

Café I (*G. Coffea*)

Elena Rojo Jiménez

Tutora

Elena Pérez-Urria Carril

Máster en Biología vegetal aplicada por la Universidad Complutense de Madrid
Departamento Biología Vegetal I (Fisiología Vegetal) Facultad de Biología, Universidad Complutense. c/
José Antonio Nováis 12. 28040 Madrid.
elena.rojo@ucm.es elenapuc@bio.ucm.es

Resumen: El café tiene una gran importancia económica a nivel mundial, ya que sus semillas, tostadas, molidas y en infusión, constituyen la bebida no alcohólica más consumida actualmente. Su cultivo supone una actividad económica clave en muchos países en desarrollo, y se estima que su procesamiento y comercialización movilizan más de 70.000 millones de dólares al año y dan trabajo a más de 125 millones de personas. Los suministros comerciales de café provienen de más de una especie, pero es *Coffea arabica* (cafeto de Arabia) la que suministra la mayor cantidad y mejor calidad de semillas.

Palabras clave: *G. Coffea*. Café. Cultivo. Distribución. Variedades. Nutrición. Etnobotánica. Fitopatología. Producción. Bioeconomía.

CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS

El café pertenece a la familia de las rubiáceas (*Rubiaceae*), grupo que engloba unos 500 géneros y más de 6.000 especies, la mayoría árboles y arbustos tropicales. Dentro del género *Coffea* hay más de 100 especies, todas ellas autóctonas de África tropical y de algunas islas de Océano Índico, como Madagascar. Todas son leñosas, pero comprenden desde arbustos hasta árboles de 5 a 10 metros de altura. Sus hojas son elípticas, acabadas en punta y aparecen por pares. Presentan peciolo cortos y pequeñas estipulas, y en el envés pueden aparecer unas pequeñas cavidades que albergan pequeños artrópodos, conocidas como domotia. Las hojas pueden ser también de distintos colores: verde lima, verde oscuro, bronce o con matices purpúreos. Los frutos son tipo drupa, con epicarpio carnoso y doble semilla. Las flores aparecen en inflorescencias (ICO, 2014; WALLER *et al.*, 2007).

Las dos especies más importantes desde el punto de vista económico son *Coffea arabica* L. (café arábica) y *Coffea canephora* Pierre ex Froehner (café robusta). Otra especie también conocida pero cultivada en menor escala es *Coffea liberica* (café

libérica). *Coffea excelsa* y *Coffea dewevrei* también se producen comercialmente, pero recientemente se han identificado como variedades de *C. liberica*. *C. arabica* supone más del 60% de la producción mundial, frente a *C. canephora* que abarca prácticamente el resto. *C. liberica* supone menos del 1% (ICO, 2014; WALLER *et al.*, 2007).

Coffea arabica fue descrito por primera vez en 1753 por Linneo. Es genéticamente diferente a otras especies de café, ya que es tetraploide, lo que le hace tener un total de 44 cromosomas en lugar de 22. Se trata de un arbusto grande, de unos 5 metros de altura, con hojas ovaladas y de color verde oscuro brillante. La floración se produce después del periodo de lluvias, y sus flores son blancas, de aroma dulce y están dispuestas en racimo. Los frutos, verdes y ovalados, se vuelven rojos cuando maduran, al cabo de 7-9 meses. Cada fruto contiene habitualmente dos semillas de aspecto chato y aplanado (los granos de café). *Coffea arabica* se cultiva en toda Latinoamérica, en África Central y Oriental, en la India y en Indonesia. Sus variedades más conocidas son "arabica" (typica) y 'bourbon', pero a partir de éstas se han desarrollado nuevas cepas y cultivares diferentes, como "Caturra", "Mundo Novo", "Tico", "San Ramón", "Moca", "Maragogipe", "Columnaris" o "Blue Mountain", de los que ya se hablará más adelante (SMALL, 2009; WALLER *et al.*, 2007; MASEFIELD *et al.*, 1980).

Coffea canephora es un árbol robusto con raíz poco profunda que puede alcanzar los 10 metros de altura. El fruto es redondeado y tarda hasta 11 meses en madurar. Su semilla es alargada y más pequeña que la del *C. arabica*, mientras que las hojas por lo general suelen ser más grandes. El café robusta se cultiva en África Central y Occidental, en todo el Sudeste de Asia y un poco en Brasil, donde se le conoce como "Conillón" (WALLER *et al.*, 2007).

Coffea liberica es un árbol más grande, de hasta 20 metros de altura, con hojas grandes y coriáceas. Se cultiva en Malasia y en África Occidental y sólo se comercia en pequeñas cantidades ya que su demanda es escasa, debido a que sus características de aroma y sabor, le hacen menos valorado (SMALL, 2009; WALLER *et al.*, 2007).

HISTORIA Y ORIGEN

El cafeto es originario de África tropical. Países como Etiopía, Sudán, Kenia, Guinea o Mozambique, se señalan habitualmente como posibles centros de origen, aunque el más aceptado es Etiopía (ARVY *et al.*, 2007).

Se cree que en torno al siglo XV fue introducido en otras regiones como Arabia, Yemen y Egipto donde empezó a adquirir fama y valor. En 1690 comenzó a cultivarse en la isla de Java (Indonesia) y a partir de ese momento su cultivo empezó a expandirse rápidamente por América, llegando posteriormente hasta la India y Sri Lanka (SMALL, 2009; ARVY *et al.*, 2007).

Al principio la bebida se obtenía con la infusión de las hojas, el pericarpio y la pulpa seca. Sin embargo, en algún momento se empezó a producir a partir de semillas tostadas, aunque no se conoce muy bien cuando (MANSFELD WORLD DATABASE, 2014).

DISTRIBUCIÓN

Las principales áreas de cultivo del café son Brasil, Colombia, México, Etiopia, El Salvador, Costa Rica, honduras, indonesia, Guatemala, Costa de Marfil, Angola, Jamaica, Uganda, india, Filipinas, Camerún, Angola, Camboya y China, aunque el café se cultiva principalmente en los trópicos americanos, donde Brasil es con diferencia el mayor productor. Sus exportaciones suelen ser por lo general de tipo duro. Los cafés suaves son exportados por casi todos los países americanos, aunque el de Colombia sea tal vez el más importante. También se exportan buenos cafés desde algunos países centroamericanos como Costa Rica, Jamaica y El Salvador. Respecto al Viejo Mundo, el mayor exportador es actualmente Vietnam, pero cafés como los de Kenia y los de Mysore en la India, son los que gozan de mejor reputación (MANSFELD WORLD DATABASE, 2014; MASEFIELD *et al.*, 1980).

