).

Es bastante común en híbridos que el endospermo no ocupe la capa fina completamente debido a su genética. Factores ambientales como las condiciones del tiempo y el riego, también afectan el tamaño y forma del grano durante la formación del integumento y el endospermo. En una investigación realizada en Kenya, se determinó que el crecimiento del café en el área este de Rift Valley. El crecimiento en la planta de café está relacionado en gran parte con la humedad del suelo. Resulta muy favorable para la planta, cuando el cultivo pasa por

periodos extensos de lluvia. Según el reporte anual de Kenya Coffee Research Station, Ruiru (1963), aumentó el porcentaje de granos en la clasificación tipo A debido a que se le proporcionó el tiempo de riego adecuado, mientras que este porcentaje fue muy bajo en los lugares donde no había riego (Wormer y Njuguna 1966).

En otro estudio morfológico del desarrollo del embrión de café realizado por M. I. Arcilla y F. J. Orozco (1987) de Cenicafe se logró determinar las diferencias entre *C. arabica* (Caturra), *C. canephora* y un híbrido (*C.arabica* x *C. canephora*). En los embriones, se desarrolla primero el hipocótilo y luego los cotiledones. La forma y el tamaño de los embriones de café varían de una especie a otra. Por ejemplo, embriones de Caturra y del híbrido completan su crecimiento externo a los 120 días mientras que el *canephora* lo completa a los 165 días; además el tamaño de los embriones fue: *C. canephora* de 5.0 - 6.0 mm, *C. arabica* (Caturra) de 4.1 - 5.0 mm y el híbrido de 2.8 - 3.5 mm.

Aunque en el estudio se encontró que los embriones de las especies estudiadas y el híbrido completan su desarrollo en cuatro fases definidas, también se describen los principales estados o etapas del embrión, en las que se encuentran: el estado globular, el corazón, torpedo, estado recién diferenciado y el estado bien diferenciado. Las primeras tres etapas del embrión están asociadas con el volumen de endospermo y su consistencia, las dos posteriores están asociadas a cambios en la consistencia del endospermo, que se endurece a medida que se acerca la maduración. El embrión completa su fase de diferenciación mucho antes de la maduración del fruto. El tamaño del embrión es

independiente del tamaño del fruto, aunque, sí depende del crecimiento del endospermo. El crecimiento del embrión depende del crecimiento del endospermo y es sucesivo a éste, pero se desarrolla primero que el endospermo. Se encontró relación entre el embrión y el endospermo ya que el proceso embriogénico ocurre después de iniciado el desarrollo del endospermo. Encontraron que en el estado globular de los embriones estuvieron rodeados por endospermo que ocupaba de un 30 a un 40% del volumen de la cavidad del saco embrionario. En híbridos, el endospermo está endurecido desde temprana edad y observaron que en ningún caso se llena la cavidad completamente, sólo alcanza a llenar un máximo de 60%.

Raíces

Finalmente, el sistema radical del café está compuesto por una raíz pivotante de la que emergen otras raíces laterales para el anclaje del arbusto. De éstas surgen las raíces secundarias y terciarias relacionadas a la absorción de agua y nutrientes. Este sistema crece en forma cónica y es uno superficial, ya que aproximadamente un 94% de éstas, se encuentran en la parte superior del suelo específicamente en las primeras doce pulgadas. Las raíces laterales pueden extenderse hasta un metro alejadas del tronco. Generalmente la longitud de las raíces coincide con el largo de las ramas (Monroig 2007).

3.1.4 Aspectos Fisiológicos

Uno de los aspectos fisiológicos de mayor importancia en las plantas es el proceso de fotosíntesis. En este proceso las plantas convierten energía solar en energía química y se lleva a cabo principalmente en los cloroplastos. Las plantas de café son consideradas como C_3 ya que luego de incorporar el bióxido de carbono (CO_2) a su cadena fotosintética mediante la enzima Ribulosabifosfatada (rubisco), obtienen un producto que está compuesto de tres carbonos (Taiz y Zeiger 2006).

De acuerdo con una investigación realizada para el año 1999, plantas C_3 llevan a cabo fotosíntesis con mayor eficiencia durante temperaturas frescas en horas de la mañana. Así se demostró en la investigación, que la temperatura óptima en la cual se lleva a cabo fotosíntesis en las plantas de café es de $25^{\circ}C$. Además, se demostró que hay una disminución de fotosíntesis al medio día, ocasionada por un aumento en el déficit de la presión de vapor de aire (VPD) y la temperatura de la hoja que ocasiona el cierre de las estomas y el incremento en resistencia estomatal. En café, específicamente, el rango de la fotosíntesis neta es menor cuando la temperatura de las hojas es alta o mayor de $25^{\circ}C$. Aunque, el aumento simultáneo entre CO_2 y la temperatura, estimula fotosíntesis (Mosquera *et al.* 1999). En adición, la temperatura es un factor de gran importancia ya que se ha demostrado está relacionada con el crecimiento de árboles de café (Jaramillo y Guzmán 1984).

Nutman (1937), en Tanzania, consideró que una mayor densidad de siembra, representa más sombra en las plantas de café, por tanto, como resultado ocurre una gran reducción de fotosíntesis.

Algunos de los factores fisiológicos a ser considerados para la intensificación del cultivo del café son: la estructura de la copa y asimilación de carbono, la iniciación floral, estructuras de almacenamiento, follaje y el sistema de raíces. El que los árboles de café tengan múltiples tallos no significa que van a utilizar al máximo la radiación solar. Por eso, se recomienda que estos árboles deban tener una forma de copa que permita la penetración de luz adecuada.

Una copa densa o espesa podría restringir la transmisión de luz a la mitad durante la mañana y la tarde. Los carbohidratos se producen y transportan de otras partes de la planta, a su vez, son suministrados a los frutos en desarrollo. Por ello, se hace necesario el suplemento de alguna otra fuente de carbohidratos. Aplicaciones foliares de Cobre (Cu) sugieren que los carbohidratos y nutrientes puedan ser provistos de las hojas durante una gran parte de su vida. Hojas jóvenes son una gran fuente de carbohidratos y sumidero de nutrientes en comparación con las hojas viejas. Por tanto, es recomendable en el cultivo de café realizar poda. Cualquier método de poda que promueve la producción de hojas nuevas es beneficioso para el cultivo. Por otro lado, la iniciación floral es menor cuando hay sombra completa en comparación con lugares de semi-sombra o que son expuestos al sol completamente. Esto nos sugiere que una gran densidad de la copa no es muy favorable desde el punto de vista de la iniciación floral. Cuán lejos estén concentrados los nutrientes, es crítico para describir como

son almacenados en la planta. Los nutrientes deben ser capaces de abastecer las necesidades de éstas, en el rango que sean requeridos durante cualquier estación del año. La cantidad de nutrientes requeridos no podría ser mayor a la necesitada por la planta, debido a la resistencia de los haces vasculares particularmente a frutos en desarrollo. Aunque debe examinarse la relación que tiene la ubicación del desarrollo de los frutos y su tamaño ya que por ejemplo: las semillas que crecen cercanos a la base del tallo tienen mayor tamaño (Wormer 1964).

Los carbohidratos son utilizados constantemente durante el crecimiento de la planta, por lo que la cantidad total disponible de carbohidratos de las raíces, tallo y hojas solo es suficiente para siete semanas de su crecimiento (Wormer 1966).

El follaje es parte importante de la estructura de almacenaje, necesario para satisfacer la demanda de todas las partes del árbol de café durante su desarrollo. Al igual que otros cultivos perennes, la cantidad de frutos de café está relacionada con su crecimiento vegetativo. Los carbohidratos disponibles para que el cultivo produzca más, no van a incrementar el tamaño de la semilla, sino, del fruto.

Los carbohidratos adicionales están disponibles para que en el resto de la planta se lleve a cabo el crecimiento vegetativo y de raíces. La cantidad de frutos en el árbol, depende de varios factores como por ejemplo: número de ramas productivas, número de nudos por ramas, número de yemas de inflorescencias por nudo, número de yemas florales por inflorescencia y otros factores que puedan afectar el desarrollo de frutas como el área foliar. La contribución de frutos verdes en las plantas, podrían jugar un papel importante en el reciclaje de dióxido de

carbono, incluso cuando no incrementen la fotosíntesis, lo cual se observó claramente en experimentos anteriores de frutos y estructuras asociadas en otros cultivos de trigo y algodón. Se conocen varias prácticas culturales que afectan el alcance de las raíces, por ejemplo: el riego en árboles jóvenes puede causar raíces muy superficiales, el uso de cubierta, plásticos o residuos vegetales, aumenta la densidad de raíces más finas (Bull 1963).

La modificación de espacios mayores a los recomendados entre plantas, no cambia el alcance de las raíces. Lo más importante es establecer que hay un nivel donde se reduce la cantidad de carbohidratos como el efecto de sequía o por estrés de agua, el cual puede limitar la producción por planta (Cannell y Huxley 1969).

Debemos tomar en cuenta y es necesario conocer el requerimiento óptimo de agua que necesita el cultivo para intensificar su manejo. Hay cierta cantidad de agua que el cultivo necesita para llevar a cabo transpiración y ésta fue determinada en estudios realizados anteriormente. Cuando hay época de lluvia el rango más alto de agua (50-60%) es de $0.8 E_o$ = evaporación y en época de sequía es de $0.5 E_o$. La deficiencia de humedad es la causa de estrés fisiológico en la planta. Una buena técnica para conservar la humedad del suelo es controlando la distancia de siembra aunque la planta tiene mecanismos que la ayudan a enfrentar la falta de agua. Por ejemplo: un mecanismo que ocurre en la planta es el cierre parcial de las estomas. Esto es en respuesta a un estrés moderado debido a la falta de humedad en el suelo, particularmente durante la tarde y reduce el rango de crecimiento. Por otro lado, la relación entre el estrés de

agua y la florecida no está completamente definida ya que es conveniente que la planta reciba condiciones de estrés por falta de humedad en el suelo para que haya una florecida uniforme. Gran parte de los nutrientes necesarios para un crecimiento saludable, se encuentran en la capa superior del suelo. A pesar de que haya agua en las capas más profundas del suelo la planta sufre de escasez de nutrientes. El rango de difusión de nutrientes es muy bajo en un suelo seco. Este factor no es tan importante para elementos móviles como Nitrógeno (N), aunque sí lo es para Fósforo (P) y Potasio (K). Para que Fósforo esté disponible, depende de la acción de ciertos microorganismos y de la humedad en la capa superior del suelo (Dagg 1971).

3.1.5 Propagación

La propagación del café puede realizarse por métodos sexuales (semilla) o asexuales (injertos y esquejes). Aunque el método de propagación sexual tiene algunas limitaciones por el tiempo que tarda la semilla en germinar o por necesitar gran cantidad de plantas, en Puerto Rico, ésta se realiza por semillas.

Debido a que la especie de mayor importancia es *C. arabica*, ésta se distingue por llevar a cabo auto-polinización, donde mantiene sus características genéticas en un 90%. Anteriormente, en Puerto Rico, se realizaron experimentos para propagar el café asexualmente por esquejes, pero al utilizar éste método las plantas no desarrollaron la raíz pivotante. El método de propagación por injertos es muy utilizado en otros países, aunque en el nuestro representa un alto costo por la requisición de mano de obra (Monroig 2007).

Es recomendable realizar selección y tratamiento a las semillas que se utilizan para la propagación del café, éstos con el fin de obtener plantas saludables, productivas y de alta calidad. La selección comienza desde las plantas madre hasta los frutos en la planta. Es muy importante determinar el porcentaje de granos vanos de la plantación. Para esto se utiliza la prueba de flotación que consiste en colocar cien (100) frutos al azar en un envase con agua. Si de los granos, flotan más de cinco (5), entonces la semilla no debe utilizarse ya que tiene como consecuencia una reducción del rendimiento en café oro. Además, es una característica que se hereda (Monroig 2007).

3.2 Nutrición Mineral

Existen nueve elementos: Carbono (C), Hidrógeno (H), Oxígeno (O), Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S) que son necesarios para el crecimiento y desarrollo adecuado de las plantas, requeridos en grandes cantidades y son denominados como macronutrientes. Entre estos macronutrientes, se encuentran los utilizados principalmente en las formulaciones básicas de fertilizantes comerciales. Estos son: N, P y K. Los meses recomendados para hacer aplicaciones de fertilizantes son julio o agosto, noviembre o diciembre, abril o mayo.

Es posible que en los suelos ácidos, rico en iones de Hierro (Fe) y Aluminio (Al) se afecte la disponibilidad de P por la alta acumulación de fosfatos insolubles en el suelo. Otros factores que afectan la disponibilidad de P en las plantas de

café, pueden ser: el tipo de fertilizante, el método de aplicación y las condiciones del tiempo.

Investigaciones anteriores realizadas para los años entre 1961 y 1970, indican que si la fertilización de P es restringida en la zona alrededor de la raíz, se obtiene una respuesta beneficiosa en cuanto a mayor producción de café. En una investigación donde utilizaron plantas jóvenes de dos años y medio de *C. arabica* cultivadas en arena bajo condiciones de luz controladas, determinaron los niveles adecuados de P para el cultivo. Utilizando seis tratamientos de: 0, 50, 100, 200, 400 y 800 mgL⁻¹ de KH₂PO₄, aplicados seis veces al día (Aduayi 1972).

Como resultado del experimento encontraron que el crecimiento de las raíces y del follaje presentó mayor vigor en los tratamientos de 50 a 100 mgL⁻¹. Las hojas viejas ubicadas después del segundo par de hojas en las ramas que recibieron tratamiento de P entre 400 a 800 mgL⁻¹, presentaron parchos amarillos en la lámina y bordes necróticos. Las plantas control resultaron menos vigorosas en comparación con las que recibieron tratamientos de entre 50 a 100 mgL⁻¹. Con el aumento de concentración de P de 0 a 800 mgL⁻¹, aumentó el contenido de P y K en la hoja y disminuyó Ca y Mg. El contenido total de nutrientes fue afectado en la planta debido a los tratamientos con P (Aduayi 1972).

En el experimento, se demostró la importancia de aplicar niveles adecuados de P (100 mgL⁻¹) durante el crecimiento de las plantas, lo cual fue observado en tratamientos con alto contenido de P, que tuvo efectos adversos en la concentración de Ca y Mg en la hoja (Aduayi 1972).

De acuerdo con El Conjunto Tecnológico Para la Producción de Café, lo recomendado para el cultivo es aplicaciones de 2 a 3 oz. por árbol en intervalos de tres meses durante el primer año con una formulación de 10-10-5-3 +EM, durante el segundo año de 4 a 5 oz. por árbol de 10-10-8-3 +EM ó 9-10-5-3 +EM, al tercer año, de 6 a 8 oz. por árbol en intervalos de cuatro meses, de 15-5-15-3 +EM, 12-6-16-3 +EM, 10-5-15-3+EM ó 12-5-15-3 +EM y al cuarto año se recomienda aplicar de 8 a 16 oz. por árbol utilizando el análisis igual al recomendado para el tercer año.

3.2.1 Productos Comerciales

Dada la importancia de la nutrición mineral en las plantas, se seleccionaron tres productos comerciales que se utilizaron en esta investigación.

Se ha demostrado que los extractos obtenidos de *Ascophyllum nodosum* son los productos más activos biológicamente de todos los que han sido obtenidos en otras algas. *Ascophyllum*, pertenece al orden Fucales y son conocidas comúnmente como algas pardas. El producto comercial MILLERPLEX®, además de una formulación complementaria 3-3-3, contiene esa alga. Según su empaque está designado para mantener el vigor de las plantas. Este producto contiene 3% de N (Urea), 3% de P (P_2O_5), 3% de K (K_2O) y contiene extracto de algas marinas de *Ascophyllum nodosum* que aparentemente sintetiza citoquininas. Además, tiene aminoácidos y quelpo que es un tipo de alga marina con alto contenido de minerales: yodo potasio, magnesio, hierro y calcio, que aceleran la movilización de los nutrientes en la planta. Se ha encontrado en la composición de *A. nodosum*,

reguladores de crecimiento como: auxinas, giberelinas y citoquininas. También contiene varios elementos nutritivos como: N, P, K, Ca, Fe, Mn, Zinc (Zn), S, Boro (B) y sintetizan varias vitaminas entre las cuales se encuentran: A, B₂, B₃, B₁₂, C, D, K. Estas vitaminas benefician la salud del ser humano (Norrie 2001).

