



# GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS EN EL CULTIVO DEL CAFÉ PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Elaborado por: Francisco Anzueto

Información técnica: Pablo Ruiz, Previn Valdivieso, Javier Rivas y Gerson López

Enero 2020



## Contenido

Presentación .....	1
1. El cambio climático y el café arábico en el escenario actual .....	2
2. Variedades de café.....	7
3. La producción de plantas en el vivero .....	11
4. Prácticas de adaptación.....	13
4.1. El injerto .....	13
4.2. Uso de biochar en vivero .....	17
4.3. Aplicación de organismos benéficos .....	20
4.4. Aplicación de cal y yeso .....	23
4.5. Cultivos asociados al café.....	26
4.6. Coberturas vivas y sombra temporal .....	30
4.7. Aplicación de riego por goteo .....	39

## Presentación

El nuevo enfoque de las buenas prácticas agrícolas debe responder a la necesidad actual de incrementar la producción y mejorar la calidad, sin el detrimento de la calidad ambiental y social, en un escenario de constante cambio en los factores del clima, cambio que en muchos casos ejerce un efecto adverso sobre el desarrollo de las plantas y que se agrava por el efecto favorable a la proliferación de organismos antagónicos y patogénicos para los cultivos.

Cada vez son más frecuentes las lluvias erráticas o fuera de época, así como los períodos de temperatura elevada y sequía prolongada. Además, las fuentes de agua disponible para riego son cada vez más escasas, ya sea por la disminución de los efluentes o por la excesiva contaminación. Ante estas condiciones, la caficultura no escapará a estos efectos, a menos que se tomen medidas que permitan reducir el impacto de las amenazas climáticas.

Por ello, la Iniciativa coffee&climate (c&c) implementada por la Fundación Hanns R. Neumann Stiftung ha desarrollado un proceso en varias etapas donde se capacita y validan las buenas prácticas agrícolas con los productores, que han de ser aplicadas al cultivo de café y que se convierten en medidas de adaptación y mitigación al cambio climático. El objetivo es apoyar a los productores para adaptarse a estas nuevas condiciones mediante el aprendizaje a través de parcelas de ensayo a nivel de fincas, parcelas demostrativas, escuelas de campo e intercambio de ideas y experiencias con otros actores involucrados en la producción de café.

En el presente documento se recopilan los resultados obtenidos con estas medidas de adaptación las cuales son un complemento de las buenas prácticas agrícolas. Lo que se pretende es que estas prácticas contribuyan a aumentar la resiliencia de los sistemas de café y llegar a hacerlos más productivos, aún bajo la amenaza de eventualidades climáticas adversas. Asimismo, se ofrece un panorama sobre la influencia que pudieron haber ejercido los eventos climáticos en la epidemia de la roya en el período 2011/12 y sus efectos sobre la producción de café en la región. Se espera que el enfoque impulsado por la Iniciativa c&c permita contrarrestar y/o evitar crisis similares en el futuro, causadas por esta u otra enfermedad y eventos climáticos extremos.

Se presenta también una recopilación del origen de las variedades actuales que se constituyen en opciones con las que cuenta el caficultor, para la renovación o su introducción a nuevas áreas. Se resumen datos e información generados por la Iniciativa c&c para las diferentes “opciones de adaptación y mitigación”, con informaciones adicionales de otras fuentes para que puedan servir al productor como orientación en la toma de decisiones e implementación de las opciones de adaptación. Se espera que la presente guía se vaya actualizando con nuevas experiencias y datos que se vayan obteniendo a nivel de campo.

# 1 | El cambio climático y el café arábico en el escenario actual

El café Arábico tuvo su origen en las regiones montañosas del país que ahora es Etiopía, ubicadas entre 1300 y 2800 metros de altitud, como vegetación espontánea dentro de los bosques. En base a registros del clima de Etiopía y de numerosas investigaciones realizadas en diferentes regiones cafetaleras del mundo se establecieron los parámetros que definen las exigencias climáticas del café. El clima influye de manera directa e indirecta en la planta de café y en el suelo principalmente a través de la lluvia, viento, temperatura, humedad relativa y horas de luz.

La temperatura es el principal factor climático que define la aptitud de una región para el cultivo comercial del café, es decir, donde podría prosperar. Para el café Arábico el rango de aptitud ideal corresponde a una temperatura media anual entre 19 y 22 grados centígrados (°C), y para una condición de aptitud normal entre 18 y 23°C. Se consideran regiones no aptas aquellas que presentan temperaturas medias anuales debajo de 18°C y superiores a 23°C. La estación climática de Anacafé establecida en Olopa, Guatemala, registró una temperatura promedio anual para 5 años (entre 2010 a 2015), de 18.93°C, 18.72°C, 19.07°C, 19.21°C y 21.14°C, respectivamente.

Las altas temperaturas ambientales y la falta de agua en determinados momentos del crecimiento del fruto y de los granos pueden afectar su normal desarrollo. La figura 1 muestra el desarrollo del fruto expresado como peso fresco días después de la floración.



Figura 1. Desarrollo del fruto días después de la floración expresado en peso del fruto en gramos

La primera etapa crítica se ubica entre los días 45 y 80 con riesgo de una “purga” de frutos verdes y afectación del tamaño del grano de las primeras floraciones. La segunda etapa crítica ocurre aproximadamente entre 80 y 120 días después de la floración, que es cuando se “llena” el grano y se promueve una alta demanda de carbohidratos por parte de los frutos. Bajo condiciones de altas temperaturas y/o déficit de agua en la etapa referida el transporte de carbohidratos hacia los frutos se restringiría, provocando la formación de “granos negros” y en los casos más extremos el abortamiento de los granos lechosos, que los brasileños denominan “corazón negro”.

Fotografía 1 muestra frutos completos, granos con el pergamino y granos sin pergamino en los cuales se evidencia la condición de “granos negros”. Los frutos y granos pergamino tienen una apariencia normal.



**Fotografía 1.** Detalle de granos negros provenientes de frutos de apariencia normal

En la fotografía 2 se observan frutos que fueron abortados y pudrición de los granos lechosos, efecto provocado principalmente por las altas temperaturas del año 2015, en una plantación ubicada a 500 metros de altitud en Coatepeque, Guatemala. Las temperaturas máximas mensuales promedio de los meses de mayo, junio, julio y agosto fueron superiores a los 32°C en ese año y sitio. Externamente los frutos presentaban un aspecto normal.



**Fotografía 2.** Aspecto de frutos que fueron abortados de los granos en la fase lechosa

Las altas temperaturas también pueden provocar una maduración forzada de los frutos, los cuales tendrán una apariencia de maduración completa, pero los granos quedarían parcialmente inmaduros en mayor o menor grado, lo cual puede afectar la expresión de la calidad de taza con apreciaciones variables de aspereza.

En el monitoreo de la calidad realizado por ANACAFE (Guatemala) en la cosecha 2014-15, se detectó una mayor frecuencia de muestras de café con taza áspera o ligeramente áspera, aún en lotes cosechados en el punto óptimo de maduración y con procesos de beneficiado húmedo y secamiento bien conducidos. Para el caso de los departamentos de Chiquimula y Zacapa el defecto de taza áspera fue de 37%. A partir de datos de la estación meteorológica de Olopa, Chiquimula se observó que la temperatura promedio del año 2014-15 fue la más alta en los 5 años analizados, y de igual manera hubo menos lluvia en el 2014-15 (figura 2). Se concluyó que el incremento del porcentaje de taza áspera recibió una importante influencia de las condiciones climáticas de alta temperatura y menor lluvia predominantes.



**Figura 2.** Comportamiento de la temperatura promedio anual (°C) y lluvia (mm) años de 2010 al 2015 en Olopa, Chiquimula, Guatemala.