VARIEDADES

C. arabica es una especie que se autopoliniza, lo que conduce a que sus variedades tiendan a permanecer genéticamente estables. No obstante, se han cultivado cepas con mutaciones espontáneas debido a sus características deseables. "Caturra" por ejemplo, es una forma compacta de borbón, "Maragogipe" es un *typica* de granos grandes, "San Ramón" es un *typica* enano y "Purpurascens" un *typica* de hojas púrpura. También se han desarrollado cultivares adaptados a condiciones regionales específicas (clima, tipo de suelo, enfermedades, etc) con el objetivo de alcanzar un rendimiento económico máximo. Este es el caso de las variedades "Blue Mountain" (derivado del *typica* de Jamaica, es cultivado comercialmente en Kenia y es resistente a la enfermedad del grano del café), "Mundo Novo" (cruce de *typica* y bourbon, originalmente cultivado en Brasil), "Kent" (desarrollado en la India y de hojas color bronce, produce café de gran calidad y es resistente a varias enfermedades), SL28 y 34 (desarrolladas en Kenia, también producen café de gran calidad, aunque son sensibles a la roya y a la enfermedad del grano del café) y "Catuai" (híbrido de Mundo Novo y Caturra, se cultiva en Sudamérica) (ICO, 2014; WALLER *et al.*, 2007).

El caso de *C. canephora* es diferente ya que es diploide y autoestéril, por lo que origina muchas formas y variedades silvestres diferentes. En su caso, la identificación de cultivares es confusa, pero están reconocidas dos formas principales, "Robusta" (erguidas) y "Uganda" (esparcidas) (ICO, 2014; WALLER *et al.*, 2007).

Existen también diversas variedades híbridas de *C. arabica* y *C. canephora*. El objetivo de este cruce es mejorar la planta para que adquiriera vigor y resistencia frente a enfermedades y por otro lado, lograr que el café adquiriera mayor calidad en taza. Algunos ejemplos de híbridos son, el “Híbrido de Timor” (híbrido natural de arábica cruzado con robusta), el “Catimor” (cruce entre el Caturra y el Híbrido de Timor, es resistente a la roya) y el “Ruiru11” (es resistente a la enfermedad del grano de café y a la roya, destaca también por su elevado rendimiento, ya que se puede plantar a una densidad doble de la normal). Los híbridos “Icatu” son resultado del repetido retrocruzamiento de híbridos interespecíficos de arábica y robusta con cultivares Mundo Novo y Caturra. Los “Arabusta” son híbridos F1 fértiles que se obtienen del cruce entre el arábica y el robusta autotetraploide inducido (ICO, 2014; WALLER *et al.*, 2007).

COMPOSICIÓN

Un grano de café contiene normalmente un 34% de celulosa, un 30% de azúcares, un 11% de proteínas, de un 6 a un 13% de agua, y entre un 2 y un 15% de materia grasa. Otros componentes destacables son minerales, como el potasio, calcio, magnesio y fósforo, ácidos orgánicos (cafeilquínicos o clorogénicos) y alcaloides, como la cafeína (1-2.5%) y la trigonelina. En algunos casos también se han detectado compuestos exógenos (contaminantes) como pueden ser restos de pesticidas, micotoxinas y benzopireno (VANACLOCHA y FOLCARRA, 2003; CLARKE y MACRAE, 1988).

La cafeína fue descubierta y aislada en 1820 por el químico alemán Ferdinand Runge. En 1832 Pfaffaud y Liebig determinaron su composición química, $C_8H_{10}N_4O_2$ (1-3-7 Trimetilxantina). Se trata de un alcaloide perteneciente al grupo de las purinas, que aparece no solo en el café, sino también en el té y el chocolate. En un adulto sano se estima que su metabolización se efectúa entre las tres y las cinco horas después de la ingesta. Solamente resulta peligrosa para la salud en dosis muy altas. La aparición de efectos negativos y la importancia de estos varía de unas personas a otras. Los cafés Robusta tienen más cafeína que los Arábica (más o menos el doble). En general la cantidad de cafeína que contiene una taza de café varía bastante y depende del origen del café, de la composición de la mezcla, del método de preparación y de lo diluido que esté el café preparado (CLARKE y MACRAE, 1988).

Los ácidos clorogénicos tal vez sean los componentes más estudiados después de la cafeína. Sus propiedades farmacológicas están ligadas a su naturaleza antioxidante. El café verde es una de las principales fuentes de ácidos clorogénicos de la dieta. Durante el proceso de tueste, los ácidos clorogénicos se transforman en lactonas y fenilindanos. La trigonelina es también un compuesto importante ya que durante la torrefacción se transforma parcialmente en niacina. Esto convierte al café en una fuente importante de vitamina B3. Los glicosidos tienen importancia farmacológica porque inhiben la fosforilación oxidativa, al igual que los ésteres de Kahweol y cafestol,

que presentan actividad antitumoral (CROZIER *et al.*, 2008; CLARKE y MACRAE, 1988).

Los polisacáridos son el componente mayoritario del café tostado. Derivan de arabinogalactanos, galactomananos y pectinas procedentes del café verde. Los mono y disacáridos normalmente se destruyen durante la torrefacción, sin embargo a veces pueden aparecer trazas de arabinosa, manosa, glucosa, galactosa, rabinosa, fructosa y sacarosa. Los esteroides más importantes del café tostado son el sitosterol, stigmasterol, campesterol y cicloartenol. Diterpenos como el kahweol, el cafestol y sus ésteres son destruidos durante el tueste y parecen ser el origen de monoterpenos volátiles, naftalenos y quinolinas. Algunos ácidos alifáticos como el ácido láctico, pirúvico, glicólico, oxálico, tartárico y cítrico también se generan durante el proceso de tostado. Entre los compuestos volátiles que conforman el aroma encontramos compuestos aromáticos, como el eugenol y el guaiacol, y compuestos heterocíclicos como el maltol (TARZIA *et al.*, 2010; CROZIER *et al.*, 2008; KNOPP *et al.*, 2006; CLARKE y MACRAE, 1988).

A continuación se adjuntan cuatro tablas que resumen el valor nutricional del café en infusión (Tablas 1, 2, 3 y 4).

Nutriente	Unidades	Valor por 100g
agua	g	99.39
energía	kcal	1
proteínas	g	0.12
grasas totales	g	0.2
carbohidratos	g	0
fibra	g	0
cafeína	mg	40

Tabla 1. Nutrientes básicos del café en infusión (USDA, 2014).

Nutriente	Unidades	Valor por 100g
Minerales		
calcio, Ca	mg	2
hierro, Fe	mg	0.01
magnesio, Mg	mg	3
fósforo, P	mg	3
potasio, K	mg	49
sodio, Na	mg	2
zinc, Zn	mg	0.020
cobre, Cu	mg	0.002
manganeso, Mn	mg	0.023
selenio, Se	µg	0
flúor, F	µg	90.7

Tabla 2. Minerales del café en infusión (USDA, 2014).