En una investigación realizada en plátano (*Musa acuminata x balbisiana*) por Yalitzia Nieves Silva (2007) se encontró que el producto MILLERPLEX® a 5000 y 1000 mgL⁻¹ aumentó el número de frutos por racimo en este cultivo. Los resultados de un tratamiento en el que utilizó una combinación de 20-20-20 foliar + GA₃ a 1000 mgL⁻¹ fueron efectivos en la promoción de un peso mayor por racimo.

Otro de los productos comerciales es K-FOL® 0-20-55, que contiene fósforo (P₂O₅) en un 20%, potasio (K₂O) a un 55% y magnesio (Mg) a un 0.066%. El potasio es clasificado por su función bioquímica como un nutriente que queda en su forma iónica; éste es requerido como cofactor de más de 40 enzimas envueltas en los procesos de respiración y fotosíntesis. Es el principal catión envuelto en la estabilidad de la presión de turgencia en las células y de mantener electro-neutralidad en las células. Aunque el potasio es clasificado como un elemento móvil, o sea, que puede translocarse cuando hay deficiencias en algún tejido, es un elemento muy importante envuelto en la acumulación y transporte de azúcares. Debido a sus funciones en la planta se utiliza el producto comercial K-FOL®. Esto podría tener un efecto beneficioso en el aumento del tamaño del café. Según su empaque puede ser utilizado para aumentar el tamaño de frutas, calidad, consistencia, ayuda a formación de carbohidratos, síntesis de proteínas,

producción de actividad enzimática, ayuda a regular transpiración, aumenta la resistencia de la planta al ataque de insectos y enfermedades.

NUTRILEAF 60® es uno de los productos comerciales reconocido por su formulación 20-20-20 que es utilizada para la fertilización de un sinnúmero de plantas. Es un producto que contiene 20% de N, compuesto por 6% nitrato de nitrógeno; 5.2% nitrógeno amoniacal y 8.8% de urea. Además, contiene 20% de P (P_2O_5), 20% de K (K_2O), 0.0251% de Mg, 0.02% de B, 0.05% de Cu, 0.010% de Fe, 0.05% de Mn, 0.001% de molibdeno (Mo) y 0.05% de Zn. Este producto tiene una fácil disponibilidad en el mercado y es económico.

3.3 Reguladores de Crecimiento

Las hormonas o reguladores de crecimiento son sustancias naturales o sintéticas que trabajan en bajas concentraciones y afectan los procesos fisiológicos de las plantas.

En esta investigación se utilizaron dos de estos reguladores: uno es PRO GIBB® plus 2x, que contiene 20% de ácido giberélico o giberelinas (GA) y 80% de otros ingredientes y el otro es 6-bencilaminopurinas conocidas comúnmente como citoquininas (CK) que son hormonas de crecimiento conocidas como reguladoras de la división celular.

3.3.1 Ácido Giberélico

El ácido giberélico o giberelinas fueron descubiertas originalmente de la enfermedad en el arroz que estimulaba la alargamiento de entrenudos. Éstas, están envueltas en procesos fisiológicos como: germinación, movilización de reservas del endospermo del embrión, crecimiento del tallo, floración, desarrollo floral y el cuaje de frutos. Pueden afectar desde el estado juvenil hasta el estado maduro, así como la iniciación floral en determinación del sexo (Taiz y Zeiger 2006).

Algunas giberelinas están compuestas por un esqueleto de veinte (20) carbonos, mientras otras sólo tienen 19 carbonos (Sponcel 2007).

La síntesis de las giberelinas sigue la ruta terpenoide. Son biosintetizadas en los tejidos apicales y pueden ser transportadas al resto de la planta por el floema. Tres etapas principales envueltas en la síntesis de este biorregulador fueron identificadas: Etapa 1: Ocurre en el plastidio y comienza con geranilgeranil difosfato (GGPP), hasta ent-Kaureno; Etapa 2: Ocurre en el retículo endoplásmico de ent-Kaureno hasta GA_{12} o GA_{53} ; Etapa 3: Ocurre en el citosol (Taiz y Zeiger 2006).

Algunos inhibidores de la síntesis de giberelinas son conocidos comúnmente como: ancimidol (A-Rest) o paclobutrazol (Bonzi). El AMO-1618 y BX-12 son al igual inhibidores de la síntesis de giberelinas que impiden la elongación de entrenudos. El AMO bloquea la síntesis en el punto anterior al aldehído de GA_{12} ; este efecto puede ser superado con la aplicación de GA_{20} . Por otro lado, el BX bloquea la producción de GA a partir de GA_{20} y sólo puede ser superado por aplicación de GA_{20} (Taiz y Zeiger 2006).

Varios investigadores han sugerido que las GA aumentan la movilización de carbohidratos en frutas en desarrollo. En una investigación realizada por Opile en *C. arabica* cvs 28, SL 34 y French Mission en Kenya, estudiaron el efecto de aplicaciones exógenas de GA₃ y citoquinina (Kinetina) en crecimiento, tamaño, peso seco y calidad de la fruta. Como resultado encontraron que las frutas tratadas con giberelinas aumentaron en tamaño. Aplicaciones foliares con PRO-GIBB promovían desarrollo de frutas jóvenes (entre la cuarta y décima semana) con un aumento en la proporción de frutos grado A de 10-17% y el rendimiento de 12-86% (Opile, 1977).

En otras investigaciones descubrieron que concentraciones de GA en semillas inmaduras y en frutas en desarrollo eran mayores que las encontradas en otros tejidos vegetativos. Se conoce que GA inducen alargamiento del raquis en uvas sin semillas aumentando el espacio entre frutas y promueven mayor flujo de carbohidratos al fruto en desarrollo, por tanto, su tamaño aumenta (Sponcel 2007).

En manzanas se utiliza una formulación que contiene dos giberelinas: A4 y A7 con la CK conocida como 6-benziladenina (Promalin) para inducir alargamiento en la fruta, aumentar el crecimiento de las ramas laterales en árboles jóvenes y aumenta el rendimiento de la cebada. En Hawaii se utiliza para aumentar el rendimiento de la caña de azúcar.

Para el año 1994, Carlos A. Flores, realizó una investigación en la variedad de café Caturra para controlar la floración utilizando reguladores de crecimiento. Fueron cinco los tratamientos utilizados: 1. GA (200 mgL⁻¹) aplicada en enero; 2. Paclobutrazol (200 mgL⁻¹) en enero y GA en febrero; 3. Ácido abscísico (ABA) en

enero y febrero; 4. Fluoridine (0.50 mgL^{-1}) en enero y GA (200 mgL^{-1}) en febrero; 5. Surfactante (10 ml/gal) en enero y febrero. Para los parámetros de producción de yemas florales, producción de flores, longitud del árbol y longitud de las ramas que fueron establecidos en esa investigación, en términos generales, no se encontró diferencias significativas.

Por otro lado, en relación a la producción de frutos, el tratamiento con GA sí presentó un aumento significativo en el cuaje de frutas entre la segunda y la cuarta semana comparado con otros tratamientos. El tratamiento de GA aceleró la cosecha de café en el primer pase y demostró sobreponer los requisitos de agua, resultando en un cuaje temprano y más uniforme (Flores 1994).

Con el propósito de aislar y caracterizar giberelinas presentes en *Coffea arabica* variedad Típica (Selección Puerto Rico) en el año 1997, Carlos E. Miranda realizó una investigación. En la misma, se utilizó el endospermo de semillas inmaduras de un tamaño entre 0.5 – 1 cm y logró aislar GA_{20} como un giberelina endógena de *C. arabica*. En adición a esto, concluye que en el proceso de extracción de giberelinas, todo depende de la parte de la planta y la especie que se analiza.

Según Juan Colón, en su tesis (2001) explica que existen tres formas en que se encuentran las giberelinas en la planta: libres, conjugadas y soluble en agua o enlazada. En su investigación logró identificar giberelinas endógenas de café variedad Típica como: GA_{24} , GA_4 , GA_{13} , y GA_{34} catabolito, concluyendo que pasos específicos en la biosíntesis de giberelinas tienen lugar en diferentes etapas de la planta por lo que explica la ausencia de GA_{20} en su investigación de café.

En el año 2003, Brunilda Hernández realizó una investigación con el propósito de aislar e identificar giberelinas endógenas en *Coffea canephora* (Café Robusta) y en *Coffea liberica* (Café Exelsa). Para ello, utilizó el endospermo de semillas inmaduras de 0.5 – 1 cm de diámetro. Finalmente, encontró en *C. canephora* 2a OH GA₂₄ y GA₃₄ mientras que en *C. liberica* encontró 2a OH GA₂₄ y GA₉. Aunque evaluó dos especies de café, en ambas, se sigue la misma ruta metabólica. Concluyendo que GA₃₄ se identificó como catabolito en *C. arabica* y *C. canephora* y no en *C. liberica*; posiblemente por diferencias en etapas de desarrollo.

En una otra investigación realizada por S. Shivashankar, V. Ravindra y L. Louis en el año 2006 sobre cambios bioquímicos en la semilla y mesocarpio de mango variedad Alphonso se menciona que aplicaciones exógenas de giberelinas (GA₃) indujo la formación de tejido esponjoso con una disminución de amilasa en la semilla. En relación al tratamiento con reguladores en la fruta que fue pre-tratada con giberelinas, la actividad de amilasa aumentó. En las semillas, cuando se realizó la aplicación de GA₃, la actividad de amilasa también aumentó mientras que la tratada con paclobutrazol disminuyó. En el mesocarpio, la actividad de amilasa disminuyó al ser tratada con GA₃ y aumentó al ser tratada con paclobutrazol.

Otro estudio realizado con relación al crecimiento de la fruta de *Pyrus pyrifolia* (pera oriental) en el 2006 indica que en el desarrollo de la fruta hay tres etapas principales: desarrollo del ovario, crecimiento de la fruta (división celular) y alargamiento celular. Además, hay una relación significativa entre el tamaño

celular y el peso final de la fruta. Se concluye que la etapa de división celular es de mayor importancia que la de alargamiento celular en cuanto a la determinación del tamaño final del fruto (C. Zahng *et al.* 2006).

3.3.2 Citoquininas

Las citoquininas fueron encontradas en la búsqueda de sustancias que estimularan la división celular. Se relacionan con varios factores determinantes en procesos fisiológicos y de desarrollo en plantas especialmente, en la movilización de nutrientes; ya que amplía los haces vasculares permitiendo mayor flujo de nutrimentos y de agua. Éstas afectan procesos como: senescencia de la hoja, movilización de nutrientes, dominancia apical, desarrollo floral, germinación de la semilla, diferenciación de cloroplastos, desarrollo y metabolismo autotrófico, expansión de cotiledón y hoja. También, regulan procesos como la división celular en el crecimiento y desarrollo de la planta. Se ha demostrado que regulan componentes específicos del ciclo celular y promueven alargamiento celular en hojas y cotiledones (Taiz y Zeiger 2006).

En ocasiones anteriores, se ha probado experimentalmente que las citoquininas promueven el desarrollo de cloroplastos. Si se trata con citoquininas unas hojas etioladas, de una planta que ha crecido en obscuridad, éstas forman cloroplastos, clorofila y enzimas fotosintéticas que se sintetizan más rápidamente al ser iluminadas (Taiz y Zeiger 2006).

Las citoquininas fueron descubiertas cuando se añadió a un medio nutritivo, auxina y 10-20% de leche o agua de coco; entonces esto promovió la división celular formando un callo, aunque anteriormente se había descubierto una

citoquinina sintética llamada Quinetina. Entre los años 1940-1950, Folke Skoog y sus colaboradores demostraron que la Quinetina, era un derivado de adenina (o aminopurina); la 6-furfurilaminopurina fue identificada por Miller y colaboradores en 1955. Ambas son caracterizadas por la habilidad de inducir división celular en presencia de auxina. Estas promueven principalmente división celular en tejido no diferenciado, o sea, en tejidos juveniles en donde ocurre rápida división celular (Taiz y Zeiger 2006).

La quinetina, es un producto que se obtiene o es producido por la degradación del DNA, inducida por calor. Luego, se encontró que en el endospermo inmaduro de la semilla de maíz había una sustancia con el mismo efecto biológico que la quinetina. De esta manera, se descubre la citoquinina natural más abundante que es la zeatina. Letham, para el año 1973, aisló la molécula y la identificó como: trans-6-(4-hidroxi-3-metilbut-2-enilamino) purina y la llamó zeatina. Otras citoquininas importantes que comúnmente se encuentran en plantas superiores son: isopentenil adenina (IP) y dihidrozeatina (DZ) (Taiz y Zeiger 2006).

En las plantas, el lugar de mayor síntesis de citoquininas ocurre en los meristemas apicales de la raíz. Además, se sintetizan en hojas jóvenes, embriones en desarrollo y frutos. Las citoquininas pueden ser sintetizadas también por bacterias que están asociadas a las plantas, insectos y nematodos (Taiz y Zeiger 2006).

Las citoquininas son transportadas en la planta pasivamente de la raíz hacia el vástago por el xilema. Éstas parecen moverse a través del tallo junto al

agua y a los minerales incorporados, basado en el análisis del exudado del xilema; por lo tanto, promueven el movimiento de nutrientes hacia las hojas. Experimentos anteriores, han demostrado que los nutrientes en las plantas son transportados hacia tejidos tratados con citoquininas y se acumulan en éstos. Se ha postulado que la hormona crea movilización de nutrientes por una relación de abasto sumidero (Taiz y Zeiger 2006).

El estrés hídrico, es uno de los factores ambientales que interfiere en el funcionamiento de la raíz; esto reduce el contenido de citoquininas del exudado del xilema. Por el contrario, el suplemento de nitrato aplicado a las raíces de plantas de maíz, con falta de nitrógeno, produce un aumento en la concentración de citoquininas en la savia del xilema descubierto por Samuelson en el año 1992 lo cual está correlacionado con una inducción de la expresión genética regulada por citoquininas en tallos (Taiz y Zeiger 2006).

Una investigación de citoquininas en el perianto, carpelos y frutas en desarrollo de *Helleborus niger* L. (eléboro negro o rosa de Navidad) realizada por P. Tarkowski, *et al.* (2005), revela que la relación entre el pericarpo y el peso de la semilla depende de si una polinización es exitosa o no. En esa investigación se identificó los tipos de citoquininas presentes en las flores de este cultivo: bases libres y ribósidos de zeatina (Z), dehidrozeatina (DZ) y N⁶-(Δ^2 -isopentenil) adenina (iP). Encontraron que durante la antesis, la citoquinina en mayor abundancia fue DZ, mientras que en la etapa de desarrollo del fruto la que mayormente estaba presente fue la Z. Observaron que los niveles de citoquininas aumentaron dramáticamente poco después de la polinización y al comienzo de la

diferenciación de la semilla. En el cultivo que estudiaron los niveles de citoquininas aumentaron también durante el desarrollo temprano del fruto.

3.4 Rendimiento

Actualmente, el precio del café en Puerto Rico es determinado porcentualmente basándose en su rendimiento. El rendimiento se determina dividiendo el peso pilado (PP) entre el peso seco (PS) y luego se multiplica por cien ($PP/PS*100$). Para obtener buenos rendimientos en la planta de café, además de una adecuada fertilización, se debe mantener el cultivo libre de plagas y enfermedades. Así como, es importante seleccionar cuidadosamente el lugar de siembra y determinar la distancia adecuada entre plantas.

Así se demostró en un experimento publicado por la revista Cenicafé en el que utilizaron tres densidades de siembra (10,000, 5,000 y 2,500 plantas/hectárea) en la variedad Caturra. En el mismo, se identificó la relación que existe entre el índice de área foliar y la productividad de árboles de café.

Los resultados de este experimento indican que a mayor distancia de siembra, mayor es el área foliar. En los meses de junio y noviembre el índice de área foliar presentó una tendencia a aumentar con una mayor densidad de siembra, aunque, esta tasa de aumento no fue constante. La producción de café (por unidad de superficie) en los primeros tres años fue mejor al tener mayor densidad de siembra, pero en los años 1969 y 1970 la producción fue menor al aumentar la densidad de siembra.

En conclusión se indicó que para el café Caturra bajo las condiciones del experimento se puede obtener un índice de área foliar óptimo que influye en la productividad del café a los tres años después de la siembra a 10,000 plantas/hectárea o en cuatro años después de la siembra con una densidad de 5,000 plantas/hectárea (Valencia 1973).