En años recientes también se ha mencionado el problema de taza fenólica o astringente que podría atribuirse a una maduración forzada. Esto puede favorecerse bajo condiciones de una alta

carga de frutos, fertilización insuficiente y temperaturas elevadas durante la fase de maduración. El gusto fenólico o astringente es típico del grano de café inmaduro donde existe un exceso de compuestos fenólicos, especialmente ciertos tipos de ácidos clorogénicos que normalmente desaparecen o se reducen en una maduración normal.

En Etiopía, región de origen del café Arábico, las lluvias en las zonas del café varían de 1200 a 2000 milímetros al año. En Centroamérica las regiones productoras de café más secas reciben en años normales alrededor de 1200-1400 milímetros. En los registros de Olopa en Guatemala se tuvo para el año 2012-13 una lluvia acumulada de 1154 milímetros y en 2014-15 de 1047 milímetros. Los años de lluvia deficitaria y canículas muy prolongadas afectan negativamente la producción de café. Generalmente estas condiciones van acompañadas de aumento en la temperatura, acentuándose el impacto negativo sobre el desarrollo de las plantas y su producción.

Los productores de café han observado variaciones en el comportamiento del clima, con incrementos de temperatura ambiental, así como en la cantidad y la distribución de las lluvias, que además de afectar la producción favorece el incremento de algunas enfermedades y plagas. Como ejemplo, aunque los factores responsables de la epidemia de la roya del café de los años 2011/12 en Centroamérica no están completamente comprendidos, hay fuertes indicios que se trataría de una combinación de condiciones económicas y climáticas como las responsables de la crisis fitosanitaria, ya que en 2012 se registraron mayores temperaturas y alteraciones en la distribución de la lluvia que pudieron haber facilitado la epidemia de la roya.

Existirían entonces impactos ahora mejor comprendidos del efecto de la variabilidad, cambio climático sobre la fenología y fisiología del cultivo del café, el comportamiento de plagas y enfermedades, pero aún quedan muchos aspectos que deben investigarse con mayor profundidad. Sin embargo, a la luz de la información disponible, la observación de diferentes situaciones que han impactado en la caficultura de la región, se torna indispensable el abordaje de un enfoque de adaptación al cambio climático como una estrategia de sostenibilidad económica y ambiental.

En la figura 3 se observa la evolución de 5 cosechas en los países de Centroamérica y México, expresada en porcentaje y tomando como referencia el “año-Roya” 2011/12, aquí representado como el 100%.

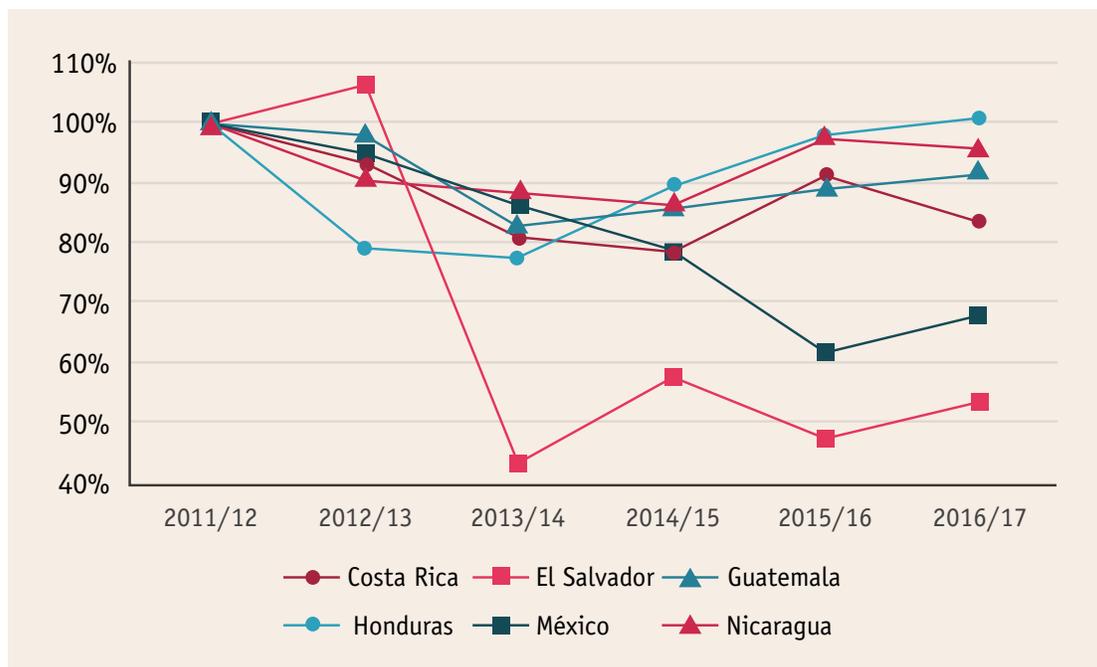


Figura 3. Evolución de las 5 cosechas posteriores a la epidemia de la roya del 2011/12 en Centroamérica y México. Basado en datos de la OIC.

El impacto negativo más fuerte en las cosechas ocurrió al segundo año (2013/14). En el cuarto año (2015/16) Honduras y Nicaragua mostraron una buena recuperación respecto a la cosecha 2011/12. Esto probablemente se explique por la circunstancia que estos países tenían plantaciones más jóvenes en promedio y áreas importantes con variedades tolerantes a la roya.

Las pérdidas de cosecha acumuladas de estos cinco años corresponden aproximadamente a la cosecha de un año del conjunto de los países de Centroamérica y México, que es una cifra cercana a los 15 millones de sacos de 60 kg de café oro. Estas pérdidas han tenido impactos directos en los ingresos de los 1.9 millones de personas que dependen directamente del café en la región, la mayoría de ellos pequeños productores y cosechadores.

La situación social ha sido crítica, no solo como resultado de la reducción de la producción y la sustitución de áreas cultivadas con café por áreas para cultivo de granos básicos, sino también debido a una disminución de los precios del café de casi el 60% entre 2011 y 2014. Se indica que esta epidemia debe considerarse como una advertencia porque incidieron condiciones climáticas que son consistentes con el cambio climático.

Dependiendo del clima de una región los productores de café realizan diferentes prácticas para mantener o mejorar la producción y productividad. En tal sentido, los técnicos agrícolas proponen que las experiencias de campo y los resultados de la investigación sean aplicados bajo el concepto de buenas prácticas agrícolas implementados como medidas de adaptación.

La Iniciativa c&c indica algunos posibles impactos climáticos negativos sobre el café Arábica, referidos como efectos directos e indirectos de eventos climáticos extremos en las variedades del café Arábica. Estos impactos, resumidos en la tabla 1, requieren de una serie variada de opciones de adaptación.



**Fotografía 3.** Planta de café afectada por la roya.



**Fotografía 4.** Plantación en zona del corredor seco en Guatemala, plantas fuertemente afectadas por la falta de sombra y cobertura de suelo.