Nutriente	Unidades	Valor por 100g
Lípidos (totales)		
saturados	g	0.002
monoinsaturados	g	0.015
poliinsaturados	g	0.001
colesterol	g	0

Tabla 3. Principales componentes lipídicos del café en infusión (USDA, 2014).

Nutriente	Unidades	Valor por 100g
Vitaminas		
tiamina	mg	0.014
riboflavina	mg	0.076
niacina	mg	0.191
ácido pantoténico	mg	0.254
B6	mg	0.001
folato, total	mg	2
colina	mg	2.6
E, gamma tocoferol	mg	0.01
K	µg	0.1

Tabla 4. Vitaminas del café en infusión (USDA, 2014)

USOS Y PROPIEDADES

Las semillas de café se emplean principalmente para producir la bebida estimulante del mismo nombre, sin embargo también se pueden usar como biofertilizantes, biocombustibles, biomasa y con fines medicinales, por ejemplo para el tratamiento de la malaria en Latinoamérica (MANSFELD WORLD DATABASE, 2014; ZUORRO y LAVECCHIA, 2012; MACHADO *et al.*, 2010; PANDEY *et al.*, 2000).

Atendiendo a las propiedades de la bebida, el café Arabica es profundo y penetrante, de sabor ácido, y con un contenido bajo en cafeína. El café de las variedades Robusta es más fuerte y presenta tonalidades amargas. Esto y su mayor contenido en cafeína provocan que su consumo se realice mayoritariamente en forma de mezcla. Existen varios términos para describir las características organolépticas de los cafés. Comenzando con el sabor, el café puede presentar tonalidades ácidas, amargas, dulces, saladas o agrias, en función de la composición química, del grado de tueste, la variedad empleada y del tiempo de fermentación. En general las tonalidades agrias y amargas en exceso se consideran indeseables. Respecto a la textura, el café puede tener más o menos cuerpo, y puede ser o no astringente, característica que se considera indeseable. Terminando con el aroma, este se puede clasificar en animal, ceniza, quemado/ ahumado, químico/ medicinal, chocolate, caramelo, cereal/ malta/ pan tostado, tierra, floral, frutal/ cítrico, hierba/ follaje, nuez, rancio/ podrido, caucho, especias, tabaco, vino y madera (ICO, 2014).

Atendiendo a las propiedades de la cafeína, este compuesto es un estimulante del sistema nervioso central, que aumenta el estado de vigilia, estimula las contracciones cardiacas, promueve la vasodilatación periférica y la vasoconstricción a nivel craneal. También se encarga de estimular la musculatura esquelética, la diuresis y la secreción y motilidad gástrica. La cafeína se emplea también como coadyuvante en el tratamiento de migrañas y del sobrepeso, a la vez que está asociada a fármacos con efectos secundarios sedantes (ARVY *et al.*, 2007; VANACLOCHA y FOLCARA, 2003; CLARKE y MACRAE, 1988).

Atendiendo a los efectos fisiológicos de la bebida, el café parece producir un incremento ligero de la presión arterial y de los niveles de homocisteína en suero. El consumo de determinados cafés con elevadas concentraciones de diterpenos también parece conducir a un aumento de los niveles séricos de colesterol. Sin embargo, la relación entre el consumo de café y el desarrollo de enfermedades cardiovasculares, no está tan clara porque no se tienen en cuenta otros factores exógenos que pueden influir, como son la dieta y los hábitos de vida. Por otro lado, algunos estudios vinculan el consumo de café con un posible desarrollo de cáncer. En concreto, estudios *in vitro* revelan que altas dosis de café inducen efectos mutagénicos en bacterias, hongos y células de mamíferos. Sin embargo, otros ensayos demuestran que estos efectos son abolidos cuando se añaden enzimas hepáticas que ejercen un efecto detoxificador y bioprotector. Podemos concluir por tanto, que los ensayos *in vitro* no son muy fiables cuando no se reproducen exactamente las condiciones fisiológicas reales. Además, numerosos componentes del café parecen ejercer un efecto quimioprotector debido a sus propiedades antioxidantes. En concreto, varios estudios exponen que el consumo de café previene el desarrollo de cáncer de colon e hígado, disminuye la incidencia de diabetes, y reduce el riesgo de sufrir daño hepático y trastornos neurológicos (HAMID AKASH *et al.*, 2014; CANO-MARQUINA *et al.*, 2013; YI-FANG CHU *et al.*, 2012; MURIEL y ARAUZ, 2010; NKONDJOCK, 2010; CLARK y VITZTHUM, 2008; BONITA *et al.*, 2007; SOFI *et al.*, 2007).

ECOLOGÍA Y PRÁCTICAS DE CULTIVO

El café es una planta tropical que crece entre los 25° de latitud norte y los 25° de latitud sur, y que necesita unas condiciones ambientales muy concretas para poder cultivarse a nivel comercial. Factores como la temperatura, la lluvia, el sol, el viento y la composición del suelo son importantes para su desarrollo, aunque las exigencias varían en función de la variedad que se cultive. Las condiciones de cultivo van a ser muy importantes ya que van a influir notablemente en la incidencia de enfermedades y en la capacidad de la planta para resistir o tolerar el daño causado por ellas.

La temperatura ideal es de entre 15° y 25°C para el café Arábica y de entre 24° y 30°C para el Robusta. Por lo general, *C. canephora* aguanta mejor el calor y la sequedad pero, no suele tolerar temperaturas por debajo de los 15°C. Atendiendo a la altitud, el café Robusta puede cultivarse entre el nivel del mar y los 800 metros, en

cambio el Arábica crece mejor en altitudes más elevadas y se cultiva a menudo en lugares empinados. Dado que la altitud está vinculada a la temperatura, el Arábica puede cultivarse a menor altitud en lugares más lejanos de la línea ecuatorial, siempre que no traspase el límite por peligro de helada. Respecto a las lluvias, el café necesita unas precipitaciones anuales de entre 1.100 y 2.000 mm, aunque el Arábica necesita menos que otras especies. El ciclo de períodos lluviosos y secos es importante para el crecimiento, e influye en la brotación y la floración. Lo ideal para el Arábica es un periodo seco de 3-4 meses. En general la cantidad de lluvia que se necesite dependerá de las propiedades de retención del suelo, de la humedad atmosférica, de la nubosidad y de las prácticas de cultivo. Así la falta de lluvias se tolera mejor si la humedad es elevada o los cielos son nubosos, mientras que el exceso no supone un problema siempre y cuando exista un buen drenaje. Respecto al tipo de suelo, las plantas de *Coffea* crecen mejor en suelos profundos, bien drenados y con $\text{pH} < 7$. Cabe destacar también que estas especies no toleran bien los vientos fuertes, el granizo y la exposición directa al sol, por lo que es frecuente establecer rompevientos para proteger los cafetales, así como árboles de sombra.