3.5 Tamaño de la muestra

Para determinar el tamaño del grano de café generalmente se utilizaba en Cenicafe una muestra de 250 gramos de café con una humedad de 11%. Con el propósito de reducir la magnitud de esta muestra, es que se realiza para el año 1978 un experimento en semillas de treinta y cinco plantas F_3 de *C. arabica* (Caturra x Híbrido de Timor). Se tomaron muestras de 250, 100 y 50 g de café verde y de un árbol de café maduro. Los resultados de este experimento revelaron que la disminución del tamaño de la muestra no afectó los resultados ya que sólo se produjo una variabilidad menor de 2%. Por lo tanto, la muestra para la evaluación puede reducirse de 250 a 100 ó 50 g sin que haya diferencias en los resultados (Moreno y Castillo 1978).

3.6 Precios del Café en Puerto Rico

De acuerdo con el Departamento de Asuntos del Consumidor (DACO) orden número 19, reglamento de precios número 6 para el control de precios de la venta de café, vigente a partir del 1 de octubre de 2005. En la misma quedan establecidos los siguientes precios:

A. Tabla 1. Precios Café al Agricultor

Tipo de café	Precios \$
Uva (maduro) por almud	13.25
Verde-Maduro por almud	9.00
Pergamino B (Base pilado quintal)	316.50
Pergamino B (por quintal)	253.20
Collor C (Base pilado por quintal)	220.50
Collor C (por quintal)	132.30

B. Tabla 2. Café Pilado por quintal

Tipo de Café	Precios Máximos en venta a Torrefactores y Detallistas \$
Tipo B	323.50
Tipo C	227.50
Semitostado 10% por quintal	120.74

C. Tabla 3. Café Tostado y Molido

Bolsas	Por Quintal Entregado a Detallistas \$	Precio por Unidad al Consumidor \$
1 lb	422.38	4.44
½ lb	427.58	2.25
¼ lb	428.05	1.13

CAPÍTULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se describe la metodología y procedimientos que se utilizaron para poder realizar esta investigación. Dos experimentos fueron realizados con el fin de analizar el desarrollo del grano de café utilizando aplicaciones de dos reguladores de crecimiento y tres fertilizantes. En adición a esto, se pretende determinar cuan efectivo es el utilizar una o varias aplicaciones de los tratamientos experimentados.

Los tratamientos utilizados para los experimentos fueron: Pro-Gibb® (GA₃), 6-Bencilaminopurina (CK), MILLERPLEX® (3-3-3 + *Ascophillum*), K-FOL® y NUTRILEAF 60® (20-20-20) y Agua como el tratamiento control.

La variedad de café utilizada para propósitos de esta investigación fue Limaní, la cual es producto de un cruce genético artificial entre Villa Sarchí y el Híbrido de Timor. Se le conoce como sarchimores a los cruces entre estos parentales. La variedad Limaní se caracteriza por presentar adaptabilidad, es de porte semienano, con hojas anchas y tiende a producir ramas secundarias de alta producción y de rendimiento superior a la variedad Caturra. Los frutos y granos son de mayor tamaño que el Caturra. Esta variedad fue probada experimentalmente en la Estación Experimental Agrícola en el barrio Limaní de Adjuntas y es por eso que lleva ese nombre. Además, se probó en Puerto Rico una línea de café Catimor que es un cruce entre el Híbrido de Timor y el Caturra en una finca privada del barrio Frontón de Ciales, por lo que éste lleva su nombre.

La variedad Limaní se caracteriza por tener un tronco grueso y poco flexible; además, tiene un comportamiento de producción y rendimiento superior a la variedad Caturra. Sus hojas nuevas pueden ser tanto de color bronceadas como verdes (Salas 2005).

Ambos experimentos, fueron realizados en la Subestación Experimental Agrícola de Adjuntas bajo condiciones ambientales similares de: temperatura, precipitación, humedad relativa, altitud, condiciones del suelo, intensidad lumínica y viento. La selección del predio de café se realizó mediante la utilización de criterios básicos, recomendados para su producción en Puerto Rico. Entre estos criterios se encuentran los factores ecológicos y factores agronómicos como: altura, variedades, distancia de siembra, tipo y sistema de siembra.

La Subestación Experimental Agrícola se encuentra localizada en el barrio Limaní de Adjuntas, Puerto Rico. Está en la latitud 18.11° Norte y longitud 66.48° Oeste. El suelo del predio utilizado para fines de este experimento, se caracteriza por tener un pH de 5.4 con 1.6% de materia orgánica. Según el análisis de suelo realizado, su estructura consiste de un 52% de arcilla, 26% de arena y 22% de limo. Esto demuestra que la clasificación del terreno en que se sembró el café utilizado para fines de ambos experimentos es uno arcilloso.

El predio de café, se seleccionó por ser una siembra joven a la que aún no se le había realizado una poda. Esto es una buena característica ya que en el tejido joven de las plantas se lleva a cabo mayor división celular. Cabe señalar, que en el cultivo del café, hay mayor producción en el tejido nuevo.

Durante ambos experimentos se realizaron varias prácticas culturales que son recomendadas para el cultivo del café en Puerto Rico. Una de éstas fue el manejo de malezas ya que en nuestra Isla representa uno de los principales problemas en la agricultura. El método que se utilizó fue uno de control químico en donde se aplicó herbicida de contacto (Gramoxone®) y sistémico (Roundup®). Además, se aplicó fertilizante al café a razón de 5 oz / planta.

4.1 Experimento I

El Experimento I, se inició el día 4 de junio de 2007 con la selección de arbustos y la identificación de ellos haciendo uso de colocación de cintas en el primer entrenudo de cada árbol. Los arbustos fueron seleccionados de acuerdo con una altura y follaje similar. Se identificó una línea de arbustos que fueron utilizados como borde para reducir la variación. Luego, se procedió a seleccionar las cuatro ramas ubicadas en el tercio medio del árbol que serían designadas para la recolección final del café. Estas cuatro ramas se seleccionaron dependiendo la dirección cardinal (Norte, Sur, Este, Oeste) que representen.

Cabe señalar que durante este primer experimento, se realizó la aplicación de concentraciones extremadamente altas en algunos árboles de café, debido a un error experimental donde se utilizó un peso en onzas, en lugar de gramos. Los tratamientos fueron: PRO-GIBB® y NUTRILEAF 60® aplicados a concentraciones de: 284 mg L⁻¹, 2835 mg L⁻¹ y 28349 mg L⁻¹ y el tratamiento K-FOL® que fue aplicado a: 280 mg L⁻¹, 2808 mg L⁻¹ y 28377 mg L⁻¹.

Los árboles donde se aplicaron concentraciones de tratamientos mayores a los establecidos, fueron identificados debidamente para continuar el curso del experimento y fueron evaluados bajo los mismos parámetros utilizados en los tratamientos correctos (Tabla 4). Nuevos árboles fueron seleccionados para continuar con el experimento.

El día 6 de junio de 2007 se aplicaron los tratamientos de: PROGIBB® (GA₃), MILLERPLEX®, K-FOL® y NUTRILEAF 60®, a concentraciones de 10 mg L⁻¹, 100 mg L⁻¹, 1000 mg L⁻¹ y el control (Tabla 4). Fueron aplicados directamente al suelo una sola vez a la plantación, utilizando 500 ml de cada solución.

Tabla 4. Tratamientos Utilizados en el Experimento I

Tratamiento	Concentración (mg L ⁻¹)
PROGIBB®	10
	100
	1000
MILLERPLEX®	10
	100
	1000
K FOL®	10
	100
	1000
NUTRILEAF 60®	10
	100
	1000
Agua	Control

Se diseñó un mapa del predio en donde se pueda reconocer cada tratamiento y la forma en que se encuentra sembrado (Véase Figura B.1.5).

Se llevó un registro semanal de cambios observados en la plantación cada siete días aproximadamente: 15, 21 y 28 de junio; 6, 13, 20 y 28 de julio y 11 y 27 de agosto de 2007 para identificar diferencias que puedan ocurrir en las plantas tratadas.

El diseño experimental fue uno en bloques completamente aleatorizado (DBCA) en donde se distribuyeron los tratamientos a los arbustos seleccionados al azar. Es un diseño simple en el que cada bloque tiene la misma probabilidad en donde se debe utilizar un número de repeticiones constantes. Se utilizaron 13 tratamientos en cuatro bloques de dos árboles cada uno, obteniendo un total de 100 plantas de café.

Los parámetros establecidos durante el primer experimento fueron los siguientes:

1. Diámetro de tallo – Utilizando sistema métrico, se midió el diámetro del tallo de los arbustos de café. Esta medida fue tomada en la base del tallo a una pulgada del suelo.
2. Diámetro de la copa - Utilizando una cinta métrica, se midió el diámetro de la copa de los arbustos de café. Esta medida se tomó en el tercio medio, desde un extremo del arbusto hasta el otro.
3. Longitud del árbol - Esta medida se tomó midiendo desde la base del tallo hasta el ápice con una cinta métrica. La primera medida fue

tomada el día 15 de junio de 2007 y la medida final fue tomada el 20 de diciembre de 2007, al igual que los parámetros del diámetro de copa y diámetro de tallo.

4. Longitud del grano seco (oro) – Se seleccionó al azar una representación de 10 granos en cada muestra de café seco. Se midió la longitud de estos granos en mm con un calibrador vernier (en dirección paralela al canal central de los granos) para determinar si existen diferencias en tamaño de granos secos en las muestras de los diferentes tratamientos.
5. Tamaño del grano pilado - Se separaron los granos de cada muestra por tamaño, en un sistema de láminas con orificios graduados en unidades denominadas zaranda. En el sistema para la clasificación de café hay una notación en que se describe como Zn, en donde n es un múltiplo de 1/64". Por ejemplo: un grano Z18 atraviesa la lámina con orificios 18/64", por lo tanto mide 7.14 mm. Los granos de cada muestra fueron separados en cinco bandejas clasificadas en tamaños de: Z>20, Z19, Z17, Z15 y Z<15 (Madero 2002).

Según los datos registrados en la Estación Experimental Agrícola (EEA) de Adjuntas, se obtuvo las temperaturas promedio mensuales del aire en el periodo en que se realizó el primer experimento. El record de temperaturas fue suministrado desde el mes de junio hasta diciembre del año 2007 (Tabla 5). Para el mes de julio se registró una temperatura de 86.3° F como la máxima promedio, mientras que para el mes de diciembre, se registró una temperatura de 57.6° F, siendo la mínima promedio.

Tabla 5. Temperatura Promedio del Aire en EEA de Adjuntas durante el Primer Experimento (Junio-Diciembre 2007)

Mes	Temperatura Máxima Promedio (°F)	Temperatura Mínima Promedio (°F)
Junio	85.3	62.9
Julio	86.3	62.2
Agosto	85.5	63.2
Septiembre	85.0	61.2
Octubre	83.5	62.6
Noviembre	82.3	59.3
Diciembre	80.1	57.6

Según los datos suministrados por la Estación Experimental Agrícola de Adjuntas, la menor cantidad de precipitación durante el primer experimento se registró para el mes de noviembre con 107.2 mm (4.22”), mientras que la mayor cantidad de lluvia ocurrió durante el mes de diciembre donde se midió 328.9 mm (12.95”) (Tabla 6).

Tabla 6. Precipitación Total en EEA de Adjuntas durante el Primer Experimento (Junio-Diciembre 2007)

Mes	Precipitación Total mm (pulgadas)
Junio	145.5 (5.73)
Julio	146.6 (5.77)
Agosto	211.1 (8.31)
Septiembre	299.2 (10.60)
Octubre	243.8 (9.60)
Noviembre	107.2 (4.22)
Diciembre	328.9 (12.95)

La recolección o cosecha del café se realizó en siete ocasiones cuando el grano se encontraba maduro. El periodo de recolección del café dio inicio con la primera cosecha el día 11 de agosto de 2007; la segunda fue el 31 de agosto; la tercera se efectuó los días 7 y 8 de septiembre; la cuarta el 14 de septiembre; la quinta el 21 de septiembre; la sexta el 13 de octubre y la séptima cosecha, como final, se realizó durante los días 3 y 4 de noviembre de 2007.

Una vez recogido el café maduro de las cuatro ramas seleccionadas, éste fue colocado en bolsas plásticas (zip-lock) debidamente identificadas y pesadas en una balanza (g).

Luego se contaron los granos y se comenzó el proceso de beneficiado:

- **Despulpado del café:** se realizó a mano (para el primer experimento, se utilizó un disco debido a la gran cantidad de muestras). El despulpado consiste en separar el epicarpio o la cáscara y parte del mucílago del fruto. Se debe realizar el mismo día de la recolección para evitar la sobre-fermentación.
- **Fermentación:** es un proceso necesario y muy importante ya que su propósito es separar el mucílago de la semilla. Para la fermentación, se dejó en reposo el café por aproximadamente 12 a 16 horas.
- **Lavado:** se realizó mediante aplicación de agua.
- **Secado al sol:** el café fue expuesto al sol durante tres días aproximadamente para reducir el porcentaje de humedad de la semilla de un 55% a entre 10 a 12%.

- Finalizado el proceso de beneficiado: el café se almacenó en bolsas de papel debidamente identificadas y se pesó nuevamente (gramos).
- Luego se piló el café en una piladora IMSA Villa Rica procedente de Perú, localizada en el Almacén de Compra y Venta de Café de Adjuntas.
- El café se pesó nuevamente, se clasificó por tamaño utilizando la zaranda. La clasificadora tiene 5 bandejas o zarandas que separa los granos de café por su tamaño. La primera bandeja retiene los granos de un tamaño mayor a 20 clasificados como granos monstruo, la segunda retiene granos de tamaño 20 clasificados como extra-grandes, la tercera retiene granos grandes de tamaño 18, la cuarta granos 15 que son granos pequeños y la quinta es para el recogido de los granos restantes, los que se caracterizan por ser granos muy pequeños, partidos y dañados. Después de la clasificación se contó y se pesó la cantidad de granos obtenidos en cada bandeja por separado.

Al obtener todos los datos necesarios, un análisis estadístico de varianza o ANOVA, fue realizado para determinar si hay diferencia mínima significativa (DMS, $p < 0.05$) utilizando los programas de Infostat y SAS. Entre las pruebas específicas que se realizaron se encuentran: la prueba de Tukey (se utiliza un valor crítico mayor para evitar encontrar diferencias significativas cuando no las hay) y análisis de covarianza para determinar diferencias en la longitud del árbol, diámetro de ramas y diámetro de tronco. El análisis de covarianza se utiliza en caso de que tengamos una medida inicial que no es igual en todas las plantas.

4.2 Experimento II

El experimento II se inició al igual que el primer experimento, con la selección de arbustos y la identificación de ellos. El día 19 de enero de 2008 se colocaron cintas en el primer entrenudo de cada arbusto. Luego se procedió a seleccionar las cuatro ramas que serían designadas para la recolección final del café. Estas cuatro ramas se seleccionaron del tercio medio del árbol, dependiendo la dirección cardinal que representen (Norte, Sur, Este, Oeste).

El día 3 de febrero de 2008 se realizó otra selección de árboles de café que tuvieran yemas florales. Desde esa fecha hasta el día 3 de octubre se tomaron datos mensualmente culminando con la etapa de maduración del fruto, esto con el fin de determinar una curva de crecimiento del desarrollo del fruto de café, variedad Limaní, bajo condiciones ambientales de la Estación Experimental Agrícola (EEA).

A diferencia del primer experimento, en esta ocasión se aplicaron los tratamientos cuatro veces a la plantación de café, una después de cada florecida.

-La primera florecida fue relativamente pequeña. Se realizó la primera aplicación de los tratamientos: MILLERPLEX®, K-FOL®, CK, CK+NUTRILEAF 60®, CK+GA y AGUA (Control) el día 26 de enero. El próximo día, 27 de enero de 2008, se aplicaron: GA y NUTRILEAF 60®.

-La segunda aplicación de tratamientos se realizó luego de otra florecida pequeña. El día 15 de febrero de 2008 se aplicó: GA, NUTRILEAF 60®, K-FOL®

y AGUA. El día 16 de febrero entonces se concluyó con las aplicaciones de: MILLERPLEX®, CK, CK+NUTRILEAF 60® y CK+GA.

-El 1 de marzo de 2008 fue la tercera aplicación de tratamientos: GA, MILLERPLEX®, K-FOL®, NUTRILEAF 60®, CK+NUTRILEAF 60® después de una florecida muy grande. El 2 de marzo se finalizó esta tercera aplicación de los tratamientos: CK y CK+GA.

- El día 30 de marzo de 2008, finalmente se realizó una cuarta aplicación de todos los tratamientos. Ésta se realizó después de una florecida muy grande.

Los tratamientos fueron aplicados directamente al suelo utilizando 500 ml de cada solución. Los tratamientos de: GA₃, Citoquinina, MILLERPLEX®, K-FOL®, NUTRILEAF 60® y mezclas de GA+CK y NUTRILEAF 60®+CK, todos fueron aplicados a las mismas concentraciones de 10 mg L⁻¹, 100 mg L⁻¹ y 1000 mg L⁻¹.