**Tabla 1.** Amenazas climáticas e impactos directos e indirectos en la caficultura.

Amenaza climática	Impacto directo en la planta de café	Impacto indirecto
<b>Temperatura alta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Por encima de 23°C: se acelera la maduración del fruto, lo que lleva a la pérdida progresiva de la calidad</li> <li>» Por encima de 25°C: se reduce la tasa fotosintética</li> <li>» Por encima de 30°C: se deprime el crecimiento de la planta</li> <li>» Las temperaturas altas pueden causar anomalías en las hojas, los tallos y las flores o su aborto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Puede aumentar la presencia de plagas y enfermedades.</li> <li>» Puede favorecer la aparición de nuevas plagas.</li> <li>» La pérdida de aptitud de zonas cafetaleras por altas temperaturas.</li> </ul>
<b>Lluvia fuerte, granizo, vientos fuertes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Daño a las plantas, aumento en la caída del fruto, especialmente cerca de la cosecha</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Erosión del suelo, deslizamientos, hundimientos, lavado de nutrientes y pesticidas aplicados</li> <li>» Los daños a las carreteras y otras infraestructuras aumentan los costos</li> </ul>

Amenaza climática	Impacto directo en la planta de café	Impacto indirecto
<b>Lluvia intermitente y fuera de temporada</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Mayor frecuencia de la floración</li> <li>» Caída de frutos de café por lluvia durante la cosecha, maduración inadecuada del grano de café.</li> <li>» Cosechas fuera de tiempo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Posible aumento de algunas enfermedades</li> <li>» Dificultades del secado después de la cosecha</li> </ul>
<b>Lluvia prolongada</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Puede reducir la floración, afectar la formación del fruto, disminuir la fotosíntesis debido a la constante nubosidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Una mayor humedad puede favorecer enfermedades fúngicas (desfavorable); puede aumentar la mortalidad de algunas plagas, como la broca (favorable)</li> </ul>
<b>Sequía prolongada</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Plantas más débiles, marchitamiento, aumento de la mortalidad de las plantas jóvenes.</li> <li>» Aborto floral, mal llenado de fruto, grano vano, afecta la calidad del grano, menos concentración de azúcares en el grano de café.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Las plantas de café bajo estrés son más susceptibles a ciertas plagas</li> </ul>

Para contrarrestar estos impactos se dispondría entonces de un conjunto de buenas prácticas agrícolas que han sido recomendadas por los técnicos o aplicadas por los productores por cuenta propia. Entonces, ¿cuál sería la diferencia entre una buena práctica agrícola y una opción de adaptación?

En el documento “La adaptación al cambio climático en la producción del café” de la Iniciativa c&c se indica que *muchas de las opciones de adaptación ya se conocen como buenas prácticas agrícolas, sin embargo, una buena práctica agrícola solo se convierte en una opción de adaptación en el caso que haya una amenaza climática específica en una determinada región, y que la práctica aumente la resiliencia del sistema productivo.*

En el mismo documento se refiere una etapa que corresponde a la validación e implementación de las opciones de adaptación, la cual tiene los siguientes métodos: Escuela de Campo (ECA), Parcelas de validación (experimentos a pequeña escala en la finca), parcelas demostrativas, visitas de intercambio y días de campo. A su vez, los resultados esperados son: validación de las opciones de adaptación seleccionadas en el contexto local, implementación de las opciones de adaptación más adecuadas para el contexto específico.

Las parcelas de validación y las parcelas demostrativas se establecen con productores voluntarios que participan en la Iniciativa c&c. Las parcelas demostrativas generan datos e informaciones que permiten validar, o no validar, en una finca la “opción de adaptación” o también el caso de dos o más “opciones de adaptación” aplicadas simultáneamente.

El objetivo de esta Guía es integrar los datos e información generados para las diferentes “prácticas de adaptación”, asimismo aprovechar las informaciones de otras fuentes y ordenarlos como capítulos que puedan servir al productor y equipos técnicos en como orientar la toma de decisiones e implementación de dichas opciones de adaptación. Por su naturaleza esta Guía deberá seguir una dinámica de actualización en la medida que nuevos datos se vayan generando y consolidando.



**Fotografía 5.** Parcela que integra varias opciones de adaptación incluyendo sombra temporal de tefrosia y cobertura de *Brachiaria ruziziensis*.

## 2 | Variedades de café

### Primeras variedades

El café Arábico no es nativo de América, su origen se ubica en África en el país de Etiopía, de donde semillas de pocas plantas salieron hacia otros países hace varios siglos (figura 4). La variedad que conocemos como Típica proviene de una sola planta del Jardín Botánico de Ámsterdam, en Holanda, de donde llegó, por una ruta, a las Antillas en el Caribe y, por otra, a Suramérica. De las Antillas pasó a México y a Centroamérica. Inicialmente, se introdujo a Guatemala como una planta ornamental. Su cultivo comercial se estableció a inicios de 1800 y luego se extendió a toda Centroamérica. Siendo así, la historia del cultivo en nuestra región se extiende por un período cercano a 200 años.

La variedad Típica predominó por cerca de un siglo en la región y más tarde empezó a ser sustituida paulatinamente por la variedad Borbón que era más productiva. Ésta también es originaria de Etiopía, llegó a Brasil entre 1860 y 1870 y unos 40 años más tarde a Centroamérica.

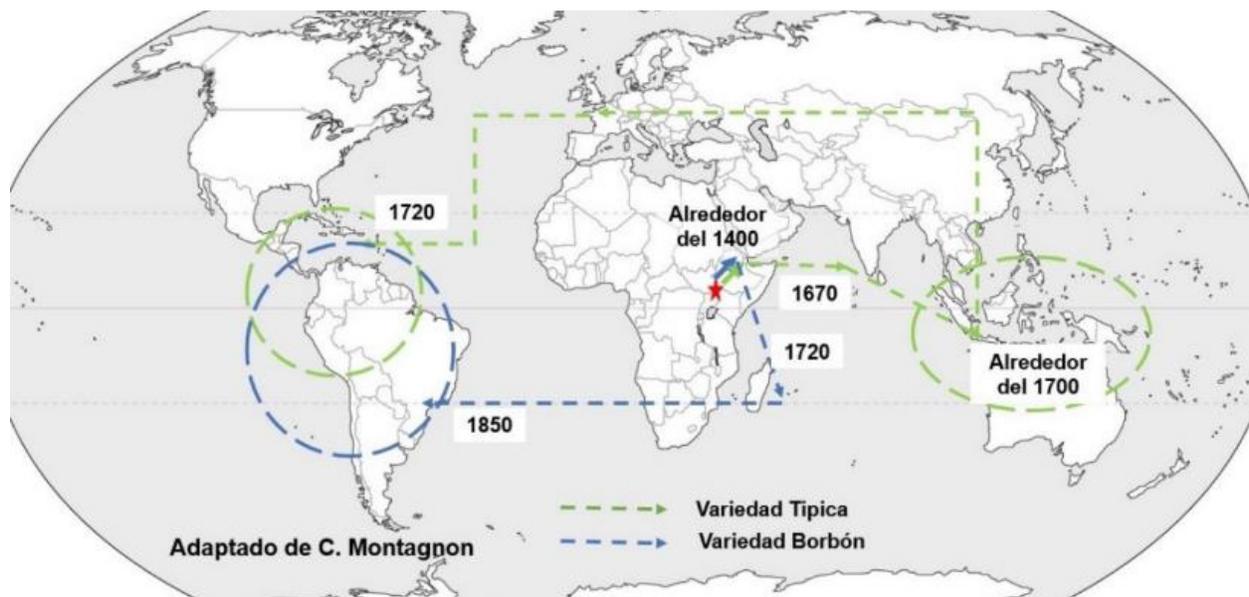


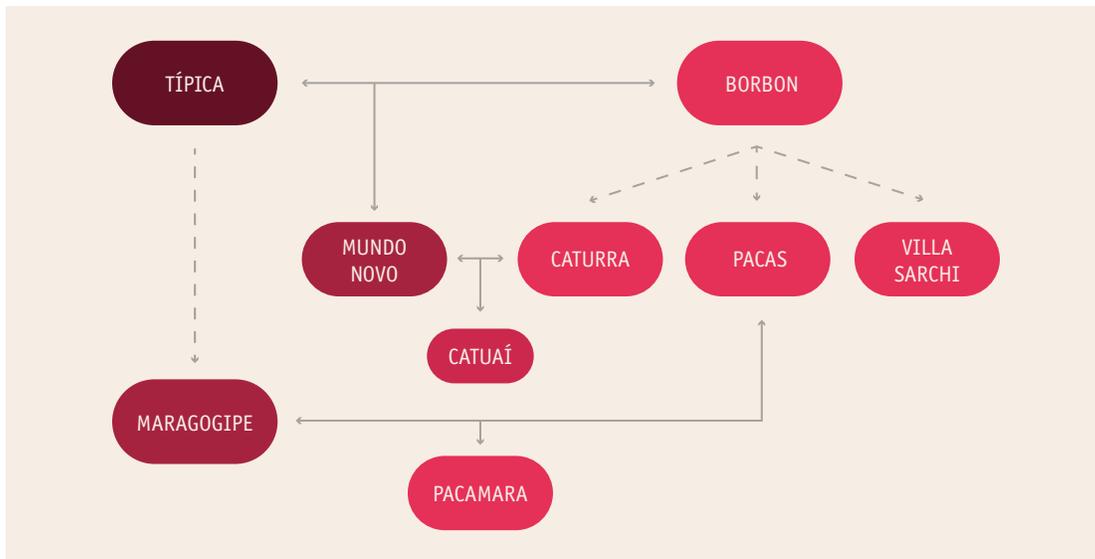
Figura 4. Rutas hacia América de las variedades Típica y Borbón desde Etiopía el país de origen marcado con una estrella roja (adaptado de Montagnon).