El cambio en las condiciones climáticas y el aumento global de las temperaturas supone una de las amenazas más grandes a la producción mundial de café. Esto supone un motivo importante de preocupación especialmente en el caso del *C. arabica*, pues no tolera temperaturas superiores a los 24°C. En general, temperaturas superiores a los 28°C conducen a la aparición de anomalías que afectan a la flor y que reducen el rendimiento, mientras que las bajas temperaturas (inferiores a 7°C) afectan a la raíz, donde aparecen malformaciones, especialmente cuando se dan fuertes fluctuaciones a lo largo del día.

Las prácticas de cultivo deben cumplir con los requerimientos ecológicos anteriormente descritos para que el desarrollo de los cultivos sea el adecuado, aunque siempre van a estar sujetos a pequeñas variaciones en función de la variedad y la localización. Atendiendo a los requerimientos nutricionales, en la caficultura, los nutrientes que más se precisan para enriquecer los suelos y mejorar el rendimiento de este cultivo son nitrógeno, potasio y fósforo. Estos tres elementos aparecen habitualmente unidos, pero la combinación específica depende de muchos factores tales como la naturaleza del suelo, las pautas de lluvia y la edad del cafeto. El nitrógeno desempeña una función clave en el crecimiento y formación de nuevas ramas y hojas, mientras que el potasio es necesario para la formación del fruto y la semilla. En concreto, los fertilizantes con fosfatos contribuyen al desarrollo de las raíces, la floración y la fructificación. El uso de abonos y fertilizantes debe estar regido por una serie de factores como son la fertilidad natural del suelo, la cantidad de sombra, la edad del cultivo, el régimen de lluvias, la pendiente del terreno y el tipo de producto a usar. En general, la información que arrojan los análisis de suelos, constituyen la mejor herramienta para decidir la fórmula y cantidad a aplicar. Respecto al uso de árboles de sombra, su empleo es discutido pues ayudan a evitar ciertas enfermedades como la roya, pero favorecen el desarrollo de otras, por lo que no se aplican en todos los cafetales. Sin embargo, su uso presenta una serie de ventajas claras, pues contribuye a disminuir la erosión de los suelos, a incrementar el contenido

de materia orgánica, evita el crecimiento de malezas y suele aportar ingresos adicionales. Para su implantación se suelen buscar especies madereras, que no sean susceptibles u hospedadoras de enfermedades del café, que tengan crecimiento rápido y copa rala de hoja pequeña. Ejemplos de algunas de estas especies se engloban dentro de los géneros *Inga*, *Grevillea*, *Erythrina* y *Eucalyptus*. Otra de las prácticas típicas de este cultivo, es la poda, llevada a cabo justo después de la cosecha. El pequeño árbol es podado con el fin de mantener una altura adecuada para la recolección y que asegure una producción regular. El problema de esta práctica es que si los procedimientos no son adecuados pueden favorecer el desarrollo de infecciones (ICO, 2014; LEAKEY, 2014; WALLER *et al.*, 2007; BEER *et al.*, 1998; MASEFIELD *et al.*, 1980).

POSTCOSECHA

La cosecha normalmente se inicia cuando la plantación tiene 3 o 4 años. Se deben recolectar únicamente los frutos maduros. No hay que cosechar frutos inmaduros, ni demasiado maduros, y mucho menos mezclarlos con los maduros cosechados, porque el café producido será de mala calidad. La cosecha se suele llevar a cabo desde finales de agosto hasta marzo, en función de la altura a la que se encuentre la plantación. En general, el café producido en tierras más bajas o cálidas madura antes que el cultivado en lugares más altos (ICO, 2014).

Una vez recogidos los frutos, lo primero que se lleva a cabo es un secado. Para producir la mejor calidad de granos (conocidos en el comercio como café suave) las bayas son abiertas por una maquina despulpadora y los granos son fermentados durante un corto tiempo en agua y luego secados al sol. Con este método, conocido como el de la vía húmeda, los granos quedan todavía cubiertos por la "parcha" o piel apergaminada. Gran parte del café se exporta de esta forma. Sin embargo, en algunos países se emplea un proceso más simple (el de la vía seca) en el que la baya entera se seca al sol y luego se separa la pulpa de los granos. Este método produce granos desnudos de calidad inferior, conocidos como café duro. El grano sin tostar es lo que se denomina café verde (BEWLEY *et al.*, 2006).

Una vez los granos están secos se procede a su tueste. Este proceso ocasiona por término medio una pérdida de peso del 16%, debido a la pérdida de humedad, y un aumento en el volumen del 50% al 80%. Normalmente los granos se calientan de 8 a 15 minutos a una temperatura de entre 180-240°C. El café puede estar muy tostado, medianamente tostado o poco tostado, aunque también se emplean otros términos para definir el grado de tueste, como el europeo. En general, el grado de tueste viene determinado por el tipo de grano, dado que algunos granos son más apropiados para ciertos tuestes. Al tostar los granos su naturaleza química se ve alterada: el almidón se convierte en azúcar, las proteínas se descomponen y se desprende el aceite esencial del café, conocido como "cafeol". Este compuesto responsable del sabor y aroma del

café en taza, es volátil y soluble en agua, por lo que el sabor puede verse dañado por la exposición del grano a humedad, luz y oxígeno (ICO, 2014).

Por otro lado, el café descafeinado representa una alternativa para aquellos consumidores que quieran disfrutar del café sin experimentar el efecto estimulante que proporciona la cafeína. El proceso de descafeinación se lleva a cabo en el grano verde, y puede ser por cuatro métodos distintos, en función de la sustancia que se emplee para extraer la cafeína (agua, acetato de etilo, CO₂ o cloruro de metileno). El proceso se basa en las leyes físicas de transporte, ya que los granos se sumergen y debido a la diferencia de concentración, la cafeína abandona la estructura celular para entrar en el disolvente (BEWLEY *et al.*, 2006).

ENFERMEDADES Y PLAGAS

Hay tres importantes enfermedades que han causado grandes estragos en las fincas cafeteras de todo el mundo y que hoy en día aún siguen causando gran destrucción. Una de ellas es la roya, que afecta a las hojas, otro es la antracnosis, que ataca el grano, y por último, la traqueomicosis.