Se diseñó un mapa para reconocer cada tratamiento y la forma en que se encuentra sembrado el predio (Véase Figura B.1.6).

Se llevó un registro de observaciones a las plantas tratadas con los diferentes productos en el campo, comenzando el día 10 de febrero de 2008; se continuó los días: 23 de febrero, 18 y 30 de marzo, 7, 12 y 20 de abril, 12 de mayo, 6 de junio, 28 de julio, 19 de septiembre y finalmente el día 9 de octubre de 2008.

Durante el segundo experimento, para el 29 de marzo se colocaron 12 trampas en el predio para el control de la Broca del café (*Hypothenemus hampei*).

La broca del café es una especie de coleóptero, originaria de África. Esta plaga es del tamaño de la cabeza de un alfiler y reconocida por afectar los cultivos de café a nivel mundial.

Las trampas ECO IAPAR fueron modificadas por el Director de la EEA de Adjuntas y Especialista en Café del Servicio de Extensión Agrícola, Sr. Wigmar González. Las mismas fueron confeccionadas según recomendaciones del Servicio de Extensión Agrícola. Al utilizar este método, se reciclan botellas plásticas de refresco de 67.6 oz. Se utilizan doce trampas por cuerda. Las trampas tienen un difusor para atraer a la broca que contiene etanol y metanol a una proporción de 1:1, luego cae en agua y muere. Se recomienda llenar el difusor por lo menos una vez al mes, o según la velocidad de evaporación que está influenciada por la temperatura. En ocasiones fue necesario reponerlo cada dos semanas. Para determinar el porcentaje de daño causado por broca se hizo necesario realizar un muestreo. Lo recomendado es seleccionar al azar doce arbustos en 'zigzag' por cuerda. De cada arbusto se seleccionó una rama y se realizó el conteo de frutos brocados (FB) que luego fue dividido entre el número total de granos (FT) multiplicado por cien ($FB/FT*100 = \% \text{ daño por la broca}$).

El diseño experimental, al igual que en el primer experimento, fue uno en bloques completamente aleatorizado (DBCA). El experimento se caracterizó por tener cuatro repeticiones (bloques) de dos arbustos por tratamiento y 22 tratamientos, para un total de 176 arbustos de café.

Los parámetros establecidos durante el segundo experimento, fueron iguales al primer experimento: altura de la planta, diámetro del tallo, diámetro de la copa, tamaño del grano seco (oro) y tamaño del grano pilado.

Según datos registrados por la Estación Experimental Agrícola de Adjuntas, la temperatura máxima promedio del aire durante el periodo de los meses de Enero a Diciembre del año 2008, fue representada con un 86.2°F durante el mes de julio. Para el mes de febrero se registró una temperatura mínima promedio de 53.1° F (Tabla 7).

Tabla 7. Temperatura promedio del aire en EEA de Adjuntas durante el Segundo Experimento (Enero-Diciembre 2008)

Mes	Temperatura Máxima Promedio (°F)	Temperatura Mínima Promedio (°F)
Enero	79.7	53.4
Febrero	80.3	53.1
Marzo	80.6	53.5
Abril	81.5	55.8
Mayo	83.0	58.6
Junio	85.5	61.7
Julio	86.2	59.8
Agosto	85.8	61.4
Septiembre	84.2	62.6
Octubre	84.3	60.1
Noviembre	82.0	58.4
Diciembre	79.0	56.3

Según los datos suministrados por la Estación Experimental Agrícola de Adjuntas, la menor cantidad de precipitación durante el segundo experimento se registró para el mes de febrero con 21.8 mm (0.86”), mientras que la mayor cantidad de precipitación ocurrió durante el mes de septiembre donde se midió 594.9 mm (23.42”) (Tabla 8).

Tabla 8. Precipitación Total en EEA de Adjuntas durante el Segundo Experimento (Enero-Diciembre 2008)

Mes	Precipitación Total mm (pulgadas)
Enero	46.2 (1.82)
Febrero	21.8 (0.86)
Marzo	52.1 (2.05)
Abril	243.6 (9.59)
Mayo	159.5 (6.28)
Junio	137.2 (5.40)
Julio	136.6 (5.38)
Agosto	256.5 (10.10)
Septiembre	594.9 (23.42)
Octubre	166.1 (6.54)
Noviembre	232.4 (9.15)
Diciembre	64.8 (2.55)

Esta vez, la cosecha se realizó en dos ocasiones cuando el grano de café se encontraba maduro. Las fechas en que se recolectó el café fueron: la primera cosecha del 9 al 10 de octubre de 2008 y la segunda del 22 al 24 de noviembre de 2008.

Después de realizar la segunda cosecha del café, se seleccionaron al azar algunos frutos frescos de diferentes tratamientos y se realizó un corte transversal, para observar algún cambio en el desarrollo de la pulpa del grano.

Además, el día 4 de diciembre de 2008, se realizó una prueba adicional donde se midió la cantidad de clorofila en las plantas tratadas. Para esto se utilizó un medidor de clorofila Modelo SPAD-502. Para la prueba, se seleccionó una hoja de cada arbusto, a la que se le tomó tres diferentes medidas, una en cada extremo de la hoja y otra del centro de la misma.

Una vez cosechado el café maduro de las cuatro ramas previamente seleccionadas, se colocó en bolsas plásticas (zip-lock), debidamente identificadas y pesadas en una balanza (g).

Al igual que en el Experimento I, el procedimiento a seguir: se contaron los granos frescos de café, se realizó el beneficiado en donde se despulpó, luego ocurrió la fermentación, se redujo el porcentaje de humedad con el secado del grano, se colocó el café en bolsas de papel debidamente identificadas y se pesó nuevamente.

Se seleccionó al azar una muestra de diez granos y se midió su longitud con un calibrador vernier. Luego, se piló el café en su totalidad y se pesó nuevamente.

Se clasificó por tamaño utilizando las zarandas. Después se contó y se pesó la cantidad de granos obtenidos en cada bandeja por separado.

Con los datos obtenidos del Experimento II, se realizó un análisis estadístico de varianza o ANOVA para determinar si hay diferencia mínima significativa (DMS, $p < 0.05$) utilizando los programas de Infostat y SAS. La primera prueba específica utilizada fue la de Tukey. En ésta se utiliza un valor crítico mayor para evitar encontrar diferencias significativas cuando no las hay. Otra de las pruebas fue la de Dunnett para comparar los tratamientos con el control. Como tercera prueba está el análisis de covarianza para longitud del árbol, diámetro de la rama y diámetro del tronco. El análisis de covarianza se utiliza en caso de que tengamos una medida inicial que no es igual en todas las plantas.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSION

Para el cultivo de café en Puerto Rico, es de gran importancia contar con un plan para el manejo integrado de plagas y conocer las diferentes enfermedades y plagas a las que debemos enfrentarnos. En ambos experimentos, se observó las principales plagas que afectan la variedad de café Limaní. Las mismas deben ser tratadas a tiempo ya que podrían ocasionar una disminución en la producción y el rendimiento del café. En la Tabla 9 se presenta una descripción de estas plagas (Alvarado y Monroig 2007).

Tabla 9. Descripción de Enfermedades y Plagas que Afectan el Café

Nombre Común	Nombre Científico	Clasificación	Descripción
Mancha cercospórica	<i>Cercospora coffeicola</i>		Ocasiona manchas circulares de bordes color marrón con halo clorótico; se pueden observar lesiones similares y pueden presentar maduración temprana en los frutos.
Moho de hilachas	<i>Pellicularia koleroga</i>	Hongo	Se observa principalmente en hojas secas unidas a las ramas por un hilo compuesto de las hifas del hongo.
Antracnosis	<i>Colletotrichum gleosporioides</i>	Hongo	Puede ocurrir en hojas, ramas y frutos donde se observan lesiones hundidas de color oscuro y granos momificados.
Muerte regresiva de las ramas	<i>Pellicularia koleroga, Corticium salmonicolor y Colletotrichum gleosporioides</i>	Asociación de Hongos	Frecuente en plantas expuestas a condiciones de estrés y pobre fertilidad.
Marchitez vascular	<i>Fusarium oxysporum f. sp. coffeae</i>		Se puede observar causando clorosis en las hojas y eventualmente hay una defoliación seguida por la muerte del árbol.

Continuación Tabla 9. Enfermedades y Plagas que afectan el café

Nombre Común	Nombre Científico	Clasificación	Descripción
Fumagina	<i>Capnodium</i> spp.	Hongo	Caracterizada por una cobertura de color negra sobre las hojas lo que reduce la actividad fotosintética. En presencia de algunos insectos que producen secreciones azucaradas se intensifica la fumagina ya que sirven de medio de cultivo al hongo.
Queresas	<i>Coccus viridis</i>	Insecto	Retardan el crecimiento del árbol y son más abundantes en época de sequía.
Vaquita del café	<i>Lachnopus coffeae</i>	Insecto	Se alimenta de tallos jóvenes y de los bordes de las hojas.
Broca del café	<i>Hypothenemus hampei</i>	Insecto	Ataca los frutos perforándolos por el área del disco floral haciendo un túnel hacia el interior de la semilla para depositar sus huevos y alimentarse, causando pérdidas en la producción y en el rendimiento del café ya que ataca frutos verdes, pintos, maduros y hasta los granos secos almacenados (Alvarado y Monroig 2007).

Continuación Tabla 9. Enfermedades y Plagas que afectan el café

Nombre Común	Nombre Científico	Clasificación	Descripción
Minador de la Hoja	<i>Leucoptera coffeella</i>	Insecto	La larva del Insecto se alimenta de tejidos internos de la hoja ocasionando la formación de una mancha irregular color marrón en la misma.

5.1 Experimento I

El Experimento I se caracterizó por determinar el efecto de diferentes tratamientos en los árboles de café utilizando los parámetros de longitud del árbol, diámetro de copa, diámetro del tallo y su efecto en el tamaño del grano. Para evaluar el efecto de los tratamientos en el tamaño del grano se determinó la longitud del grano seco, tamaño del grano pilado, entre otros como el peso fresco de los granos, el peso seco y su rendimiento.

Cabe mencionar que durante el primer experimento se observó una mayor incidencia en daños en el epicarpio o la cáscara (piel) de las frutas de café. De acuerdo a otro experimento realizado en Puerto Rico, estos daños representados por manchas están asociados a unas lesiones causadas por micro-flora. Esto se comprueba mediante las pruebas de patogenicidad que identificaron a *Cercospora coffeicola*, *Fusarium solani*, *F. oxysporum*, *Colletotrichum gleosporioides* y *C. dematium*, como patógenos primarios en la etiología de las manchas de las frutas de café. No importa el estado de maduración en que se encuentre el grano, según la investigación, la infección fue mayor cuando las inoculaciones se llevaron a cabo en frutas pintas. La susceptibilidad de las frutas varía con el grado de crecimiento y los frutos verdes son relativamente más resistentes que los maduros (Arocho, Rodríguez y Betancourt 2005).

A. Longitud o altura promedio de las plantas

Se evaluó el efecto de los tratamientos en la longitud de las plantas de café. En las visitas realizadas al campo, no se observó cambio alguno en las plantas tratadas. Como resultado de un análisis estadístico (ANOVA), se utilizó el valor de p y una prueba de Tukey, para determinar diferencias significativas entre las medias de la longitud de los árboles tratados con los diferentes productos. En el parámetro de altura de las plantas, no se encontraron diferencias significativas (Tabla A.1.1).

B. Diámetro promedio de las copas de los árboles

Así mismo se midió el efecto de los tratamientos en el diámetro de la copa de los árboles de café. Según observaciones de campo, no hubo cambios significativos en el diámetro de las copas de los árboles tratados. De acuerdo al análisis estadístico (ANOVA) y la prueba de Tukey, reflejaron que no hay diferencias significativas entre las medias de los tratamientos (Tabla A.1.2).

C. Diámetro promedio de los tallos de los árboles

Se evaluó el efecto de cada tratamiento en el diámetro del tallo de cada árbol de café y de acuerdo con las visitas al campo no se observaron cambios. Según el análisis estadístico (ANOVA) realizado, ninguna media de los tratamientos logró sobresalir significativamente (Tabla A.1.3).

D. Peso promedio de granos frescos

De acuerdo con los resultados de las pruebas estadísticas realizadas para determinar diferencias significativas en el peso promedio de granos frescos entre las medias los tratamientos del Experimento I, no se encontraron diferencias significativas que demuestren algún cambio (Tabla A.1.4).

E. Longitud promedio del grano seco

Según los resultados obtenidos de las pruebas estadísticas, específicamente utilizando un análisis de varianza y la prueba de Tukey, para determinar diferencias en la longitud del grano seco, se encontraron diferencias significativas. Al comparar las medias del tratamiento control (agua) con el tratamiento de MILLERPLEX® 1000 mg L⁻¹ se encontró que hay diferencia significativamente mayor en relación con la longitud del grano seco (Figura 6), aunque, esto significa que no necesariamente hay una diferencia en peso, ni en rendimiento del café.

Figura 2. Efecto del Tratamiento MILLERPLEX®, en el Grano Seco, Experimento I

Tratamiento	10 mg L ⁻¹	100 mg L ⁻¹	1000 mg L ⁻¹	Control
MILLERPLEX®				

Ningún otro tratamiento, obtuvo una media significativamente mayor al tratamiento control (Figura 7). Por otra parte, al evaluar los demás tratamientos con el control observamos que hay diferencias, aunque significativamente menor. Las medias de los tratamientos que fueron significativamente menor a la media del control pertenecen a: NUTRILEAF 60® 100 mg L⁻¹, NUTRILEAF 60® 1000 mg L⁻¹, GA 100 mg L⁻¹ y Super K-FOL® 10 mg L⁻¹ (Tabla 8). Por lo tanto, la aplicación de los tratamientos anteriormente mencionados durante el primer experimento no fue efectiva para promover una mayor longitud del grano de café.

Figura 3. Efecto de Tratamientos en la Longitud del Grano Seco

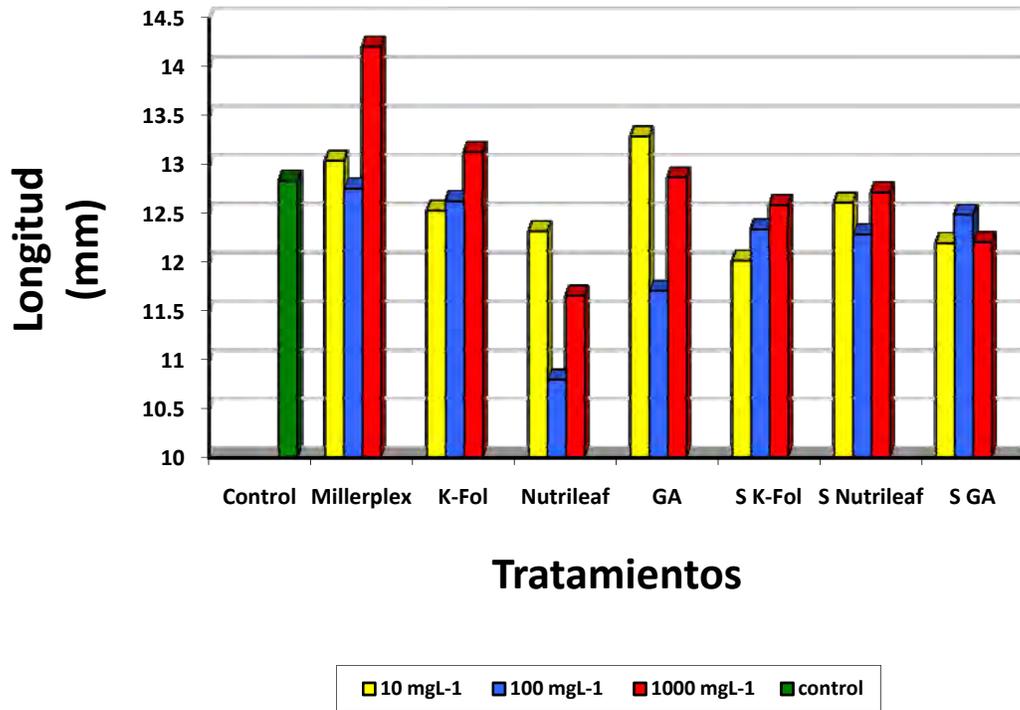


Tabla 10. Efecto de Tratamientos en la Longitud de Grano Seco

Tratamiento	Concentración (mg L ⁻¹)	Media (mm)	Letras
Nutrileaf	100	10.79	A
Nutrileaf	1000	11.65	B
GA	100	11.70	B
Super K-fol	10	12.01	BC
Super GA	10	12.19	BCD
Super GA	1000	12.20	BCD
Super Nutrileaf	100	12.28	BCD
Nutrileaf	10	12.31	BCD
Super K-fol	100	12.33	BCD
Super GA	100	12.48	CDE
K-fol	10	12.52	CDE
Super K-fol	1000	12.56	CDE
Super Nutrileaf	10	12.60	CDEF
K-fol	100	12.62	CDEF
Super Nutrileaf	1000	12.71	DEF
Miller	100	12.75	DEF
Control		12.83	DEF
GA	1000	12.86	DEF
Miller	10	13.03	EF
K-fol	1000	13.12	EF
GA	10	13.28	F
Miller	1000	14.20	G

Tratamientos con letras distintas indican diferencias significativas comparados entre ellos, según prueba Tukey ($p < 0.05$).