### Variedades originadas a partir de las primeras variedades

De Típica y Borbón se originan más tarde otras variedades por mutación natural, cruzamiento natural o cruzamientos realizados por el hombre (figura 5). El Maragogipe surgió por mutación natural de Típica, en Brasil en 1870. Esta variedad es de porte más alto que Típica y posee frutos y granos más grandes.

También en Brasil ocurrió un cruzamiento natural entre plantas de Típica y Borbón generando lo que luego sería la variedad Mundo Novo. Por aparte, del Borbón surgen por mutación natural las variedades de porte bajo, Caturra en Brasil, Pacas en El Salvador y Villa Sarchí en Costa Rica.

Plantas de Mundo Novo y Caturra fueron cruzadas en Brasil para obtener la variedad Catuaí. En otro trabajo realizado en El Salvador cruzaron plantas de Maragogipe con Pacas para crear la variedad Pacamara.



**Figura 5.** Variedades originadas a partir de las primeras variedades Típica y Borbón, por cruzamiento natural, cruzamientos dirigidos y mutación natural.

Las variedades originales Típica y Borbón no eran resistentes a la roya. Por lo tanto, ninguna de las variedades que se originaron de ellas, presentaría resistencia a esta enfermedad, como ya se sabía. Lamentablemente, su susceptibilidad fue evidenciada más claramente frente a la epidemia de la roya de los años 2011-2012, observada en México, Centroamérica, el Caribe y algunos países de Sudamérica.

El impacto primario de la epidemia de la roya se evidenció en la disminución de las producciones de café Arábico en la mayoría de los países Latinoamericanos, en relación con los siguientes factores: predominancia del cultivo de variedades susceptibles, condiciones climáticas adversas al cultivo y favorables a la enfermedad, bajos precios internacionales del café, y poca inversión en el mantenimiento de las plantaciones debido a los bajos precios del café.

Luego de iniciado este período epidémico de la roya, en la mayoría de las plantaciones fue evidente el impacto de la enfermedad, observándose fuertes defoliaciones, caída de frutos y frutos que no completaron su maduración. La recuperación de las plantaciones fue un proceso lento porque el impacto trascendió a los siguientes años, en períodos variables dependiendo de la capacidad de inversión de los productores y del clima.

Las observaciones de campo indicaban que los mayores impactos en variedades susceptibles correspondían a plantaciones envejecidas de las variedades Típica y Borbón, con escasa o nula fertilización. Las plantaciones de Caturra y Catuaí con poco manejo también fueron afectadas de manera significativa, aunque relativamente menos que las anteriores citadas. En la mayoría de los casos, la recuperación de los cafetales con variedades susceptibles se hizo a través de la poda y control químico preventivo.

Muchos de los productores vinculados a mercados de café de calidad han optado por conservar las variedades tradicionales susceptibles a la roya, siendo éstas plantadas a mayores altitudes. Esta convivencia es viable siendo básicamente un tema de rentabilidad a través de un adecuado manejo agronómico y un precio que reconozca la calidad.



**Fotografía 6.** Aspecto de una planta de café afectada por la roya, con una fuerte defoliación y frutos secos que no pudieron madurar.

## Variedades tolerantes a la roya

Antes de la epidemia de la roya, en la región del Trifinio muchos productores ya cultivaban Catimores debido a su vigor, precocidad y alta producción. En Honduras se cultivaba el Catimor Lempira y en Guatemala poblaciones del Catimor T-5175. Estos Catimores presentaban en general calidad de taza inferior a variedades como Caturra, Catuaí y Pacas. La baja calidad de taza del Catimor T-5175 en particular, creó la idea generalizada que todas las variedades resistentes a la roya tenían limitaciones de taza. Luego otras variedades resistentes que fueron surgiendo posteriormente mostrarían mejores calidades de taza.

La fuente de resistencia genética a la roya más utilizada proviene del Híbrido de Timor, que tuvo su origen en un cruzamiento espontáneo entre una planta de Típica (susceptible) y una de Robusta (resistente), identificada alrededor de 1917 en la isla de Timor Oriental en el Océano Indico.

Inicialmente se crearon tres grupos a partir de cruzamientos de tres diferentes cafetos del Híbrido de Timor con variedades susceptibles de porte bajo: Caturra, Villa Sarchí y Caturra Amarillo. Dos cruzamientos fueron realizados en Portugal en el CIFC, y un tercero en el Centro de Investigaciones del Café (Cenicafé) de Colombia (figura 6).

Por otra parte, en Brasil realizaron cruzamientos entre líneas de Catuaí y diferentes Híbridos de Timor, generando un cuarto grupo denominado Cavimores.



Figura 6. Grupos de variedades derivadas de cruces con diferentes Híbridos de Timor

También hay otras variedades denominadas Híbridos F1 que provienen del cruzamiento entre plantas de Arábicas silvestres y plantas de variedades de Sarchimor, Caturra y otras. Uno de los híbridos más difundidos en la región es el “Centroamericano” o “H-1”, que es muy productivo y de excelente calidad de taza. Estos híbridos deben reproducirse de manera vegetativa para conservar las buenas características de los dos padres. Al reproducirse por semilla no se obtendrían los mismos resultados debido a la segregación. En una etapa inicial la producción de plantas de híbridos se realizaba únicamente en laboratorios de cultivo de tejidos, pero actualmente varias empresas de viveros ofrecen plantas de almácigo de híbridos obtenidos a partir de estaquillas de brotes injertadas sobre portainjertos de Robusta, lo cual ha facilitado su difusión. Las plantas injertadas sobre Robusta podrían expresar restricciones de desarrollo en zonas más altas y frías debido a limitaciones de las raíces de Robusta por condiciones de su propia genética. Se podría explorar la utilización de portainjertos de semillas de variedades de Arábica en zonas de mayor altitud donde no existan problemas de nematodos.

Existen otras variedades del grupo Catucaí que resultan del aprovechamiento de un cruzamiento natural entre plantas de las variedades Icatú y Catuaí, con moderada resistencia a la roya, tienen bastante vigor y elevada productividad.

Se conoce que la resistencia de la mayoría de las variedades derivadas del Híbrido de Timor es poco durable en el tiempo, y que paulatinamente estas variedades resistentes serían afectadas por nuevas razas de roya. Es difícil predecir cuándo ocurrirá y en qué variedades primero, pero esta situación no debe limitar la utilización de dichas variedades que poseen otras características importantes como el vigor vegetativo y alta productividad; además, algunas tienen buena calidad de taza.

### Comentarios y recomendaciones

En general las variedades tolerantes a la roya han mostrado una mayor tolerancia al estrés por sequía y también una recuperación más rápida a otros tipos de estrés fisiológico. Si bien, esta mayor capacidad de adaptación a la variabilidad y cambio climático no fue un objetivo específico durante los procesos de creación y desarrollo de las variedades resistentes, dicha característica brinda una ventaja importante para su utilización. Sin embargo, se debe reconocer que la variedad seleccionada requerirá adicionalmente un adecuado manejo agronómico para la expresión de su potencial.