La roya del café está causada por *Hemileia vastatrix* Berk. y Br. (Basidiomycota, Uredinales). Fue identificada por primera vez en Sri Lanka en la segunda mitad del siglo XIX. Esta grave enfermedad, que afecta solamente a las hojas, ataca a los cafetos en las tierras bajas. Esto ha provocado que con el paso de los años su cultivo se haya visto relegado a las tierras altas. Los síntomas se caracterizan por manchas localizadas en el haz y en el envés de las hojas de color amarillo-anaranjado. La severidad de la infección se manifiesta con la defoliación de los cafetos afectados y ocurre principalmente durante el periodo de sequía, después de un largo periodo de lluvias intensas y temperaturas moderadas. Debido a que el cultivo de *C. arabica* fue introducido en América del Sur, sus poblaciones tenían una variabilidad genética muy reducida. Esto provocó que a la llegada de la enfermedad a Brasil en 1970, la mayoría de las plantaciones se perdieran a causa de la enfermedad y tuvieran que ser sustituidas por nuevas variedades resistentes. En 1911 apareció en la India el primer cultivar resistente a la enfermedad y unas décadas después, en 1940 se encontró en Timor un híbrido resistente a la roya y a *Colletotrichum coffeanum*. Este híbrido, conocido como "CaTimor" es el que principalmente se ha implantado en Latinoamérica. A pesar de ello, actualmente la roya está causando una fuerte epidemia que está afectando a más del 53% de los cultivos en Centroamérica (ICO, 2014; MANSFELD WORLD DATABASE, 2014; GÓMEZ y BUSTAMANTE, 2006).

Respecto a *Fusarium xylarioides* (Ascomycota, Nectriaceae), el patógeno fue descrito por primera vez en 1948, en el Congo. Su gravedad radica en que taponan los haces vasculares del árbol, lo que provoca su muerte a los pocos meses. En las décadas de 1940-1950, la enfermedad se convirtió en un grave problema en varios países de África Central y Occidental, pero se controló mediante el uso de variedades resistentes

y el descuaje y la quema de los cafetos infectados. A principios de 1980 la enfermedad resurgió en el Congo y Uganda, y aún no se ha erradicado, sin embargo parece verse restringida al continente africano. Tanto *C. Arabica*, como *C. canephora*, *C. excelsa* y las especies silvestres son susceptibles a la enfermedad, aunque existen dos cepas bien diferenciadas, una que afecta al Robusta y otra que afecta al Arábica. Las labores de control que se están llevando a cabo actualmente se basan principalmente en la obtención de variedades resistentes (ICO, 2014; GÓMEZ y BUSTAMANTE, 2006).

La enfermedad del grano del cafeto, de la baya del café o CBD (coffee berry disease), parece estar por el momento restringida al continente africano. También conocida con el nombre de antracnosis, afecta a los frutos verdes del café y tiene por agente causal a hongos del género *Colletotrichum* (Ascomycota, Glomerellaceae), como *C. coffeanum*, *C. kahawae* y *C. gloeosporioides*. Este patógeno requiere un exigente control químico y aún no se conocen cultivares resistentes a todos los aislamientos del patógeno.

Otras enfermedades que pueden afectar al café son las siguientes

- La **gotera** o enfermedad americana del cafeto, está causada por *Mycena citricolor* (Basidiomycota, Tricholomataceae). El patógeno afecta principalmente a las hojas, donde desarrolla lesiones circulares. Su aparición está asociada a un exceso de humedad y de sombra, así como a la presencia de temperaturas suaves.
- El **mal de hilachas**, causado por *Corticium koleroga* (Basidiomycota, Corticiaceae), provoca necrosis del fruto y la aparición de moho en tallos y hojas. Suele desarrollarse como consecuencia de un exceso de humedad y de sombra.
- **Volcamiento**, causado por *Rhizoctonia solani* (Basidiomycota, Ceratobasidiaceae).
- Los **nudos radicales**, causados por especies del nematodo *Meloidogyne* (*M. exigua*, *M. incognita* y *M. javanica*).
- La **mancha de hierro** o **mancha cercosporica**, causada por *Cercospora coffeicola* (Ascomycota, Mycosphaerellaceae), además de afectar a las hojas de plántulas de semillero, donde forma lesiones circulares y halos cloróticos, ataca el pericarpio de frutos verdes y maduros, afectando a la calidad del grano en lesiones avanzadas.
- **Llagas radicales**, causadas por *Rosellinia bunodes* y *R. pepo* (Ascomycota, Xylariaceae). Aparecen en suelos poco drenados y provocan la pudrición de la raíz y con el tiempo la muerte del individuo.

- **Mal rosado**, causado por *Corticium salmonicolor* (Basidiomycota, Corticiaceae), afecta gravemente a las ramas productivas, provocando momificación de frutos y eventualmente la muerte del árbol por anillamiento del tronco. Suele estar asociado a altas densidades de siembra, y a un exceso de humedad.
- **Mancha aureolada** o rosada, causada por *Pseudomonas Garçae*, destruye las hojas de la planta.
- Algunas prácticas de cultivo suelen dejar **heridas en la planta** que se convierten en sitios de entrada para *Ceratocystis fimbriata* (Ascomycota, Ceratocystidiaceae), organismo con gran capacidad saprofítica, presente comúnmente en los suelos cafeteros, que produce clorosis en las hojas y que concluye con la muerte del árbol por taponamiento de los haces vasculares (llaga macana).
- El cultivo en tierras altas ha favorecido los **ataques** de *Phoma spp.* (Ascomycota, Pleosporales), que causan la muerte descendente en zonas expuestas a corrientes de aire frío.
- **Cancros**, causados por *Myrothecium roridum* (Ascomycota, Hypocreomycetidae). Se desarrolla en las plantas del vivero y se inicia en el semillero. Los cafetos infectados muestran síntomas de canchales en las porciones bajas de los tallos y/o pudrición de la raíz pivotal.
- Algunos **nematodos** como *Meloidogyne sp.*, *Pratylenchus sp.* y *Rotylenchulus sp.* también son responsables de causar enfermedad en plantas del café.

Respecto a las plagas, numerosos insectos pertenecientes a las familias Coleoptera, Lepidoptera, Isoptera e Himenoptera, perforan la madera del cafeto, dañando ramas y tallos. Algunos de los especies más significativas son: *Leucoptera meyriki*, *L. coffeellum*, *Ascotis selenaria*, *Ancistrosoma rufipes*, *Platycoelia valida* y *Idiarthron subquadratum*. También destacan los géneros *Dactylispa*, *Atta*, *Acromyrmex*, *Megachile*. Los insectos que comúnmente atacan raíces suelen ser grillos, termitas, hemípteros y larvas de coleópteros, lepidópteros y dípteros. Dentro de este grupo destacan especies como *Diaprepes famelicus*, *Neochavesia caldasiae* y *Pheidole megacephala*, y géneros como *Dismicoccus*, *Quesada*, *Carineta*, *Fidicinoides*, *Solenopsis*, *Acropyga* y *Gonocephalum*. Pero sin duda, las plagas más graves son las que afectan a los frutos. La broca del café, causada por *Hypothenemus hampei*, es la más dañina (WALLER *et al.*, 2007).