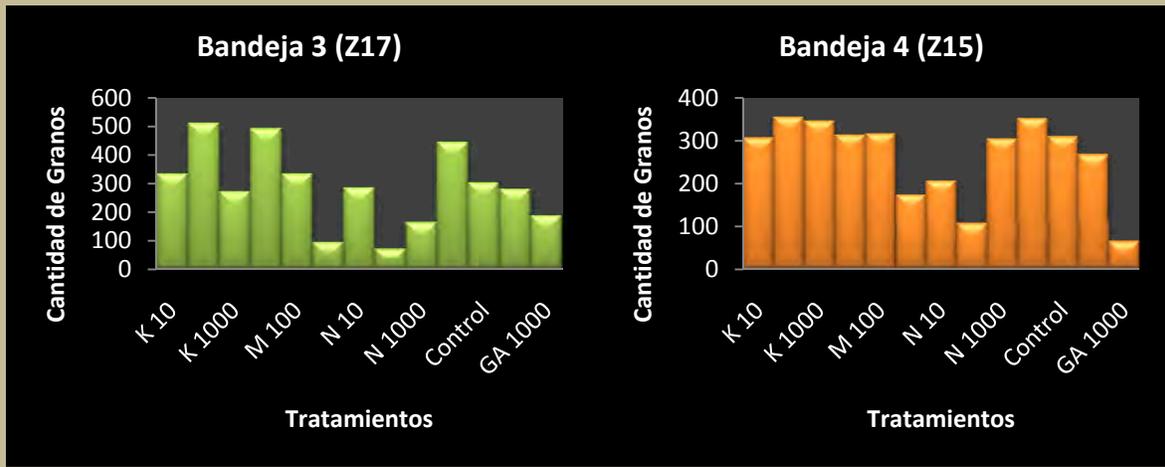
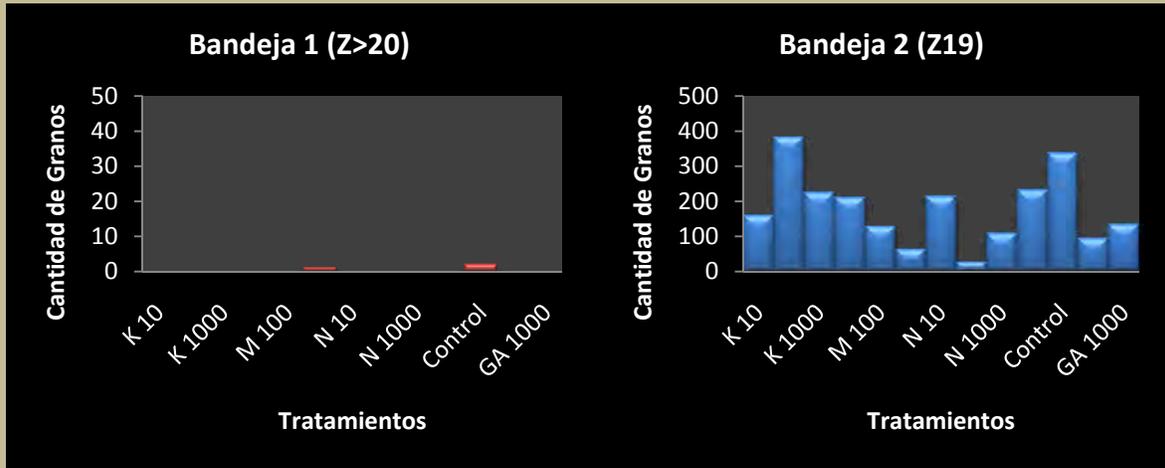
F. Rendimiento Promedio de Tratamientos

Al realizar el análisis de datos, utilizando un análisis de varianza y una prueba de Tukey, se encontró que no hay diferencias significativas en el rendimiento promedio de café, al comparar las medias de todos los tratamientos (Tabla A.1.5).

G. Cantidad de Granos de Café Pilado y Clasificado por Bandejas

De acuerdo con el análisis de tablas de contingencia y el valor de p en el Chi cuadrado de Pearson, se concluye que existen diferencias en la cantidad de granos de café pilado de cada tratamiento clasificado por bandejas (Figura 4). En este análisis se demuestra que aunque existen algunas diferencias entre los tratamientos, no hay efecto significativo al ser comparados con el tratamiento control.

Figura 4. Efecto de los Tratamientos en la Cantidad de Granos Por Bandeja Experimento I



(Z>20=>7.94mm, Z19=7.54mm, Z17=6.75mm, Z15=5.95mm, Z<15=<5.95)

5.2 Experimento II

Durante los meses de enero a diciembre de 2008, en el periodo que se realizó el segundo experimento, se registraron temperaturas en la Estación Experimental Agrícola que se encontraban entre 53.1°F como temperatura mínima promedio y 86.2°F como temperatura máxima promedio como se muestra en la Tabla 7. Esto se combina con la exposición directa al sol de las plantas de café y posiblemente fue un factor que afectó el desarrollo del grano. Una práctica que favorece el desarrollo de frutos en el cultivo es la siembra bajo sombra parcial o temporera lo cual no fue posible durante este experimento.

En el periodo de experimentación, se observó que durante el mes de febrero se registró la menor cantidad de lluvia con solamente 0.86 pulgadas de lluvia, mientras que para el mes de septiembre ocurrió una gran precipitación pluvial de 23.42 pulgadas (Tabla 8). Estos cambios drásticos en la cantidad de agua que recibe la planta afectan sus procesos fisiológicos. Además, factores ambientales de sequía o exceso de agua causan estrés en la planta y como consecuencia ocurre una disminución de carbohidratos esenciales para la producción de los frutos de café. La precipitación excesiva observada para el mes de septiembre posiblemente contribuyó a la caída de frutos de café maduro.

A. Longitud o altura promedio de las plantas

Al evaluar el efecto de los tratamientos en el predio de café, no se observó alguna diferencia en la altura de las plantas. De igual forma no se encontró diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, según el análisis estadístico que se realizó (Tabla A.1.7).

B. Diámetro promedio de las copas de los árboles

Se observó el comportamiento del diámetro de las copas de árboles de café tratados con diferentes productos. De acuerdo con las observaciones no se encontró que algún tratamiento promoviera el desarrollo de copas de mayor diámetro. Visualmente todas eran uniformes y de igual manera se demostró estadísticamente que no hay diferencias significativas entre las medias de los tratamientos aplicados a las plantas de café (Tabla A.1.8).

C. Diámetro promedio de los tallos de los árboles

De igual forma que en los parámetros anteriores, se observó constantemente si ocurrieron cambios en el diámetro de los tallos de plantas de café luego de la aplicación de los diferentes tratamientos. No se observó diferencia alguna en los tallos de estas plantas, lo cual se demostró estadísticamente al realizar un análisis de covarianza y una prueba de Tukey (Tabla A.1.9).

D. Resultados: Etapas de crecimiento

Se monitoreó cada etapa de crecimiento del fruto del café, variedad Limaní, bajo las condiciones ambientales de la Estación Experimental Agrícola de Adjuntas, comenzando el 3 de febrero de 2008 donde se observaron yemas florales pequeñas (Figura 5a).

Después de 7 semanas, exactamente a los 49 días ocurrió la florecida (23 de marzo de 2008) (Figura 5b). Transcurridos algunos días, las flores cayeron y comenzó el proceso de senescencia o muerte de las mismas, quedando los frutos pequeños en la rama (Figura 5c).

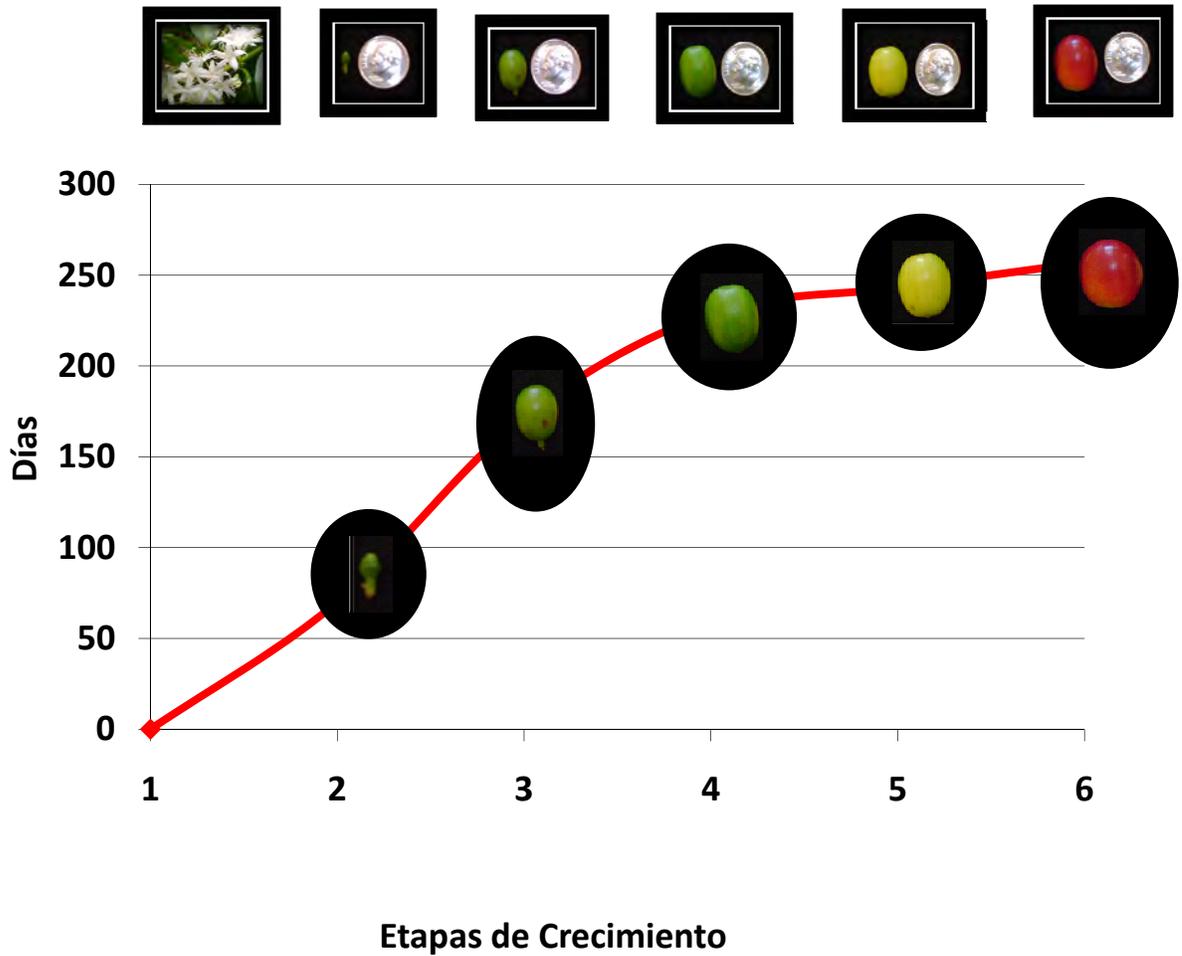
Figura 5. (a) Yemas Florales, (b) Florecida y (c) Separación de Flores del Fruto



A las 10 semanas que comprenden 70 días, el fruto se encontraba en etapa de cabeza de alfiler (13 de abril de 2008). Ya en las 14 semanas, (99 días) se observó una expansión del fruto (12 de mayo de 2008). Luego de 18 semanas (124 días), había un crecimiento del fruto con apariencia de color verde intenso (el día 6 de junio). A las 25 semanas (172 días) el fruto aún no alcanzaba su madurez fisiológica debido a que su tamaño y color así lo indicaban (24 de julio).

El día 19 de septiembre de 2008 a las 33 semanas (229 días) se observó un fruto de gran tamaño color verde. El 3 de octubre de 2008, donde han transcurrido 35 semanas (243 días) se observó un fruto color amarillo. Finalmente, a las 37 semanas (257 días) el fruto adquirió su color rojo lo que indica el momento ideal para cosecharlo (Figura 6).

Figura 6. Curva de Crecimiento de Fruto de Café Variedad Limaní



Etapa 1. Florecida; **Etapa 2.** Cabeza de Alfiler, 99 días; **Etapa 3.** Expansión, 172 días; **Etapa 4.** Crecimiento, 229 días; **Etapa 5.** Fruto Pinto, 243 días; **Etapa 6.** Fruto Maduro

E. Corte transversal

Durante el Experimento #2, se realizaron cortes transversales a granos de café fresco, seleccionados al azar para determinar algún cambio en el desarrollo del mesocarpio. Como resultado de esto, se evaluaron los tratamientos de: MILLERPLEX®, NUTRILEAF 60®, CK, CK+NUTRILEAF 60®, CK+GA y Agua. No se observó diferencia alguna en el crecimiento de la pulpa de los granos seleccionados de cada tratamiento.

F. Concentración de clorofila

Los resultados de las pruebas estadísticas (Tabla 10) demuestran que no hay diferencias significativas entre la concentración de clorofila que se midió en las plantas de café tratadas con los diferentes productos. Al medir la clorofila de las hojas podemos asociarla a la fotosíntesis de la planta. Esta prueba de clorofila contribuye a determinar si hay algún cambio en la fotosíntesis de la planta, asociada a la aplicación de los diferentes tratamientos.

La prueba de clorofila fue tomada 8 meses después de haber realizado las aplicaciones de los tratamientos. Posiblemente, esto es un factor determinante en el resultado debido a que se ha demostrado en investigaciones anteriores, que el efecto de los reguladores de crecimiento se puede observar durante el primer mes después de la aplicación de tratamientos.

Tabla 11. Concentración de Clorofila

Tratamiento	Concentración (mg L ⁻¹)	Media (t)	Letras
GA	1000	54.33	A
Nutrileaf 60®	100	55.75	A
CK+GA	100	56.43	A
GA	100	56.68	A
Control	Agua	56.71	A
CK	1000	57.15	A
Nutrileaf 60®	10	57.79	A
CK	10	58.57	A
Nutrileaf 60®	1000	59.79	A
CK+GA	1000	60.09	A
K-Fol®	10	60.20	A
K-Fol®	100	60.45	A
Millerplex®	1000	60.78	A
GA	10	60.88	A
CK+Nutrileaf 60®	100	60.95	A
CK+Nutrileaf 60®	10	61.15	A
Millerplex®	10	61.93	A
CK	100	62.25	A
Millerplex®	100	62.95	A
K-Fol®	1000	63.05	A
CK+Nutrileaf 60®	1000	64.18	A
CK+GA	10	66.30	A

Tratamientos con letras distintas indican diferencias significativas comparados entre ellos, según prueba Tukey ($p < 0.05$).

G. Longitud promedio del grano fresco

Se realizaron varias pruebas estadísticas en las cuales se encontró diferencias significativas en cuanto a la longitud de los granos frescos, aunque, al comparar la media del tratamiento control (16.76), con las medias de los demás tratamientos éstas demuestren resultados significativamente mayores.

En la prueba de Tukey se observa que los tratamientos de CK a una concentración de 10 mg L^{-1} y GA 1000 mg L^{-1} obtuvieron las medias significativamente mayores al compararlas con la media del tratamiento control (Figura 7 y Tabla 12). En los demás tratamientos no se encontraron diferencias significativas.