La variabilidad climática, intensificada por el cambio climático, plantea la necesidad de disponer de variedades más vigorosas y tolerantes a condiciones adversas, como el incremento de la temperatura ambiente y períodos de sequía más prologados. Dentro de las variedades resistentes se han identificado materiales con esas características.

Históricamente el cambio y adopción de nuevas variedades ha respondido a decisiones del productor en búsqueda de una mayor producción y rentabilidad. El comportamiento epidémico de la roya a partir del año 2012 sumado a la manifestación de una variabilidad climática intensificada por el cambio climático, plantearon la importancia de la adopción de variedades resistentes a la roya y a la vez, resilientes, para poder enfrentar estos desafíos y lograr una actividad rentable y sostenible.

Existen nuevas variedades con el potencial requerido para enfrentar los actuales desafíos, siendo necesario que su divulgación siga procesos ordenados de validación en campo, con estudios de adaptación y calidad de taza, trazabilidad de las semillas y garantías de la autenticidad de las variedades, además del respaldo de una buena calidad física y fitosanitaria de las plantas de vivero.

Las variedades tradicionales pueden seguirse cultivando y conservar sus nichos de mercado especial, sin embargo, el productor debe llevar un manejo integrado de roya y por lo tanto recibir el precio diferenciado correspondiente a este tipo de café y sistema de cultivo, para que, igualmente, se asegure su rentabilidad.



**Fotografía 7.** Planta de la variedad Parainema, Honduras.



**Fotografía 8.** Planta de Catucaí Amarelo SL2 de frutos amarillos, Honduras.

### 3 | La producción de plantas en el vivero

La calidad física y sanitaria de una planta de vivero es de vital importancia para obtener una buena respuesta de las plantas a partir de su establecimiento en el campo definitivo. Todo se inicia con la decisión sobre la variedad que va a sembrarse y de las semillas que pueden provenir de la propia finca del productor, si han sido establecidas con semilla certificada o ser adquiridas en otro sitio preferiblemente de fuentes certificadas. Es muy importante conocer el origen de las semillas y de la variedad ya que se está haciendo una inversión de largo plazo, de 20 a 25 años de vida útil, con la renovación del cafetal o una nueva plantación.

No es la intención desarrollar aquí un capítulo sobre la preparación de plantas de café en viveros, pero sí de insistir en las etapas críticas y algunos cuidados básicos para completar esta etapa y llevar al campo plantas de vivero en óptimas condiciones.

En muchos casos en la región se comercializa semilla y plantas de las cuales no se dispone de la trazabilidad desde el origen y se desconoce la pureza genética de las variedades usadas.

Se recomienda que la semilla de la variedad elegida proceda de lotes semilleros registrados o certificados por las autoridades locales, o de productores que puedan respaldar el origen y la calidad de la semilla, para asegurar que la variedad provenga de una fuente confiable y que posea la homogeneidad y estabilidad requerida.

**Los semilleros** deben establecerse en tablones con sustratos arenosos o de textura franca con buen drenaje y buena aireación que facilite la germinación de la semilla y el buen crecimiento de las raíces. El sustrato debe estar libre de piedras y terrones que afecten el crecimiento normal de las raíces. Además, debe realizarse una desinfección para evitar problemas de ataques de enfermedades y plagas en los semilleros de café. Un método simple es usar agua hirviendo con 2 galones por metro cuadrado de tablón un día antes de la siembra de las semillas. Se recomienda atender los consejos técnicos de las instituciones nacionales de cada país, sin embargo, debe asegurarse la efectividad del control mediante revisiones periódicas.

**El vivero o almácigo** es el lugar donde permanecen las plántulas de café procedentes del semillero hasta alcanzar el desarrollo óptimo para su trasplante al campo. La sombra es necesaria para la protección del almácigo, en el caso de sombra natural puede utilizarse crotalaria, gandul o tefrosia la cual debe sembrarse 4 meses antes para que genere sombra, o sombra artificial usando enramadas con hojas de algunas especies vegetales, por ejemplo, *Pteridium aquilinum* "Helecho águila" o sarán. Es recomendable utilizar entre las calles aserrín o viruta, la misma permitirá reducir la temperatura del suelo (reduciendo entonces el número de riegos) y las limpias.

**El tipo de sustrato** está relacionado con el sistema de almácigo, en el caso de bolsas de polietileno la textura debe ser franco-arenosa, puede mezclarse 70% de tierra negra fértil, 10-20% de material orgánico descompuesto y 10-20% de arena, la mezcla debe tamizarse con un cedazo de ¼ de pulgada para un adecuado desarrollo de las raíces posteriormente. El sustrato debe desinfestarse por algún método químico o físico para la eliminación de patógenos e insectos



**Fotografía 9.** Todo comienza con la certeza que las semillas provengan de sitios y proveedores confiables.



**Fotografía 10.** Tablón de semillero en la etapa de "soldadito" listo para el trasplante a bolsa o tubete.

plaga. En el sistema de tubete se utilizan sustratos inertes como “peat moss”, o mezclas que incluyen suelo franco, arena, lombricompost o abono de fibra de coco.

**La densidad de plantas en el vivero** o cantidad de plantas por metro cuadrado tendrá influencia en la calidad final de las plantas. Para el caso de plantas pequeñas de hasta 4 meses en vivero, puede establecerse una densidad alta de 60 a 80 plantas por metro cuadrado. En plantas que permanecen en el vivero hasta 6 meses la densidad debe ser de 40 a 60 plantas por metro cuadrado. Para plantas de mayor tamaño que durarán más de 6 meses en vivero se recomiendan densidades de 30 a 40 plantas por metro cuadrado.

**El trasplante de semillero a bolsa o tubete** es una etapa clave, debe realizarse preferiblemente en la etapa de “soldadito” seleccionando las plantas sanas, de buen tamaño y buena raíz con la pivotante recta y sin defectos. En caso de que la raíz pivotante sea muy larga, debe cortarse la punta para que no quede doblada y forme el defecto “cola de coche”. El corte no debe exceder del 20% del largo de la raíz porque puede inducir la formación de raíces bifurcadas. La planta debe quedar sembrada a nivel del cuello de la raíz con lo cual se evitan daños mecánicos o ingreso de enfermedades.

**Tamaño de las bolsas.** El criterio del tamaño de las bolsas de polietileno tiene una estrecha relación con la edad programada para el vivero, que en general sería de 6 meses o de 12 meses. Los viveros de 6 meses tienen la ventaja de bajar los costos de producción y transporte al campo. Sin embargo, para zonas influenciadas por la sequía se puede considerar la ventaja de usar plantas de vivero de 12 meses sembradas en bolsas más grandes. La Iniciativa c&c refiere la experiencia de una opción de adaptación individual en Brasil, usando bolsas para vivero de mayor longitud en zonas identificadas con problemas de sequía. Las plantas permanecieron 6 meses adicionales en el vivero, con un precio mayor de plántula, pero la mortalidad en campo un año después se redujo 20% comparada con plantas de 6 meses de vivero y bolsa más pequeña.

**Control de calidad.** En los casos que las plantas se compran a un vivero comercial se recomienda tomar previamente 10 plantas al azar para revisar su aspecto general y que las raíces estén sanas y sin defectos. Las plantas deben tener la raíz pivotante recta y una buena cantidad de raíces absorbentes. Si hubiera plantas con el defecto de raíz de “cola de coche” o “cola de chancho”, o raíces torcidas debe descartarse esta compra.



**Fotografía 11.** Detalle de “soldaditos” en tubete recién trasplantados.



**Fotografía 13.** Detalle de una planta con la raíz pivotante torcida.



**Fotografía 12.** Detalle de 10 plantas de almácigo tomadas al azar para revisar la salud y desarrollo de las raíces.

Para el **trasplante a campo definitivo** de las plantas obtenidas en tubete la edad recomendada es cuando la planta tiene de 5 a 6 meses y una altura promedio entre 18 y 20 centímetros, sin formación de cruces. El trasplante al campo de cualquier tipo de planta de vivero debe realizarse al inicio de la temporada de lluvias, evitando hacerlo durante los períodos cercanos a la canícula, en particular en años “Niño” en las regiones más secas.