Estas enfermedades y plagas, además de causar un descenso en la producción, afectan a la distribución espacial y a la media de edad de las plantas por sección, como consecuencia, las labores de cultivo resultan menos eficientes y aumentan los costes de producción (GÓMEZ y BUSTAMANTE, 2006).

Entre las principales medidas de control destaca el uso de fitosanitarios (fungicidas e insecticidas) y de variedades resistentes, así como el seguimiento de unas buenas prácticas de cultivo, que incluyan medidas de carácter sanitario y cultural. Desde hace algún tiempo se está trabajando también con hongos antagonistas como *Lecanicillium lecanii*, *Trichoderma harzianum*, *T. koningii*, *Beauveria bassiana* y la bacteria *Burkholderia cepacia*, para combatir enfermedades fúngicas y plagas de insectos. El uso de avispas y otros artrópodos depredadores también se está llevando a cabo. En la lucha contra nematodos destacan especies como *Verticillium chlamydosporium*, *Paecylomyces lilacinus*, *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana*.

La lucha contra estas enfermedades y plagas puede suponer un gasto importante, en especial si se tiene en cuenta los posibles efectos adversos. Esto es lo que ocurre por ejemplo con algunos plaguicidas, como el endosulfán, que tiene efectos perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana (ICO, 2014).

BIOTECNOLOGÍA Y MEJORA

Con el paso de los años el café se ido modificado selectivamente con el fin de mejorar sus características, aumentar su rendimiento y desarrollar resistencias frente a enfermedades e inclemencias climáticas. Respecto a las características, el tamaño y la forma del grano, la calidad en taza (propiedades organolépticas) y el contenido en cafeína han sido algunos de los aspectos clave a mejorar (ICO, 2014).

Las técnicas utilizadas son:

- Polinización controlada y multiplicación por semilla.
- Propagación vegetativa (clonal):
 - ✓ Por métodos tradicionales (injertos y esquejes).
 - ✓ Nuevas técnicas (micropropagación y embriogénesis somática).

En estos últimos años las investigaciones se han centrado especialmente en el uso de técnicas de ADN recombinante y de cultivo de tejidos. Aunque sin duda, la necesidad de obtener variedades resistentes y el lento desarrollo de la planta del café convierten a la biotecnología en una herramienta fundamental para mejorar el rendimiento y la producción en los cafetales, mediante la adquisición de genes de resistencia, para evitar el ataque de patógenos y plagas, y poder tolerar heladas y sequías, y mediante la modificación de la composición química del grano para mejorar la calidad del café en taza. En la actualidad se han desarrollado varios sistemas de transformación para lograr la inserción de genes, pero pocos posibilitan la integración estable del material genético. La mayoría de ellos emplean *Agrobacterium* como herramienta de transformación (CLARK y VITZTHUM, 2008).

PRODUCCIÓN

La dinámica de la producción mundial de café se caracteriza en general por una considerable inestabilidad y por el hecho de que a una cosecha grande en un año le sigue con frecuencia una cosecha más pequeña el siguiente. En los últimos 50 años ha habido un crecimiento constante en la producción mundial, intercalada por descensos periódicos (ICO, 2014; WALLER *et al.*, 2007).

Atendiendo a los datos de la FAO, la producción total de café a nivel mundial en el 2012 alcanzaba los 8,8 millones de toneladas, en unos terrenos cultivables que superaban las 10 millones de hectáreas, lográndose un rendimiento neto de 8.791 hectogramos por hectárea. La lista de los países con mayor producción la encabeza Brasil con más de 3 millones de toneladas, seguida de Vietnam con 1,2 millones, Indonesia (657.200 Tm), Colombia (464.640 Tm), India (314.000 Tm), Perú (303.264 Tm) y Honduras (300.000 Tm). Otros países con una producción superior a las 100.000 toneladas son Etiopía, Guatemala, México, Uganda, Costa Rica y Nicaragua. Atendiendo a datos de años anteriores, podemos concluir que en los últimos 10 años estos países también se encontraban entre los mayores productores, sin embargo México, Colombia, Costa Rica, Filipinas, Uganda o Costa de Marfil han visto disminuida su producción notablemente frente a países en auge como Brasil, Etiopía, Guatemala, Honduras, India, Nicaragua, Perú y Vietnam. Respecto a los países con mayor número de hectáreas cultivadas de café en 2012, Brasil se postula también en primera posición con 2,1 millones, seguida de Indonesia (1,2 millones), Colombia (778.084 Ha), México (695.350 Ha), Etiopía (528.571 Ha) y Vietnam (574.314 Ha). Otros países con áreas cultivadas superiores a las 200.000 hectáreas son India, Perú, Uganda, Honduras, Guatemala y Camerún. Estos datos concuerdan con los de años anteriores, pero cabe destacar la disminución del área cultivable en países como México, Indonesia y Costa de Marfil, frente a otros que la han aumentado notablemente como son Etiopía, Camerún, Vietnam, Uganda, India, Honduras y Colombia (FAO, 2014).

MERCADO

El mercado mundial de café ha experimentado una importante transformación en los últimos 50 años. Hasta 1989 estuvo regulado por una serie de convenios internacionales que tenían como objetivo gestionar la oferta y mantener la estabilidad de precios. Con el tiempo, el sistema se vino abajo y a partir de 1990 empezó a verse sujeto a las fuerzas del libre mercado (ICO, 2014).

Al igual que ocurre con muchos productos básicos, la volatilidad de los precios es un gran motivo de preocupación en el mercado cafetero mundial. Sin embargo, la volatilidad de los precios es sólo una parte de la ecuación de sostenibilidad económica. Los cambios en los costes de producción pueden con el tiempo afectar gravemente a la capacidad del productor para subsistir. Los principales componentes de los costes de

producción del café son la mano de obra y el uso de fertilizantes y productos fitosanitarios como los plaguicidas. La mano de obra es sin duda el principal factor limitante, ya que el café es un cultivo que necesita mano de obra intensiva, debido a la escasa mecanización. De hecho, en muchos países, una de las razones que explican el descenso del nivel de producción es el envejecimiento de la población agrícola y la falta de trabajadores jóvenes que la reemplacen, debido en gran parte a la migración de las zonas rurales a las urbanas.