Figura 7. Efecto de los Tratamientos en la Longitud de Granos Frescos

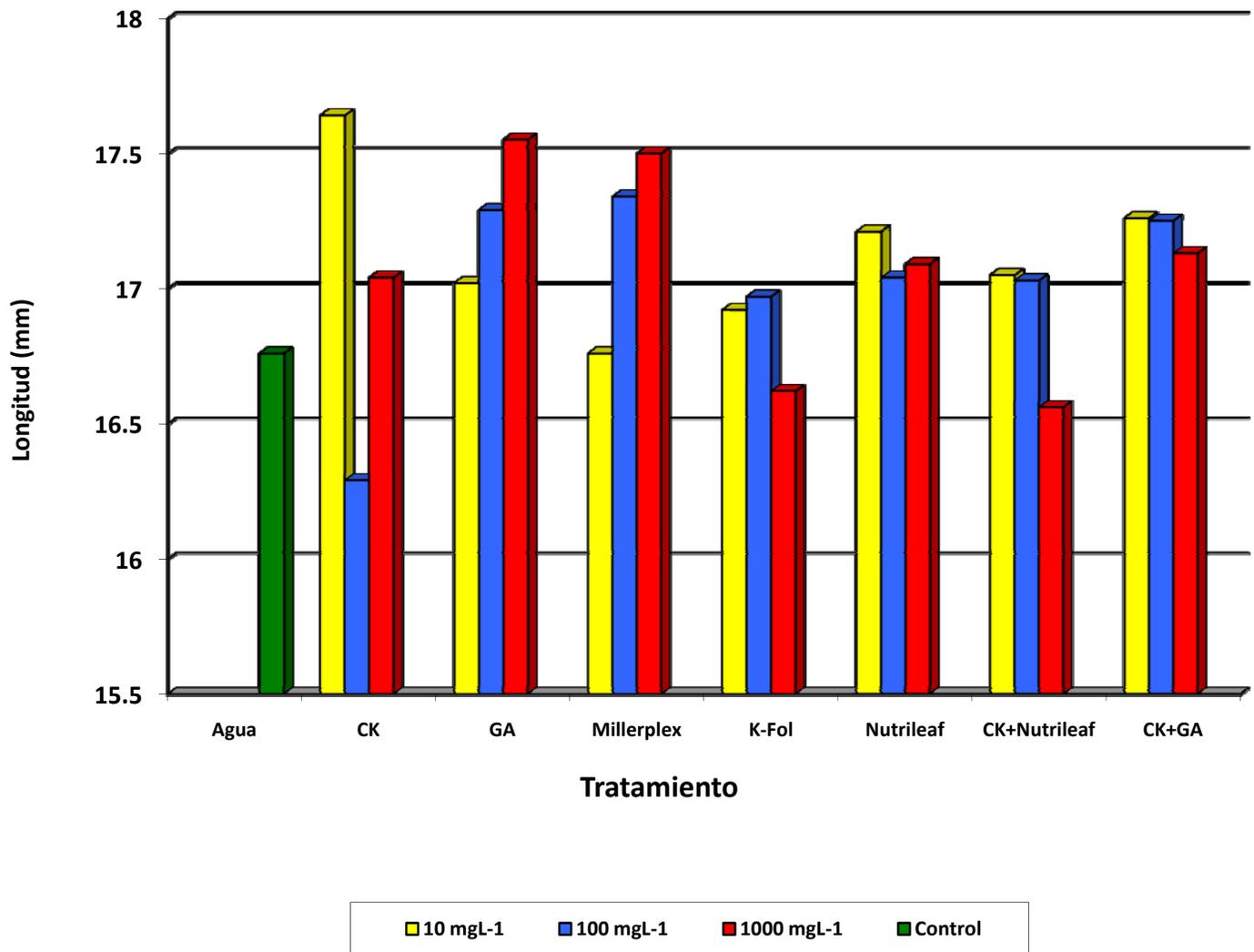


Tabla 12. Efecto de los Tratamientos en la Longitud del Grano Fresco

Tratamiento	Concentración (mg L ⁻¹)	Media (mm)	Letras
CK	100	16.29	A
CK+NUTRILEAF 60®	1000	16.56	AB
K-FOL®	1000	16.62	ABC
MILLERPLEX®	10	16.76	ABCD
Control		16.76	ABCD
K-FOL®	10	16.92	ABCDE
K-FOL®	100	16.97	ABCDE
GA	10	17.02	ABCDE
CK+NUTRILEAF 60®	100	17.03	ABCDE
CK	1000	17.04	ABCDE
NUTRILEAF 60®	100	17.04	ABCDE
CK+NUTRILEAF 60®	10	17.05	ABCDE
NUTRILEAF 60®	1000	17.09	BCDE
CK+GA	1000	17.13	BCDE
NUTRILEAF 60®	10	17.21	BCDE
CK+GA	100	17.25	BCDE
CK+GA	10	17.26	BCDE
GA	100	17.29	BCDE
MILLERPLEX®	100	17.34	CDE
MILLERPLEX®	1000	17.50	DE
GA	1000	17.55	E
CK	10	17.64	E

Tratamientos con letras distintas indican diferencias significativas comparados entre ellos, según prueba Tukey (p<0.05).

H. Peso promedio de granos frescos

Según las medias de los tratamientos aplicados en las plantas de café utilizadas para determinar cambios en el peso de granos frescos, no existe evidencia que muestre diferencias significativas (Tabla A.1.10).

I. Longitud promedio del grano seco

La Figura 8, muestra el efecto de los tratamientos en la longitud de granos secos de café. De acuerdo con el análisis estadístico realizado se encontró que la aplicación de varios tratamientos promovió mayor longitud de los granos secos. Esto no significa que necesariamente sean de mayor tamaño, sino que son granos más alargados.

Observamos en la Tabla 14 el valor de las medias, que demostraron los resultados del análisis estadístico. Los tres tratamientos de GA (Figura 9), promovieron la formación de granos más largos, al igual que los tratamientos de CK+GA (Figura 13). Aunque, los demás tratamientos que obtuvieron una media significativamente mayor a la del tratamiento control son: MILLERPLEX® 10 mg L⁻¹ y 1000 mg L⁻¹ (Figura 10), CK 10 mg L⁻¹ (Figura 11), CK+NUTRILEAF 60® 10 mg L⁻¹ y 100 mg L⁻¹ (Figura 12) y K-Fol® 100 mg L⁻¹ (Figura 14).

Figura 8. Efecto de los Tratamientos en la Longitud de Granos Secos

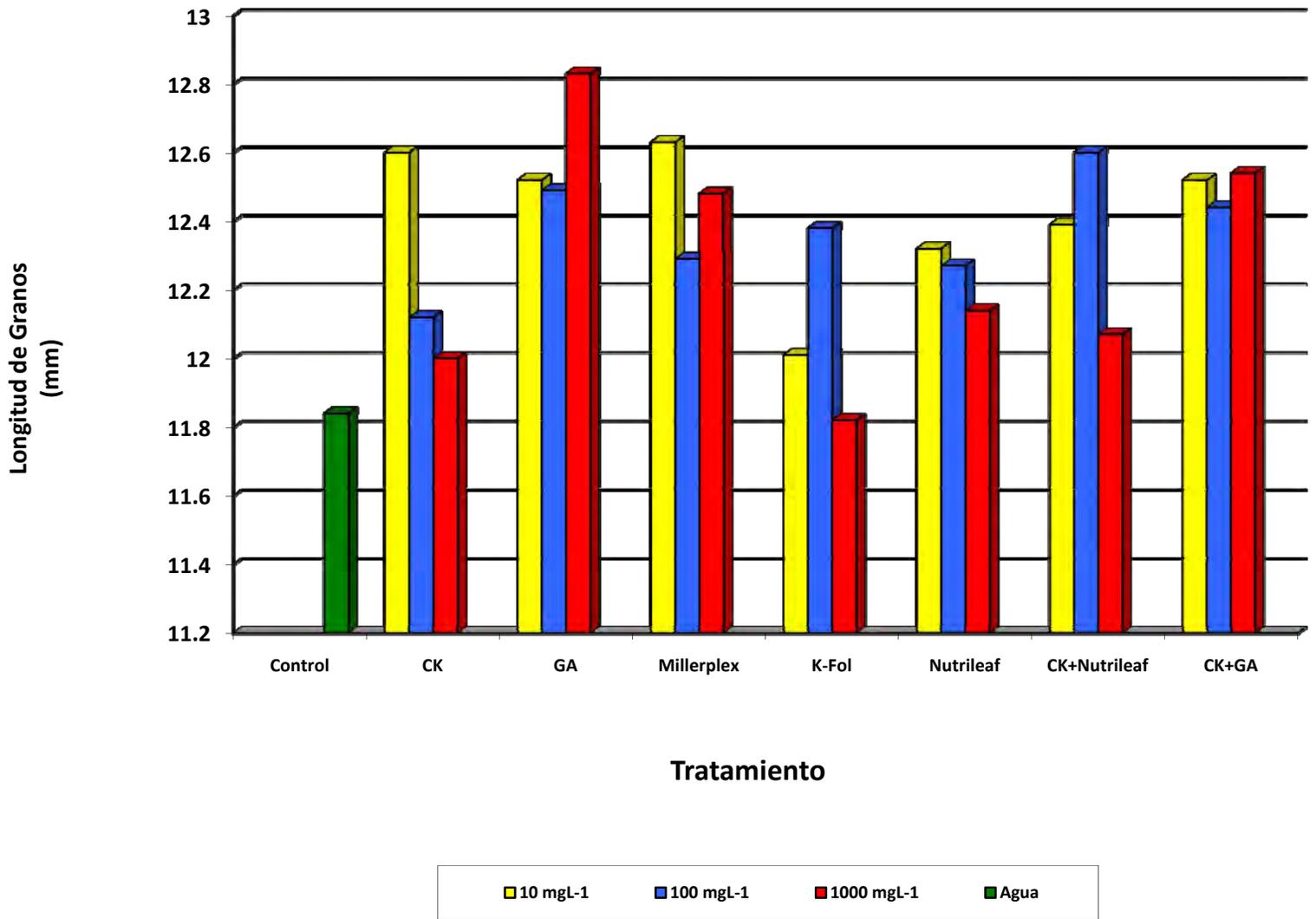


Tabla 13. Efecto Tratamientos en la Longitud del Grano Seco

Tratamiento	Concentración (mg L ⁻¹)	Media (mm)	Letras
K-FOL®	1000	11.82	A
Control		11.84	A
CK	1000	12.00	AB
K-FOL®	10	12.01	AB
CK+NUTRILEAF 60®	1000	12.07	ABC
CK	100	12.12	ABCD
NUTRILEAF 60®	1000	12.14	ABCD
NUTRILEAF 60®	100	12.27	ABCD
MILLERPLEX®	100	12.29	ABCD
NUTRILEAF 60®	10	12.32	ABCDE
K-FOL®	100	12.38	BCDE
CK+NUTRILEAF 60®	10	12.39	BCDE
CK+GA	100	12.44	BCDE
MILLERPLEX®	1000	12.48	BCDE
GA	100	12.49	BCDE
GA	10	12.52	BCDE
CK+GA	10	12.52	BCDE
CK+GA	1000	12.54	CDE
CK+NUTRILEAF 60®	100	12.60	DE
CK	10	12.60	DE
MILLERPLEX®	10	12.63	DE
GA	1000	12.83	E

Tratamientos con letras distintas indican diferencias significativas comparados entre ellos, según prueba Tukey ($p < 0.05$).

Figura 9. Efecto del Tratamiento GA en el Grano Seco

Experimento II

Tratamiento	10mg L ⁻¹	100 mg L ⁻¹	1000 mg L ⁻¹	Control
GA				

Figura 10. Efecto del Tratamiento de Millerplex en el Grano Seco

Experimento II

Tratamiento	10 mg L ⁻¹	100 mg L ⁻¹	1000 mg L ⁻¹	Control
MILLERPLEX				

Figura 11. Efecto del Tratamiento CK en el Grano Seco

Experimento II

Tratamiento	10 mg L ⁻¹	100 mg L ⁻¹	1000 mg L ⁻¹	Control
CK				

Figura 12. Efecto del Tratamiento CK+Nutrileaf en el Grano Seco

Experimento II

Tratamiento	10 mg L ⁻¹	100 mg L ⁻¹	1000 mg L ⁻¹	Control
CK+NUTRILEAF				

Figura 13. Efecto del Tratamiento CK+GA en el Grano Seco

Experimento II

Tratamiento	10 mg L ⁻¹	100 mg L ⁻¹	1000 mg L ⁻¹	Control
CK+GA				

Figura 14. Efecto del Tratamiento K-Fol en el Grano Seco

Experimento II

Tratamiento	10 mg L ⁻¹	100 mg L ⁻¹	1000 mg L ⁻¹	Control
K-FOL				

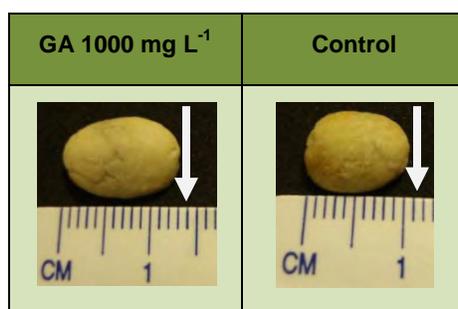
J. Rendimiento promedio del café por tratamiento

Según el análisis estadístico para determinar el efecto de los tratamientos en el rendimiento del café, no hay diferencias significativas entre las medias de los tratamientos (Tabla A.1.11).

K. Clasificación por tamaño del grano pilado

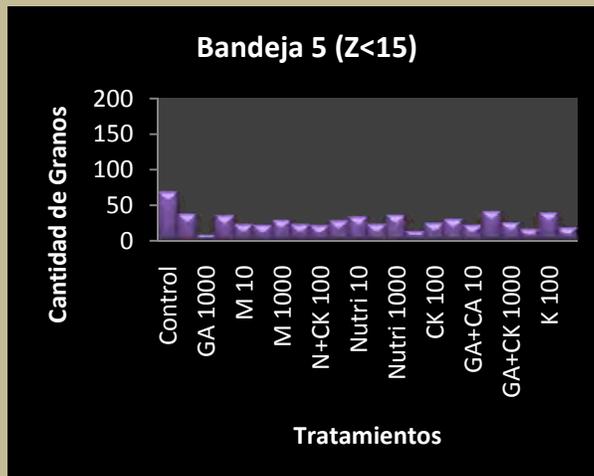
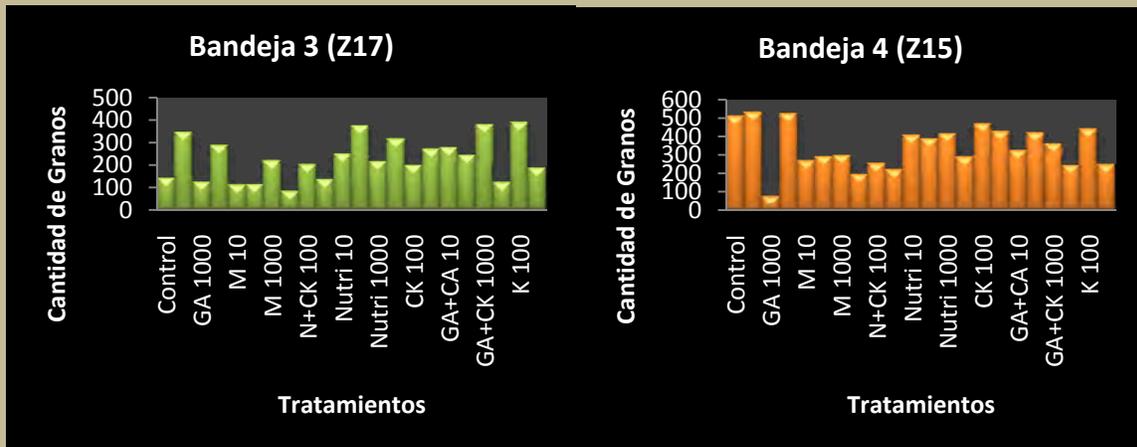
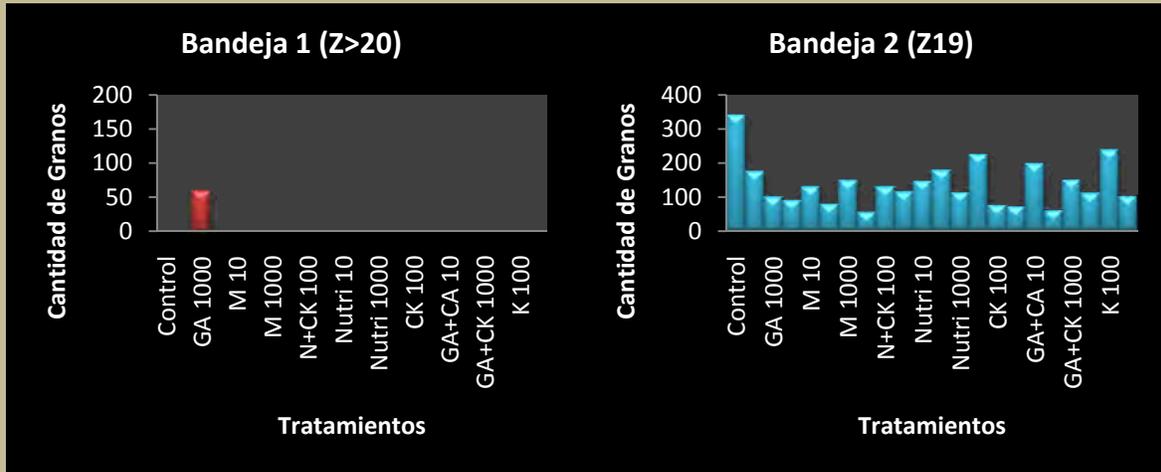
Al clasificar el café pilado por tamaño en una zaranda, el único tratamiento que obtuvo una mayor cantidad de granos Monstruos durante la primera cosecha fue el de GA 1000 mg L⁻¹. En la Figura 15 observamos un grano de café pilado clasificado como Monstruo, en comparación con un grano Extra grande del tratamiento control.