Una planta de vivero con defectos en las raíces que es llevada a campo mostrará problemas en el follaje durante la estación seca o al iniciar la producción.



**Fotografía 14.** Plantas de vivero en bolsa de polietileno, edad 12 meses, preparadas para trasplante a campo.



**Fotografía 15.** Planta mostrando problemas en su follaje con hojas cloróticas y pequeñas debido a raíces defectuosas desde el vivero.

## 4 | Prácticas de adaptación

### 4.1 El injerto

La práctica del injerto se inició como un método para el control de los nematodos, que es una plaga de las raíces del café. Esta plaga afortunadamente no está presente en todos los cafetales, pero en aquellos cafetales donde hay nematodos pueden provocar muchos daños a las raíces del café, e incluso la muerte de las plantas. Los nematodos no son visibles a simple vista, pero al ser observados en un laboratorio tienen la apariencia de pequeñas lombrices delgadas transparentes.

Existe el grupo de nematodos “agalladores” que forman una especie de agallas pequeñas y medianas en las raíces secundarias y en las raíces más finas. También hay otro grupo denominado como los nematodos “lesionadores” que provocan la pudrición y pérdida de las raíces más finas; al continuar el daño la raíz se va pudriendo hasta que la planta se muere.

En Guatemala las primeras pruebas sobre la injertación de café se hicieron en 1947. En 1962 ya se tenían resultados concluyentes, identificándose al Robusta como un café resistente y tolerante a los nematodos. A partir de 1964 la ANACAFÉ de Guatemala impulsó la práctica de injertación usando el Robusta como portainjerto o patrón de las variedades de Arábica. En la actualidad se continúa recomendando esta práctica como la base del control de los nemátodos.

En Guatemala durante muchos años se ha utilizado semilla de Robustas sin selección especial para los injertos, obteniéndose buenos resultados. Sin embargo, para poder controlar a un subgrupo de los nematodos “agalladores”, que son muy agresivos, fue necesario hacer una selección dentro de los Robustas, hasta obtener el Robusta Nemaya.

En lo que respecta a los nematicidas químicos la investigación ha demostrado que estos productos son poco eficientes para controlar a los nematodos en los cafetales, además de ser productos muy tóxicos y peligrosos para las personas que los aplican, por lo cual no se recomienda su utilización en plantaciones de café.

Durante muchos años la práctica del injerto se ha realizado principalmente en los países con zonas afectadas por los nematodos, sin embargo, la idea de aprovechar el crecimiento de las raíces del café Robusta, que es más amplio y vigoroso, hizo pensar que el injerto también podría funcionar dando mejores raíces a las plantas injertadas aun en zonas sin problema de nematodos.

El injerto permitiría por ejemplo adaptarse mejor en el caso de zonas de lluvia deficiente, sequías prolongadas y altas temperaturas, suelos pobres y suelos pesados. Por esta razón se iniciaron pruebas con la injertación en otras zonas y países adoptándola como una “buena práctica agrícola”, y actualmente como una “práctica de adaptación” al cambio climático.

Para las zonas donde no hay problema de nematodos se podrían utilizar semillas de Robusta convencional, sin selección especial, para el injerto, ya que básicamente solo se estaría aprovechando el vigor natural de este tipo de café en el desarrollo de las raíces.



Fotografía 16. Detalle de una planta injertada

## A| Implementación de la práctica

El procedimiento para realizar el injerto se indica a continuación:

- » El tipo de injerto que se usa es de cuña, a este método se le conoce como injerto Reyna en reconocimiento al Agrónomo guatemalteco Humberto Reyna, pionero en la injertación del café.
- » Entre 45 y 60 días después de colocada la semilla en semilleros las plantas llegan al estado de soldadito o fosforito. La siembra de las semillas de Robusta se anticipa entre 8 y 10 días, de acuerdo a la altitud que se ubica la finca.
- » Se arrancan del semillero cuidadosamente las plantas del café Robusta y las plantas de la variedad de Arábica. Se lavan las raíces y luego se colocan en recipientes donde permanecerán durante el proceso de injertación. Debe disponerse de recipientes separados para plantas de Robusta y de Arábica.
- » Se toma una planta del patrón Robusta eliminando la parte aérea de la planta y se hace un corte longitudinal de una pulgada de largo. Este corte debe de quedar centrado.
- » Después se toma una plántula en estado de soldadito de la variedad de Arábica a injertar. Se hace un corte de una pulgada en forma de cuña descartando sus raíces en el proceso, y conservando la parte aérea de esta plántula.
- » Se realiza el vendaje utilizando cinta autoadherible Parafilm “M” que sustituyó al vendaje tradicional con cinta nylon. La cinta Parafilm facilita la ejecución del proceso: proporciona un amarre sólido evitando la entrada de agua que puede propiciar el desarrollo de hongos, mejora el rendimiento de injertos por persona, y no es necesario quitar el vendaje porque el material se degrada entre los 60-70 días después de realizado el injerto, cuando el mismo ha pegado. En casos de no disponer de cinta Parafilm puede utilizarse la cinta nylon tradicional.
- » Inmediatamente después de realizado el injerto las plantas pueden trasladarse directamente a las bolsas de almácigo, o hacia un propagador que es una estructura similar a la de un semillero. Esta etapa dura entre 45-50 días. En esta segunda opción con propagador las plantas se trasladan a las bolsas de almácigo cuando el injerto ya está pegado. El objetivo de estos propagadores es darles condiciones de una aclimatación controlada a las plantas recién injertadas, aunque en las zonas con experiencia acumulada en injertación se está descartando como práctica. De todas maneras, el uso de propagador se recomienda en zonas donde la fase de pegue del injerto coincide con períodos climáticos muy secos y cálidos, o también muy fríos.

- » El manejo agronómico de la planta injertada en la fase de almácigo es similar al de una planta no injertada.
- » Los materiales que se utilizan para injertar son: hoja de afeitar o cuchilla, cinta Parafilm "M", envases, una solución con fungicida en los envases conteniendo las plantas durante el proceso de injertación.
- » La actividad de injertación puede representar una oportunidad importante para involucrar a jóvenes y mujeres en la profesionalización de esta labor y de la participación de los mismos en la cadena de café.



Fotografía 17. Secuencia del proceso de injertación. Fotografía Ing. Jaime López / ANACAFÉ

## B| Avances y resultados

En los estudios de la Iniciativa c&c la práctica del injerto se estableció como una "práctica de adaptación" a través de evaluaciones realizadas en diferentes lugares.

En el Centro de Capacitación del IHCAFE en Corquín, Honduras, se estableció una parcela de validación con "prácticas de adaptación" que integra las siguientes: aplicación de yeso, sombra temporal, injerto, cambio de distanciamiento y uso de cobertura. Esta parcela incluye un grupo de plantas sin injerto para poder comparar el crecimiento y producción entre plantas injertadas y no injertadas. Se tiene además otro grupo de plantas considerado como testigo cercano a la parcela, las cuales no reciben ninguna de las "prácticas de adaptación".

Las pruebas de injertación se iniciaron en el año 2015. En los datos de crecimiento más recientes las plantas injertadas mostraron mayor desarrollo en altura y ancho que las plantas no injertadas, sin embargo, tanto las plantas injertadas como las no injertadas tuvieron una producción muy parecida en la cosecha 2018-19. Las plantas testigo (sin "prácticas de adaptación" y sin injerto) presentaron menor crecimiento y la cosecha fue casi una tercera parte de la obtenida con las plantas que recibieron las prácticas de adaptación, ya sean injertadas o no injertadas. En la tabla 2 se comparan los datos de crecimiento de las plantas y la productividad expresada en quintales oro por hectárea (qq oro/ha) y su equivalencia en quintales pergamino por manzana (qq per/mz).