La oferta mundial de café está formada por la producción y las existencias en los países exportadores e importadores. Al igual que la mayor parte de los productos básicos agrícolas, el café está sujeto a considerables variaciones en la producción atribuibles a factores agronómicos y climáticos. Sin embargo, lo que se suele observar es una correlación negativa entre las existencias mundiales y los precios, de forma que en general pocas existencias suponen precios altos. Cabe señalar también que el comportamiento de los precios del café muestra fuertes correlaciones cuantitativas entre la disponibilidad y el consumo mundial, entre las existencias mundiales y el consumo, y entre las existencias iniciales y el consumo.

La cadena de valor del café hace referencia a todos los ingresos generados desde la producción hasta el producto final. Las actividades que integran esta cadena están divididas entre los países productores, que en general exportan café verde, y los países consumidores, que transforman el café verde en otros productos procesados aptos para el consumo final.

En los últimos 50 años el consumo mundial ha aumentado a una tasa media de crecimiento anual del 1,9%, siendo los mercados importadores tradicionales como Japón, la Unión Europea y EE UU los responsables de la mayor parte de esa demanda. Sin embargo, en estos últimos años, se ha detectado que en los países productores y en los mercados emergentes la demanda se ha expandido notablemente. En concreto, el consumo en los mercados emergentes y los países exportadores está creciendo con rapidez y muestra un fuerte potencial de mayor crecimiento. Entre los países exportadores cuyas perspectivas económicas son favorables a un mayor consumo de café están Brasil, Indonesia, la India y México. Esto se debe en parte a que el nivel de vida en los países exportadores sigue mejorando y creando un fuerte potencial de crecimiento del consumo interno de café, gracias a una clase media en expansión. Por otro lado, aunque el crecimiento es modesto en muchos de los mercados tradicionales, y el consumo parece haberse estancado en muchos países, existen aún varias oportunidades dinámicas en el campo especializado de las que podrían beneficiarse los productores, tales como los cafés de calidad especial y los cafés certificados. Además, en los últimos 50 años, ha habido un cambio en la percepción que se tiene del café como producto saludable, debido en parte a la proliferación de estudios científicos que revelan propiedades beneficiosas del café (ICO, 2014).

SOSTENIBILIDAD

En términos sociales es un hecho ampliamente reconocido que el café desempeña una importante función en el asentamiento de la población dedicada a la agricultura y en la creación de empleo en las zonas rurales. Cuando los precios disminuyen y llegan a ser más bajos que los costes de producción, la sostenibilidad de la economía en países que dependen mucho del café, se ve fuertemente amenazada.

Los principios del desarrollo sostenible en la economía cafetera se basan en los siguientes aspectos (ICO, 2014):

- Los productores deben recibir un nivel de ingresos que cubra el coste de producción, de vida y los costes medioambientales.
- Las condiciones laborales de los trabajadores deben cumplir lo establecido por la Organización Internacional del Trabajo.
- Los productores deben adoptar prácticas sostenibles en términos ambientales.
- Se Debe mejorar el acceso a crédito y las oportunidades de diversificación, así como a la información comercial y a cadenas de comercialización.

Como ya se ha mencionado, una economía sostenible debe abarcar aspectos agrícolas encaminados a promover prácticas responsables a nivel ambiental. Algunos de los problemas ambientales asociados a la producción del café son: la contaminación (debido al uso excesivo de fertilizantes químicos, plaguicidas y herbicidas), la deforestación (en muchos casos el desarrollo de una producción extensiva se hace a expensas de las zonas forestales) y la degradación de los suelos (dependiendo del método de cultivo que se use, el porcentaje de materia orgánica del suelo puede disminuir, además el café tiende a agotar el contenido de nitrógeno, potasio y calcio del suelo).

Una manera de abordar esas cuestiones es mediante programas de certificación y verificación. Los principales programas de sostenibilidad que se están llevando a cabo actualmente son la "Certificación de Comercio Justo" (fomentan condiciones de trabajo saludables y prohíbe el trabajo de menores, a la vez que garantizan que no se degradarán los sistemas ecológicos naturales y que se use la tierra cultivada de forma sostenible), la "Certificación de producto ecológico" (comprende una serie de normas como son la prohibición de uso de productos químicos y organismos modificados genéticamente, a la vez que fomenta la conservación de la naturaleza, la biodiversidad y la fertilidad de los suelos), la "Certificación Rainforest Allianc" (encaminada a mantener la biodiversidad en las zonas de producción y en lograr unas condiciones de vida sostenibles para los trabajadores de las plantaciones y la población local), la "Certificación SMBC" (promueve el cultivo de café bajo sombra) y la "Certificación UTZ" (establece una serie de criterios sociales y ambientales para prácticas responsables de cultivo de café y gestión agrícola eficaz).

A pesar del rápido aumento de certificaciones en el comercio internacional, hay aún una serie de aspectos a mejorar. Por un lado, deben ser aclaradas cuestiones relacionadas con el efecto que tiene en el rendimiento y la calidad del café. También debe ser investigada más en profundidad la contribución que ejerce para reducir la vulnerabilidad del productor a choques exógenos tales como las caídas de los precios. Por último, está el problema de que la producción de café certificado en general excede a la demanda, y como consecuencia muchos productores no pueden llegar a vender el café que producen.

BIBLIOGRAFÍA

- Arvy, M. P.; Gallouin, F.; Ubillos, M. Á. M. y Montalbán, J. M. 2007. *Espicias, aromatizantes y condimentos*. Mundi-Prensa, 77.
- Beer, J.; Muschler, R.; Kass D. y Somarriba, E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems*, 38: 139–164.
- Bewley, J. D.; Michael Black, M. y Halmer, P. 2006. *The Encyclopedia of Seeds: Science, Technology and Uses*. CABI, 86-87.
- Bonita, J. S.; Mandarano, M.; Shuta, D. y Vinson, J. 2007. Coffee and cardiovascular disease: In vitro, cellular, animal, and human studies. *Pharmacological Research*, 55: 187-198.
- Cano-Marquina, A.; Tarínb, J. J. y Cano, A. 2013. The impact of coffee on health. *Maturitas*, 75: 7-21.
- Chu, Y.; Chen, Y.; Brown, P. H.; Lyle, B. J.; Black, R. M.; Cheng, I. H.; Ouc, B. y Prior, R. L. 2012. Bioactivities of crude caffeine: Antioxidant activity, cyclooxygenase-2 inhibition, and enhanced glucose uptake. *Food Chemistry*, 131: 564-568.
- Clarke, R. J. y Macrae, R. 1988. *Coffee: Physiology*. Springer, 1-51.
- Clark, R. y Vitzthum, O. G. 2008. *Coffee: Recent Developments*. John Wiley & Sons, 224-230.
- Crozier, A.; Clifford, M. N. y Ashihara, H. 2008. *Plant Secondary Metabolites: Occurrence, Structure and Role in the Human Diet*. John Wiley & Sons. 274-277.
- Gómez, G. C. y Bustamante, A. B. 2006. Las enfermedades del café: logros y desafíos para la caficultura colombiana del siglo XXI. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*. Costa Rica. 77, 89-93.
- Hamid Akash M. S.; Rehman, K. y Chen, S. 2014. Effects of Coffee on Type 2 Diabetes

Mellitus. *Nutrition*. Accepted manuscript.