**Figura 15. Granos de Café Pilado
Monstruo vs. Extra-Grande**



Al clasificar los granos de café por tamaño, se le asignó a cada bandeja un número, del uno al cinco. A medida que aumenta el número que identifica la bandeja, disminuye el tamaño del grano de café. Cada bandeja representa una zaranda, por ejemplo, la bandeja número uno recolectaba los granos de mayor tamaño por tener los agujeros de la zaranda mas grandes. Se observa en la Figura 16, el efecto de los tratamientos en la cantidad de granos pilado por bandeja utilizados en el segundo experimento. De éstos, el único tratamiento que obtuvo granos de café con mayor tamaño en la bandeja 1 fue el de GA 1000 mg/L.

Figura 16. Efecto de los Tratamientos en la Cantidad de Granos por Bandeja Experimento II



(Z>20=>7.94mm, Z19=7.54mm, Z17=6.75mm, Z15=5.95mm, Z<15=<5.95)

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

- Al realizar una aplicación del tratamiento MILLERPLEX® a una concentración de 1000 mg L⁻¹ durante el mes de junio, se obtuvo granos secos de mayor longitud.
- Cuatro aplicaciones de GA 1000 mg L⁻¹ durante los meses entre enero a marzo, promovió el desarrollo de granos de café monstruos que tienen un tamaño mayor de Z20.
- El costo aproximado de la aplicación del tratamiento de GA 1000 mg L⁻¹ en una siembra establecida a una distancia específica de 4x6 es de \$2100 por cuerda.
- El tratamiento de CK a una concentración de 10 mg L⁻¹ aplicada en cuatro ocasiones promovió el desarrollo de granos frescos de mayor longitud en comparación con los demás tratamientos aplicados.
- Cuatro aplicaciones de CK+ GA promovieron un mayor rendimiento del café.
- Es mayormente efectivo el utilizar varias aplicaciones de los tratamientos en el cultivo del café, en lugar de utilizar una sola aplicación.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

- Efectuar cuatro aplicaciones de GA 1000 mg L⁻¹ al cultivo de café para obtener granos de mayor tamaño.
- Realizar nuevas investigaciones con reguladores de crecimiento en la variedad Limaní en Puerto Rico, utilizando mayor cantidad de solución de tratamientos por árbol.
- Promover investigaciones en las que se realice una combinación de aplicaciones de los tratamientos con hormonas al suelo y foliar.
- Iniciar nuevas investigaciones en el cultivo de café utilizando diversos reguladores de crecimiento durante varios años consecutivos.

CAPÍTULO VIII

REFERENCIAS

- **Aduayi, E.A. 1972.** The Role of Phosphorus on the Growth and Mineral Nutrient Composition of Young Arabica Coffee Growth in Sand Cultura. Kenya Coffee 11; 336-340.
- **Alvarado, A. y Monroig, M. 2007.** Guía Práctica de Plagas y Enfermedades en Café. Servicio de Extensión Agrícola, Colegio de Ciencias Agrícolas, Recinto Universitario de Mayagüez. 47pp.
- **Anónimo. 1999.** Conjunto Tecnológico para la Producción de Café. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez. Estación Experimental Agrícola. Rio Piedras, Puerto Rico. 29 pp.
- **Anónimo. 2007-2008.** Ingreso Bruto Agrícola de Puerto Rico. Departamento de Agricultura, Estadísticas Agrícolas. www.gobierno.pr/DA/Estadisticas.
- **Anónimo. 2009.** Exports by Exporting Countries to All Destination. 2, 2009. Trade Statistics, Organización Internacional de Café. www.ico.org.
- **Arcila, P.J. 1988.** Aspectos Fisiológicos de la Producción de Café. Cenicafé 2: 59-111.

- **Arcila, P.J. 1990.** Productividad Potencial del Cafeto en Colombia. Cenicafé. 105-119.
- **Arcila, P.J., Buhr, L., Bleiholder, H., Hack, H., Meier, U. y Wicke, H. 2002.** Application of the Extended BBCH Scale for the Description of the Growth Stages of Coffee (*Coffea spp.*). Annals of Applied Biology 141: 19-27.
- **Arcila, P.J., Jaramillo, R.A., Baldion, J.V. y Bustillo, A.P. 1993.** La Floración del Cafeto y su Relación con el Control de la Broca. Avances Técnicos Cenicafé 193: 1-6.
- **Arcilla, M.I. y Orozco F.J. 1987.** Estudio Morfológico del Desarrollo del Embrión de Café 1/. Cenicafé 38: 62-78.
- **Arocho, L., R. Rodríguez y C. Betancourt. 2005.** Rol Patogénico de la Microflora Asociada a las Manchas de las Frutas de Café. The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico 89: 85-96.
- **Bull R.A. 1963.** Studies on the Effect of Mulch and Irrigation on Root and Stem Development in *Coffea arabica*. Turrialba 13:96-115.
- **Cannell, M.G.R. 1972.** Use of Gibberellic Acid to Change the Seasonal Fruiting Pattern of Arabica Coffee in Kenya. Kenya Coffee 3: 90-101.

- **Cannell, M.G.R. y Huxley P.A. 1969.** Seasonal Changes in Pattern of Assimilate Movement in Branches of *C. arabica* L. *Annals of Applied Biology* 64: 345-347.
- **Colón, J.R. 2001.** Identification of Endogenous Gibberellins in *Coffea arabica* var. Typica. Tesis de Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayagüez. 58 pp.
- **Dagg, M. 1971.** Water Requirements of Coffee. *Kenya Coffee* 6: 149-151.
- **Flores, C. 1994.** Estudios Sobre el Control de la Floración del Café (*Coffea arabica* L.). Tesis de Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayagüez. 98 pp.
- **Hernández, B. 2003.** Aislamiento y Identificación de las Giberelinas Endógenas en el *Coffea canephora* (Café Robusta) y *Coffea liberica* (Café Excelsa). Tesis de Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayagüez. 74 pp.
- **Huxley, P.A. 1969.** The Structure of the Coffee Fruit and “bean”. *Kenya Coffee* 10: 364-365.
- **Huxley, P.A. y Cannell, G.R. 1970.** Some Physiological Factors to be Considered in Intensification, *Kenya Coffee* 6:176-179.

- **Jaramillo, R.A., Guzmán, M.O. 1984.** Relación Entre la Temperatura y el Crecimiento de *Coffea arabica* var. Caturra. Cenicafé 35(3): 57-65.
- **León, J. y L. Fournier. 1962.** Crecimiento y desarrollo del fruto de *Coffea arabica* L. Turrialba12: 65-74.
- **Madero, G. 2002.** Sistemas de Clasificación. Arábica, el Libro de Café... www.geocities.com_lc.
- **Mendes, A.J.T. 1941.** Cytological Observations in *Coffea*. VI. Embryo and Endosperm Development in *Coffea arabica*. American Journal of Botany 28: 784-789.
- **Miranda, C. 1997.** Aislamiento y Caracterización de Giberelinas en *Coffea arabica* var Típica (Selección Puerto Rico). Tesis de Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayagüez. 48 pp.
- **Moens, P. 1968.** Investigaciones Morfológicas, Ecológicas y Fisiológicas Sobre los Cafetos. Turrialba 18: 209-233.
- **Monroig, M. 2007.** Ecos del Café. <http://academic.uprm.edu/mmonroig.htm>.
- **Monroig, M. 2007.** Manual de Propagación del Cafeto, Servicio de Extensión Agrícola. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayaguez. <http://academic.uprm.edu/mmonroig/id48.htm>.
- **Monroig, M. 1998.** Descripción de Variedades de *Coffea arabica* más Cultivadas en Puerto Rico. Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayagüez, Colegio de Ciencias Agrícolas, Servicio de Exrensión Agrícola.

- **Monroig, M. 1996.** Guía de Competencias en Café. Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayagüez, Colegio de Ciencias Agrícolas, Servicio de Exensión Agrícola. 20 pp.
- **Moreno-Ruíz, G. y Castillo-Zapata, J. 1978.** Relación del Tamaño de la Muestra en la Medida del Grano de Café. *Cenicafé* 29: 46-55.
- **Mosquera S., Riaño L.P, Arcila P.J, Ponce D. 1999.** Fotosíntesis, Respiración y Fotorrespiración en las Hojas de Café *Coffea sp.* *Cenicafé* 50(3): 215-221.
- **Muñiz, O. y Monroig, M. 1994.** Región Cafetalera de Puerto Rico: Características de Manejo de los Suelos. Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayagüez, Colegio de Ciencias Agrícolas. Servicio de Extensión Agrícola. Puerto Rico. 17 p.
- **Nieves, Y. 2007.** Estimulación del Crecimiento y Desarrollo de Frutas de Plátano (*Musa acuminata x balbisiana*, AAB) Mediante Aplicaciones de Biorreguladores y Fertilizantes. Tesis de Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayaguez. 81 pp.
- **Norrie, J. 2001.** Aplicaciones Prácticas de Productos de Algas Marinas en la Agricultura. *Rev. Terralia* 23:26-41.
- **Nutman, J.F. 1937.** Studies on the Physiology of *Coffea arabica* L.I. Photosynthesis of Coffee Leaves under Natural Conditions. *Annals of Botany* 353-367.

- **Opile, W.R. 1979.** Hormonal Relations in Fruit Growth and Development of *Coffea arabica* L. Kenya Coffee. 44: 13-21.
- **Opile, W.R. 1977.** Effect of Gibberelic Acid on Yield of Arabica Coffee in Kenya. Kenya Coffee 42(501): 395-403.
- **Salas, S. 2005.** Notas Clase de Café. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez.
- **Salazar, M.R., Chaves, C.B., Riaño, N.M., Arcila, P.J, Jaramillo, R.A. 1994.** Crecimiento del Fruto de Café *Coffea arabica* L. var. Colombia. Cenicafé 45 (2): 41-50.
- **Schröder, E. 2007.** Foro Sobre Café Sostenible en Puerto Rico. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez. 47 pp.
- **Shivashankar, S., V. Ranvindra y L. Louis. 2007.** Biochemical Changes in Seed and Mesocarp of Mango (*Mangifera indica* L.) cv. 'Alphonso' and Their Significance During the Development of Spongy Tissue. Journal of Horticultural Science & Biotechnology 82: 35-40
- **Sponsel, V. 2007.** Commercial uses of Gibberellins. Plant Physiology Fourth Edition. www.plantphys.net.
- **Taiz, L. y E. Zeiger. 2006.** Mineral Nutrition. Plant Physiology 5:67-85.
- **Tarkowski, P., D. Tarkowská, O. Novák, S. Mihaljević, V. Magnus, M. Sornad y B. Salopek-Sondi. 2006.** Cytokinins in the Perianth, Carpels, and Developing Fruit of *Helleborus níger* L. Journal of Experimental Botany 57: 2237-2247.

- **Valencia, G. A., 1973.** Relación Entre el Índice de Area Foliar y la Productividad del Cafeto. *Cenicafé* 24: 79-89.
- **Wormer, T.M. 1964.** Normal and Abnormal Development of Coffee Berries. *Kenya Coffee* 29: 91-106.
- **Wormer, T.M., S.G. Njugwana. 1966.** Bean size shape as Quality Factors in Kenya coffee 31(9): 395-405.
- **Wrigley, G. 1988.** *Coffee*. AICTA. Tropical Agriculture Series. 638 pp.
- **Zhang, C., K. Tanabe, S. Wang, F. Tamura, A. Yoshida y K. Matsumoto. 2006.** The Impact of Cell Division and Cell Enlargement on the Evolution of Fruit Size in *Pyrus pyrifolia*. *Annals of Botany* 98: 537-543.

Apéndice A

A.1 Tablas Estadísticas

Tabla A.1.1. Experimento 1: Efecto Longitud de árboles **TUKEY**

Tratamiento	Concentración (mg L ⁻¹)	Media	
Miller	10	17.45	A
GA	10	17.49	A
GA	100	18.39	A
Nutrileaf	1000	19.25	A
Super Nutri	1000	19.28	A
K-Fol	100	19.32	A
K-Fol	10	19.42	A
Control	10	19.49	A
Super GA	10	19.60	A
Nutri	10	19.60	A
Nutri	100	19.61	A
Miller	1000	19.63	A
Super K-Fol	1000	19.88	A
Super GA	1000	20.45	A
Super GA	100	20.53	A
GA	1000	20.58	A
Super Nutri	10	20.60	A
Super Nutri	100	21.40	A
K-Fol	1000	21.53	A
Miller	100	21.82	A
Super K-Fol	100	23.17	A
Super K-Fol	10	23.75	A

Tratamientos con letras distintas indican diferencias significativas comparados entre ellos, según prueba Tukey ($p < 0.05$).

Tabla A.1.2. Experimento 1: Efecto diámetro de copa Tukey

Tratamiento	Concentración (mg L ⁻¹)	Media	
GA	10	44.55	A
Super Nutri	100	45.28	A
Control		45.30	A
Super GA	10	45.64	A
Nutri	100	45.79	A
GA	100	46.10	A
Miller	100	46.34	A
GA	1000	46.54	A
Nutri	1000	46.82	A
Miller	1000	47.04	A
K-Fol	100	47.36	A
Super K-Fol	100	47.44	A
K-Fol	10	47.52	A
Miller	10	47.69	A
Super K-Fol	10	47.85	A
Super Nutri	10	47.86	A
Super GA	100	47.90	A
Super Nutri	1000	48.23	A
Super GA	1000	48.32	A
Super K-Fol	1000	49.02	A
Nutri	10	50.61	A
K-Fol	1000	51.34	A

Tratamientos con letras distintas indican diferencias significativas comparados entre ellos, según prueba Tukey ($p < 0.05$).

Tabla A.1.3. Experimento1: Efecto Diámetro del tallo TUKEY

Tratamiento	Concentración (mg L ⁻¹)	Media	
Nutri	10	1.56	A
Super GA	100	1.61	A
GA	100	1.61	A
GA	10	1.63	A
GA	1000	1.65	A
Control		1.68	A
Nutri	1000	1.69	A
K fol	100	1.69	A
Super GA	10	1.74	A
Super Nutri	10	1.74	A
Super K-Fol	100	1.75	A
Miller	1000	1.76	A
K-Fol	10	1.76	A
Super K-Fol	1000	1.78	A
Nutri	100	1.78	A
Miller	100	1.78	A
Miller	10	1.80	A
Super K-Fol	10	1.82	A
K-Fol	1000	1.82	A
Super GA	1000	1.82	A
Super Nutri	100	1.90	A
Super Nutri	1000	2.08	A

Tratamientos con letras distintas indican diferencias significativas comparados entre ellos, según prueba Tukey ($p < 0.05$).

Tabla A.1.4. Experimento 1: Efecto Peso Fresco de Granos promedio

Tratamiento	Concentración (mg L ⁻¹)	Media	
K-fol	1000	1.50	A
Super GA	1000	1.52	A
Super Nutri	1000	1.53	A
Miller	10	1.57	A
Nutri	100	1.57	A
Super K-fol	1000	1.58	A
Nutri	1000	1.58	A
Nutri	10	1.62	A
K-fol	10	1.63	A
Super Nutri	100	1.65	A
GA	10	1.70	A
Super K-fol	10	1.70	A
Super GA	100	1.72	A
K-fol	100	1.78	A
Super GA	10	1.78	A
Super K-fol	100	1.78	A
Super Nutri	10	1.78	A
GA	100	1.82	A
Miller	100	1.93	A
Miller	1000	1.97	A
Control		2.01	A

Tratamientos con letras distintas indican diferencias significativas comparados entre ellos, según prueba Tukey ($p < 0.05$).