Tabla 2. Crecimiento y productividad promedio de plantas con prácticas de adaptación con y sin injerto, y plantas sin prácticas de adaptación y sin injerto. IHCAFE, Corquín, Honduras.

Descripción	Plantas injertadas con prácticas de adaptación	Plantas sin injerto con prácticas de adaptación	Plantas testigo, sin injerto y sin prácticas de adaptación
Altura de planta, m	1.60	1.54	1.24
Diámetro de planta, m	1.66	1.59	1.25
Productividad, qq oro/ha	59.4	59.6	22.6
Productividad qq per/mz	51.9	52.0	19.7

En otra parcela los datos de crecimiento mostrados en la tabla 3, medidos en mayo de 2019, no demuestran diferencias importantes. Las plantas sin injerto son un poco más altas, y en lo que respecta al ancho las plantas con injerto y sin injerto son casi iguales.

Tabla 3. Datos de crecimiento de altura y ancho de plantas con injerto y sin injerto, Honduras.

Descripción	Plantas con injerto	Plantas sin injerto
Altura de planta en metros	1.45	1.52
Ancho de planta en metros	1.31	1.30

Los resultados de la práctica de injertación obtenidos hasta ahora en las parcelas de adaptación muestran resultados, ya sea equivalentes a las plantas sin injerto, o de desventaja de los injertos en relación con las plantas sin injerto, en otros casos. Estos resultados, que en un principio resultan contradictorios, deberán ser evaluados en otras situaciones y a lo largo de los años, pues es de suponer que la raíz de Robusta, más fuerte y vigorosa, contribuya a la resiliencia de los cafetos ante eventualidades climáticas más adversas.

El injerto sobre Robusta podría tener una limitación para zonas de mayor altitud que son más frías. Se conoce que el café Robusta es originario de zonas bajas cálidas y húmedas del África, entonces mismo que sea la parte de las raíces del Robusta las que se usan en el injerto, el desarrollo de una planta injertada sobre Robusta convencional o sobre un Robusta seleccionado como Nemaya, no tendrían un crecimiento y productividad satisfactorios en zonas de mayor altitud.

La práctica del injerto es nueva en las zonas de intervención de la Iniciativa c&c en el Trifinio, por lo que se necesitará de tiempo para que dicha práctica se vaya incorporando como una actividad de rutina, ejecutada con la destreza que brinda la experiencia. Así ha sido el proceso de la injertación cuando se ha introducido en nuevas zonas como práctica.

Actualmente se conducen otras evaluaciones que incluyen diferentes combinaciones de variedades de Arábica y portainjertos de Robusta convencional, Robusta Nemaya y Liberica, con el objetivo de estudiar la compatibilidad y desarrollo de las plantas. Los avances y resultados se presentarán en futuras publicaciones de la Iniciativa c&c.

### Costos de implementación

A continuación, se muestra el costo para implementar la práctica de injertación calculada para una manzana de terreno con una densidad de 3,500 plantas por manzana. Los datos provienen de la parcela del IHCAFE, Corquín, Honduras.

**Tabla 4.** Costos para la implementación de la práctica de injerto. IHCAFE. Honduras.

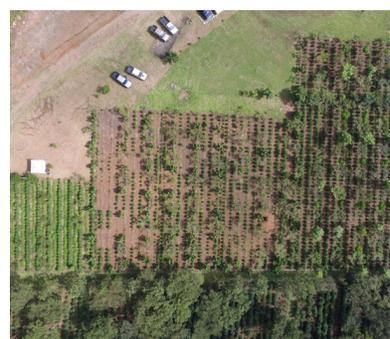
Descripción	Cantidad	Costo unitario USD	Costo total / hectárea USD
Injertos	3500	0.21	1,051
No injertos	3500	0.1	501

### C| Recomendaciones

La práctica de injertación puede ser de interés y utilidad para zonas con limitaciones de lluvia, sequías prolongadas y altas temperaturas, sin embargo, se recomienda por ahora en la región del Trifinio, hacer pruebas de pequeña escala para evaluar su adaptabilidad y efectividad a nivel de finca y zona durante varios años y cosechas antes de su utilización a mayor escala. Además, hay que considerar que el injerto podría tener limitaciones de desarrollo en zonas frías de mayor altitud, arriba de los 1,220 o 1,370 msnm.



**Fotografía 18.** Plántulas en proceso de injertación. A la izquierda variedad de Arábica, a la derecha café Robusta, y al centro la primera planta injertada.



**Fotografía 19.** Imagen aérea de la parcela de evaluación de plantas injertadas versus plantas sin injerto, IHCAFE, Corquín, Honduras.

## 4.2 Uso de biochar en vivero

El biochar es el carbón vegetal producido de manera especial a partir de biomasa vegetal, tal como residuos de podas de árboles de sombra y residuos del raleo de árboles, para su aplicación en agricultura sostenible. Es el carbón formado durante un proceso que se llama pirólisis, la cual consiste en el calentamiento a altas temperaturas de la biomasa vegetal en ausencia de oxígeno, produciendo muy poco humo y contaminación.

Desde hace mucho tiempo se ha utilizado el carbón vegetal en la agricultura, los indígenas del Amazonia en Brasil crearon un suelo de gran productividad conocido como tierra negra amazónica, que entre otros componentes contenía carbón vegetal. La forma tradicional de producir carbón vegetal genera mucho humo y contaminación. Este carbón una vez triturado y tamizado podría utilizarse también como mejorador del suelo, pero no es el biochar.

El biochar de origen vegetal es un mejorador de suelos con alto contenido orgánico y de elevada porosidad, con unas capacidades de retención de agua y nutrientes relativamente altas. Cuando se incorpora al suelo se mejoran muchas de las propiedades físicas y químicas de los suelos y se estimula el desarrollo y actividad de los microorganismos encargados de transformar los residuos orgánicos. El biochar también contribuye para la reducción de los efectos del cambio climático ya que es un reservorio de carbono, con potencial para fijar gases de efecto invernadero, causantes del cambio climático global.

La aplicación de biochar se traduce en mejor desarrollo radicular y vegetativo de las plantas con lo cual se aumenta la tolerancia a la sequía. También se obtiene mayor rendimiento de los cultivos por sus efectos en la fertilidad del suelo. Su aplicación es recomendada para mejorar la calidad de los sustratos en vivero. La producción de un vivero de alta calidad es vital para asegurar el desarrollo de la planta en sus primeras etapas. En determinadas regiones el sustrato utilizado puede estar deficiente en nutrientes y con poca capacidad para retener humedad, por lo tanto, agregar al sustrato un compuesto como el biochar puede contribuir al mejor crecimiento de las raíces de las plantas en el vivero. Estas plantas al ser llevadas a campo tendrán mejor pegue y sobrevivencia luego del primer verano o estación seca y una vida más productiva.

### A| Implementación de la práctica

#### Elaboración del biochar

La materia prima para la producción del biochar consiste en los residuos maderables provenientes de las podas del café y de los árboles de sombra. Estos deben ser cortados en pedazos de unos 50 centímetros.

Se selecciona un área, de unos 5 x 5 metros, la cual se limpia con azadón, y en ellas, se procede a construir una plataforma de piedra o pedazos de tejas con una circunferencia de 0.70 metros. Los residuos maderables se apilan ordenadamente alrededor de esta estructura formando un cono, tratando de no dejar espacios entre sí. En el centro de esta estructura se debe dejar un agujero de unos 20 centímetros, a través del cual, se verterán las brasas que iniciarán el proceso térmico.

Al terminar de apilar la madera, se cubre con pasto seco en su totalidad y se amarra con cuerdas al contorno, las que servirá como punto de apoyo para sostener las estacas. Se procede también a colocar una tapa de lámina en la cima de la estructura.