Knopp, S.; Bytof, G. y Selmar, D. 2006. Influence of processing on the content of sugars in green Arabica coffee beans. *European Food Research Technology*, 223: 195–201.

Leakey, R. B. 2014. The Role of Trees in Agroecology and Sustainable Agriculture in the Tropics. Annual Reviews. *Phytopathology*, 52: 6.1-6.21.

Machado, E. M. S.; Rodriguez-Jasso, R. M.; Mussatto, S. I. y Teixeira, J. A. 2010. Cultivation of fungal strains using coffee industry residues as alternative growth substrates. *Journal of Biotechnology*, 150S: S1-S576.

Masefield, G. B.; Wallis, M.; Harrison, S.G.; y Nicholson, B.E. 1980. *Guía de las plantas comestibles*. Ediciones Omega. 110.

Muriel, P. y Arauz, J. 2010. Coffee and liver diseases. *Fitoterapia*, 81: 297-305.

Nkondjock, A. 2009. Coffee consumption and the risk of cancer: An overview. *Cancer Letters*, 277: 121-125.

Pandey, A.; Soccol C. R.; PNigamc, P.; Brand, D.; Mohanb, R. y Roussos, S. 2000. Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses. *Biochemical Engineering Journal*, 6: 153-162.

Small, E. 2009. *Top 100 Food Plants*. NRC Research Press, 187-197.

Sofi, F.; Andrea A. Conti, A. A.; Gori, A. M.; Luisi, M. L. E.; Casini, A.; Abbate, R. y Gensini, G. F. 2007. Coffee consumption and risk of coronary heart disease: A meta-analysis. *Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases*, 17: 209-223.

Tarzia, A.; dos Santos Scholz, M.B. y de Oliveira Petkowicz, C. L. 2010. Influence of the postharvest processing method on polysaccharides and coffee beverages. *International Journal of Food Science and Technology*, 45: 2167-2175.

Vanaclocha, B. V. y Folcara, S. C. 2003. *Fitoterapia: Vademécum de prescripción*. Barcelona. Masson.

Waller, J. M.; Bigger, M. y Hillocks, R. J. 2007. *Coffee Pests, Diseases and Their Management*. CABI. 437 pp.

Zuorro, A. y Lavecchia, R. 2012. Spent coffee grounds as a valuable source of phenolic compounds and bioenergy. *Journal of Cleaner Production*, 34: 49-56.

BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

- Costa de Rezende, J.; Siqueira de Carvalho, C. H.; RamiaSantos, A. C.; Pasqual, M. y Teixeira, J. B. 2012. Multiplication of embryogenic calli in *Coffea arabica* L. *Acta Scientiarum. Agronomy. Maringá*, 34 (1): 93-98.
- Curso de evaluación del componente arbóreo y su efecto en cafetales. Orton IICA/CATIE. Costa Rica, 1997.
- Esquivel, P. y Jiménez, V. M. 2012. Functional properties of coffee and coffee by-products. *Food Research International*, 46: 488-495.
- Frost-Meyera, N. J. y Logomarsino, J. V. 2012. Impact of coffee components on inflammatory markers: A review. *Journal of Functional Foods*, 4: 819-830.
- Guía práctica: Producción de café con sombra de maderables. Proyecto UE-Cuencas, 2004. FHIA: Honduras.
- Hecimovic, I.; Belščak-Cvitanovic, A.; Horzic, D. y Komes, D. 2011. Comparative study of polyphenols and caffeine in different coffee varieties affected by the degree of roasting. *Food Chemistry*, 129: 991-1000.
- Machado, E. M. S.; Rodriguez-Jasso, R. M.; Teixeira, J. A. y Mussatto, S. I. 2012. Growth of fungal strains on coffee industry residues with removal of polyphenolic compounds. *Biochemical Engineering Journal*, 60: 87-90.
- Mussatto, S. I.; Ballesteros, L. F.; Martins, S. y Teixeira, J. A. 2011. Extraction of antioxidant phenolic compounds from spent coffee grounds. *Separation and Purification Technology*, 83: 173-179.
- Mussatto, S. I.; Carneiro, L. M.; Silva, J. P. A.; Inês C. Roberto, I. C. y Teixeira, J. A. 2011. A study on chemical constituents and sugars extraction from spent coffee grounds. *Carbohydrate Polymers* 83: 368-374.
- Mussatto, S. I.; Machado, E. M. S.; Carneiro, L. M.; y Teixeira, J. A. 2012. Sugars metabolism and ethanol production by different yeast strains from coffee industry wastes hydrolysates. *Applied Energy*, 92 : 763-768.
- Obso, T. K. 2006. *Ecophysiological Diversity of Wild Arabica Coffee Populations in Ethiopia: Groth, Water Relations and Hydraulic Characteristics Along a Climatic Gradient*. Cuvillier Verlag, 305 pp.
- Rodríguez, D.; Cure, J. R.; Cotes, J. M.; Gutierrez, A. P. y Cantor, F. 2011. A coffee agroecosystem model: I. Growth and development of the coffee plant. *Ecological Modelling*, 222: 3626-3639.

Rodríguez, D.; Cure, J. R.; Cotes, J. M.; Gutierrez, A. P. y Cantor, F. 2013. A coffee agroecosystem model: II. Dynamics of coffee berry borer. *Ecological Modelling*, 248: 203-214.

Silva, H. S. A.; Tozzi, J. P. L.; Terrasan, C. R. F. y Bettioli, W. 2012. Endophytic microorganisms from coffee tissues as plant growth promoters and biocontrol agents of coffee leaf rust. *Biological Control*, 63: 62-67.

RECURSOS ELECTRÓNICOS

Asociación Nacional del Café de Guatemala

<http://www.anacafe.org>

Cropscience de Bayer

<http://www.cropscience.bayer.com/>

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), Servicio de Conservación de los Recursos Naturales (NRCS)

<http://plants.usda.gov>

Ecos del Café

<http://academic.uprm.edu/mmonroig/index.htm>

Encyclopedia of Life (EOL)

<http://eol.org>

Mansfeld World Database of Agricultural and Horticultural Crops

<http://mansfeld.ipk-gatersleben.de>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)

<http://faostat.fao.org>

Organización Internacional del Café (ICO)

<http://www.ico.org/>

USDA National Nutrient Database for Standard Reference

<http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods>

Recibido: 14 de noviembre 2014.

Aceptado: 15 de diciembre 2014.