Tabla A.1.5. Experimento 1: Efecto de Tratamientos en Rendimiento Tukey

Tratamiento	Concentración (mg L ⁻¹)	Media	
GA	100	67.84	A
Miller	100	69.05	A
Nutri	100	70.00	A
Super Nutri	1000	74.72	A
Miller	1000	76.19	A
Nutri	10	76.57	A
Super Nutri	100	76.60	A
Super K-Fol	1000	76.62	A
GA	10	77.35	A
Miller	10	77.97	A
Super GA	10	78.09	A
Super GA	100	78.29	A
Control		78.31	A
K-Fol	100	78.69	A
K-Fol	1000	79.17	A
Super K-Fol	100	79.25	A
K-Fol	10	79.31	A
Super GA	1000	79.59	A
Nutri	1000	80.13	A
Super Nutri	10	81.34	A
Super K-Fol	10	82.22	A
GA	1000	82.61	A

Tratamientos con letras distintas indican diferencias significativas comparados entre ellos, según prueba Tukey ($p < 0.05$).

Tabla A.1.6. Experimento 2: Tratamientos Adicionales

Tratamientos	Concentración (mg L-1)
	10
CK	100
	1000
	10
CK + GA	100
	1000
	10
CK + NUTRILEAF 60®	100
	1000

Tabla A.1.7. Experimento 2: Efecto Longitud del árbol

Tratamiento	Concentración (mg L ⁻¹)	Media	
Nutrileaf	100	64.84	A
Nutrileaf	10	67.36	A
Nutrileaf	1000	68.70	A
CK+Nutrileaf	1000	68.71	A
GA	1000	69.81	A
CK+Nutrileaf	100	70.17	A
GA	10	70.61	A
CK+Nutrileaf	10	70.90	A
Agua	Control	71.48	A
CK+GA	10	71.57	A
Millerplex	100	71.73	A
Millerplex	10	71.75	A
CK+GA	1000	72.21	A
CK+GA	100	72.67	A
GA	100	73.38	A
K-Fol	10	73.45	A
CK	10	74.54	A
K-Fol	1000	76.00	A
K-Fol	100	76.11	A
CK	1000	78.24	A
Millerplex	1000	78.69	A
CK	100	79.64	A

Tratamientos con letras distintas indican diferencias significativas comparados entre ellos, según prueba Tukey ($p < 0.05$).

Tabla A.1.8. Experimento 2: Efecto Diámetro de copa

Tratamiento	Concentración (mg L ⁻¹)	Media	
F2	100	43.49	A
C2	100	43.52	A
D3	1000	43.54	A
F3	1000	43.77	A
D1	10	44.75	A
A1	10	45.26	A
F1	10	45.36	A
A2	100	45.60	A
B1	10	45.84	A
D2	100	46.17	A
Agua	Control	46.17	A
C1	10	46.46	A
E1	10	46.94	A
E3	1000	47.09	A
G3	1000	47.38	A
B2	100	47.66	A
C3	1000	48.97	A
G2	100	49.03	A
G1	10	49.84	A
B3	1000	51.03	A
A3	1000	53.43	A
E2	100	54.19	A

Tratamientos con letras distintas indican diferencias significativas comparados entre ellos, según prueba Tukey ($p < 0.05$).

Tabla A.1.9. Experimento 2: Efecto Diámetro Tallo

Tratamiento	Concentración (mg L ⁻¹)	Media	
Nitrileaf	10	2.20	A
CK+Nitrileaf	100	2.20	A
Nitrileaf	100	2.21	A
Agua	Control	2.26	A
Nitrileaf	1000	2.28	A
CK	10	2.33	A
CK+Nitrileaf	10	2.44	A
Millerplex	1000	2.46	A
CK	100	2.48	A
K-Fol	100	2.49	A
CK+GA	1000	2.52	A
K-Fol	10	2.53	A
GA	1000	2.59	A
GA	10	2.60	A
CK+GA	10	2.60	A
Millerplex	100	2.60	A
CK+GA	100	2.65	A
GA	100	2.71	A
CK	1000	2.73	A
K-Fol	1000	2.74	A
Millerplex	10	2.82	A
CK+Nitrileaf	1000	2.85	A

Tratamientos con letras distintas indican diferencias significativas comparados entre ellos, según prueba Tukey ($p < 0.05$).

Tabla A.1.10. Experimento 2: Peso promedio grano Fresco Tukey

Tratamiento	Concentración (mg L ⁻¹)	Media	
CK+Nutrileaf	1000	1.82	A
CK	100	1.82	A
CK+GA	100	1.89	A
K-Fol	100	1.91	A
Control		1.94	A
Millerplex	10	1.94	A
Nutrileaf	100	1.97	A
GA	10	2.00	A
CK+Nutrileaf	10	2.02	A
Nutrileaf	10	2.02	A
K-Fol	1000	2.02	A
Nutrileaf	1000	2.04	A
CK	1000	2.06	A
GA	100	2.06	A
K-Fol	10	2.10	A
Millerplex	100	2.11	A
CK+GA	10	2.12	A
Millerplex	1000	2.14	A
CK+Nutrileaf	100	2.14	A
GA	1000	2.22	A
CK	10	2.34	A
CK+GA	1000	2.36	A

Tratamientos con letras distintas indican diferencias significativas comparados entre ellos, según prueba Tukey ($p < 0.05$)

Tabla A.1.11. Experimento 2: Efecto de Tratamientos en el Rendimiento

Tratamiento	Concentración (mg L ⁻¹)	Media	
CK+GA	1000	74.08	A
Kfol	100	74.32	A
GA	1000	75.57	A
CK	1000	75.96	A
Miller	100	76.91	A
CK+GA	100	77.23	A
Miller	1000	78.05	A
Nutri	100	78.10	A
GA	10	78.89	A
CK	10	79.06	A
Nutri	1000	79.36	A
GA	100	79.54	A
CK+Nutri	10	80.21	A
Nutri	10	80.45	A
CK+Nutri	100	80.54	A
CK	100	80.63	A
Kfol	10	80.97	A
Miller	10	81.58	A
Kfol	1000	81.83	A
Control		82.04	A
CK+Nutri	1000	82.83	A
CK+GA	10	84.07	A

Tratamientos con letras distintas indican diferencias significativas comparados entre ellos, según prueba Tukey ($p < 0.05$).

Figura B.1.3. Análisis de Suelo II

A & L PLAINS AGRICULTURAL LABORATORIES, INC.
 302 34th St. • P.O. Box 1590 • Lubbock, TX 79408 • (806) 763-4278
 FAX (806) 763-2762 • www.al-labs-plains.com

09-075-147

PORT NUMBER

SEND TO: WALESKA TORRES
 P.O. BOX 33
 JAYUYA, PR 00664-

CLIENT NO: 99999
 GROWER: WALESK T. RODRIGUEZ

SOIL TEXTURE REPORT

DATE: 03/18/09

PAGE: 1

SAMPLE ID	LAB NUMBER	SAND %	SILT %	CLAY %	SOIL TEXTURE
EEAADJ	18218	26	22	52	CLAY

This report applies only to the sample(s) tested. Samples are retained for a maximum of thirty days after testing.

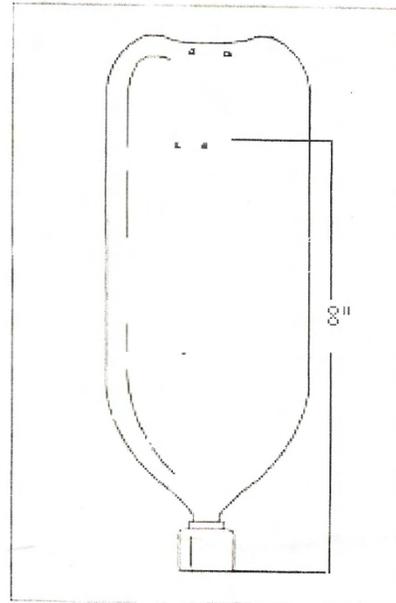
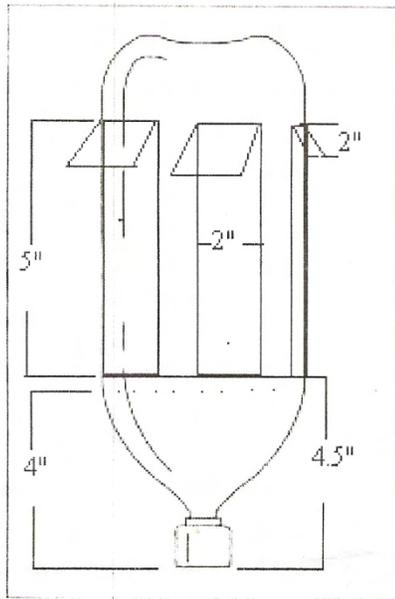
A & L PLAINS AGRICULTURAL LABORATORIES, INC.

By: E. A. COLEMAN, PhD

rights and letters are for the exclusive and confidential use of our clients, and may not be reproduced in whole or in part, nor may any reference be made to the work, the results of the company in any advertising, news release, or other public announcements.

Figura B.1.4. Trampa Modelo ECO IAPAR Modificada

**TRAMPA ECO IAPAR
MODIFICADA**



Materiales

1. Botellón de refresco de dos litros
2. Navaja
3. Aguja u otro objeto punzante
4. Botellita pequeña de 20 mls de capacidad
5. Alambre

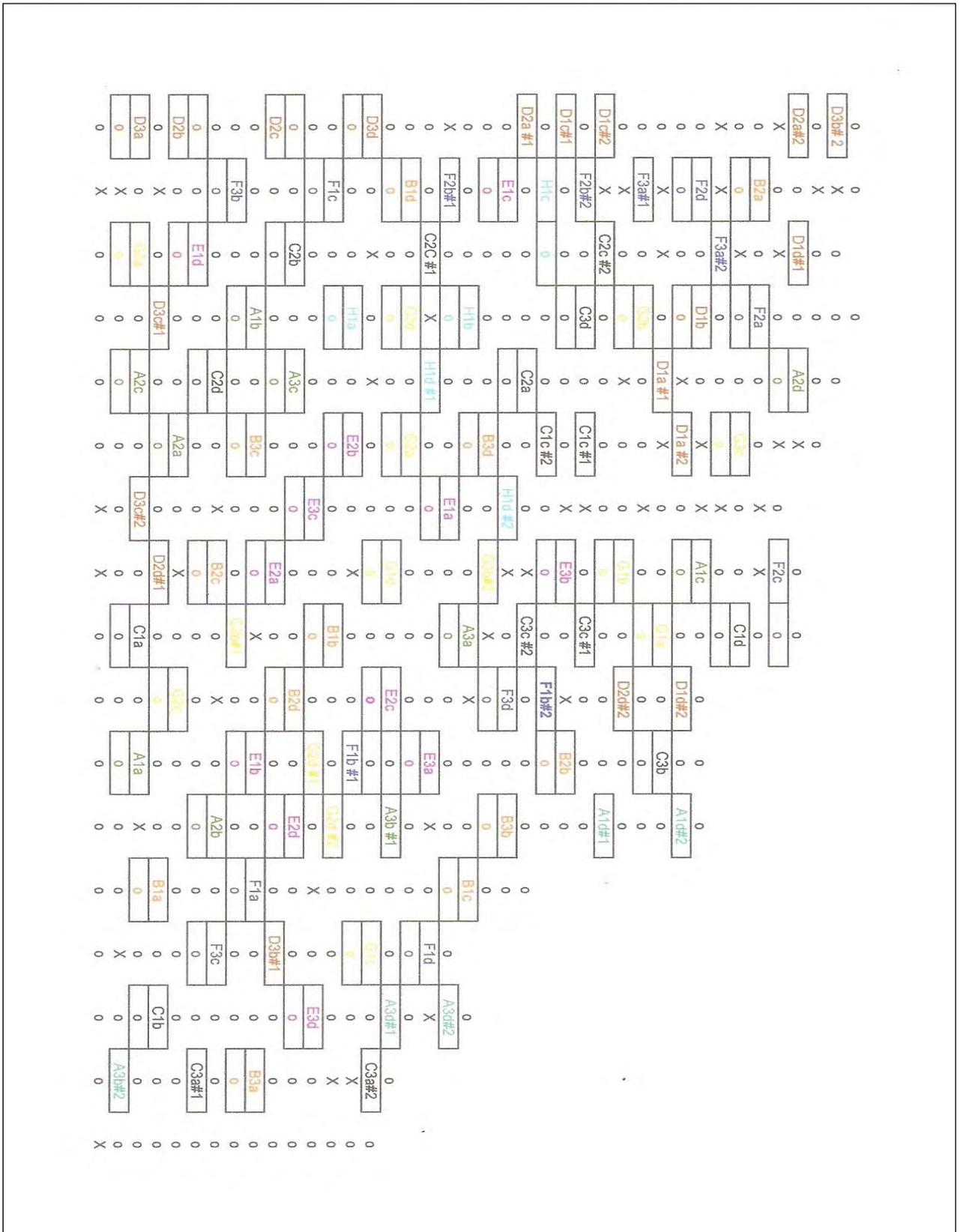
Método

1. Con la botella hacia abajo se miden 4.5" y se marca una línea base
2. .5" mas abajo de la línea base se hace perforaciones con la aguja de no mas de 1/16" de diámetro

3. No remueva la totalidad del plástico al hacer la ventana sino que deje 2" al menos para dejar un pequeño techo o pestaña.
4. Esto impedirá que entre demasiada agua al envase
5. En la parte posterior a las ventanas perfore dos agujeros separados .5" para sujetar la botellita con el atrayente
6. En la parte superior haga 1 o dos agujeros para sujetar la trampa con alambre

Por: Wigmar González Muñiz
Especialista en Café
Servicio de Extensión Agrícola

Figura B.1.6. Mapa del Segundo Experimento



Apéndice C

C.1. Figuras

Figura C.1.1. Calibrador Utilizado para Medidas de Longitud del Grano

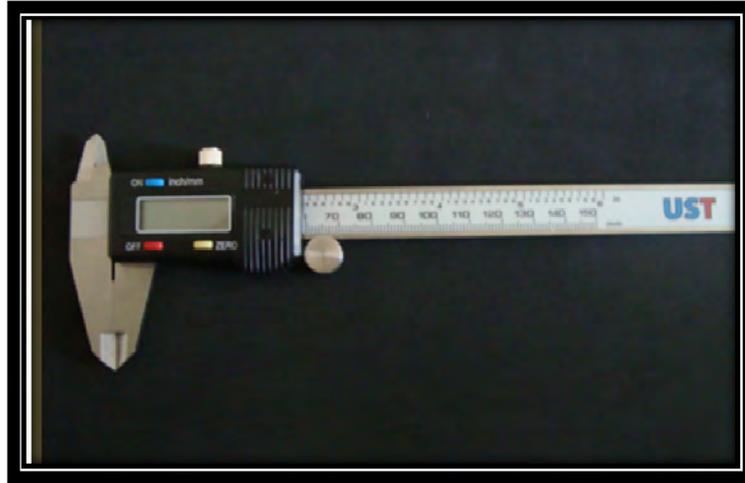


Figura C.1.2. Bandeja #2 Café Extra Grande, Tamaño 20 Clasificado por una Maquinaria Modelo IMSA de Perú.



Figura C.1.3. Tratamiento GA+CK 1000 mg L⁻¹



Figura C.1.4. Efecto del Tratamiento de NUTRILEAF 60® en el Grano Seco

Tratamiento	10 mg L ⁻¹	100 mg L ⁻¹	1000 mg L ⁻¹	Control
NUTRILEAF	A photograph of a single, oval-shaped, light-brown dry grain. A white arrow points down to the grain. Below the grain is a ruler with markings for centimeters (CM) and millimeters, showing the grain is approximately 1.5 cm long.	A photograph of a single, oval-shaped, light-brown dry grain. A white arrow points down to the grain. Below the grain is a ruler with markings for centimeters (CM) and millimeters, showing the grain is approximately 1.5 cm long.	A photograph of a single, oval-shaped, light-brown dry grain. A white arrow points down to the grain. Below the grain is a ruler with markings for centimeters (CM) and millimeters, showing the grain is approximately 1.5 cm long.	A photograph of a single, oval-shaped, light-brown dry grain. A white arrow points down to the grain. Below the grain is a ruler with markings for centimeters (CM) and millimeters, showing the grain is approximately 1.5 cm long.