Para iniciar el proceso de la combustión se levanta la lámina, se dejan caer brasas al interior y se procede a cubrir completamente con suelo para obtener una estructura donde circule poco oxígeno en el interior. Al finalizar la combustión, se extrae el biochar, se tritura y tamiza a través de una malla metálica, quedando pronto para su utilización. Existe una amplia gama de equipos para producir biochar de sofisticación tecnológica y escala de producción muy variable,

relacionada directamente con su costo. En la evaluación realizada por la Iniciativa c&c se utilizó un proceso adaptado y de relativo bajo costo. Otros equipos podrían ser evaluados en futuras pruebas.



**Fotografía 20.** Proceso de elaboración del biochar. A: apilamiento de los residuos; B: cobertura con pasto; C: adición de las brasas; D: Obtención del producto final.

### Elaboración del sustrato para vivero

El biochar puede ser utilizado en la elaboración de sustratos para los viveros de café o para mezclarlo con abonos orgánicos y aplicarlo durante el trasplante al campo definitivo. El sustrato para el vivero de café puede estar constituido por la mezcla de biochar, materia orgánica, suelo y arena. El biochar puede ser adicionado en proporción de 5, hasta 10 % de la mezcla. Cuando se utilice arenilla de río puede mezclarse 25% de biochar y 75% de arenilla de río. Una vez mezclado, estará listo para el llenado de bolsas en el vivero.

### B| Avances y resultados

Una de las principales pruebas realizadas con biochar se inició en octubre de 2016, en la cual el sustrato para el llenado de bolsas tuvo una proporción de 25% de biochar y 75% de arenilla de río. Antes del trasplante a campo definitivo se evaluó el efecto del biochar tomando los datos de crecimiento de las plantas: altura, ancho, peso total de la planta, pesos de la raíz y peso de la parte aérea o follaje. Las plantas con biochar 25% tuvieron un mayor peso total, peso de área foliar y de raíz (Figura 7).

Las mediciones de crecimiento continuaron en el campo, y en septiembre de 2019 las plantas con tratamiento de biochar 25% mostraron de nuevo un mayor desarrollo en altura y ancho, que se observa en la figura 8.



**Fotografía 21.** Materiales utilizados en la preparación del sustrato para vivero.

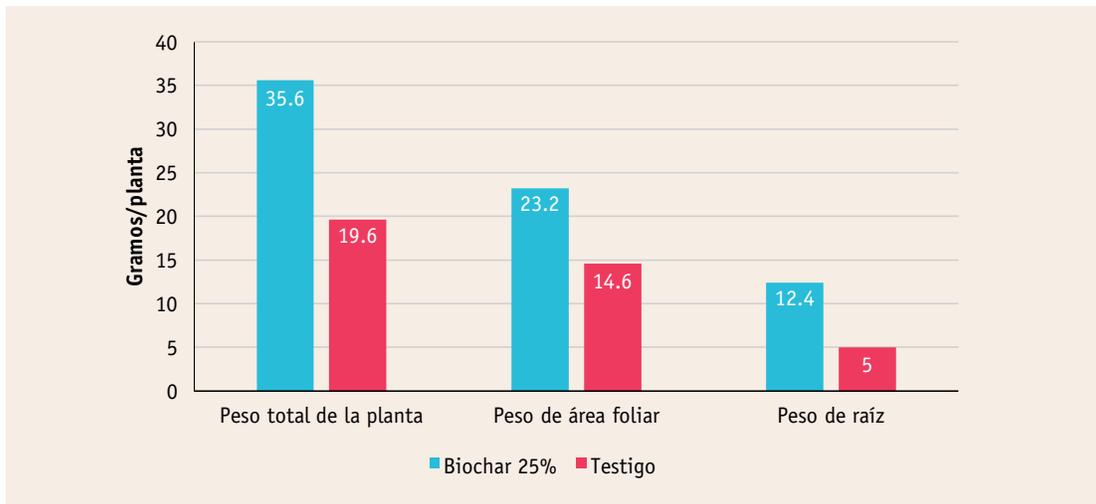


Figura 7. Comparación del peso de plantas con biochar 25% y plantas testigo.

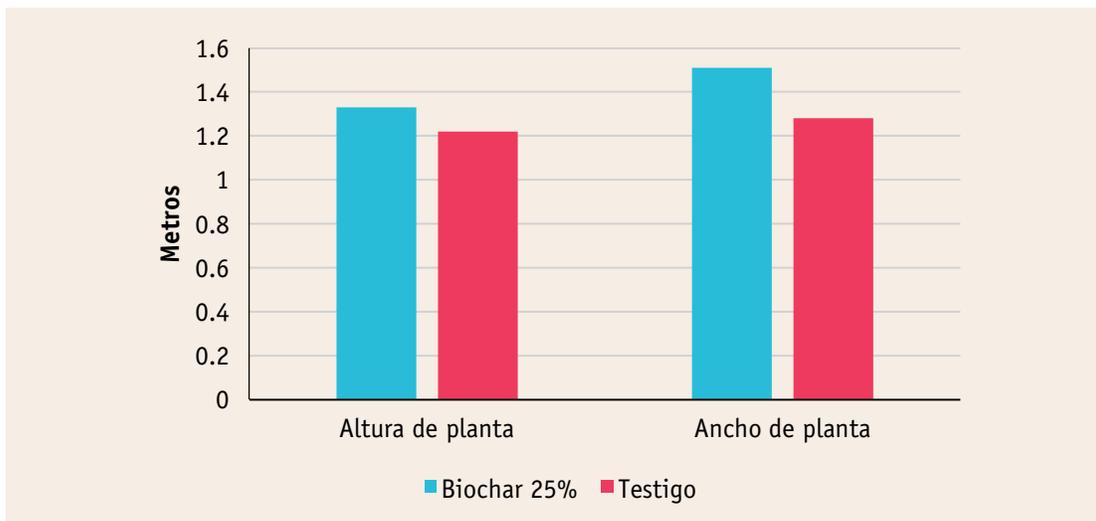


Figura 8. Comparación del crecimiento de plantas con biochar 25% y plantas testigo. Septiembre, 2019.

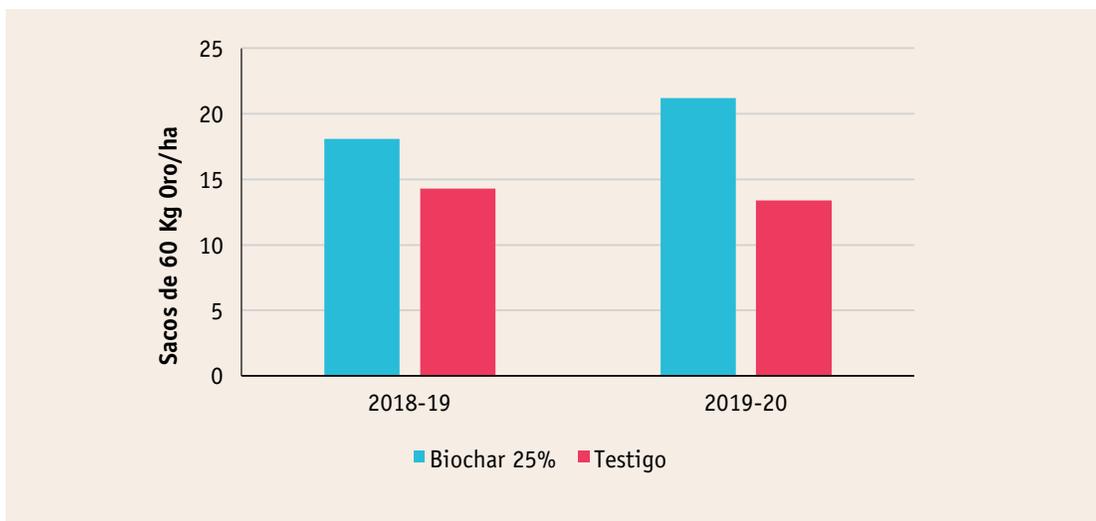
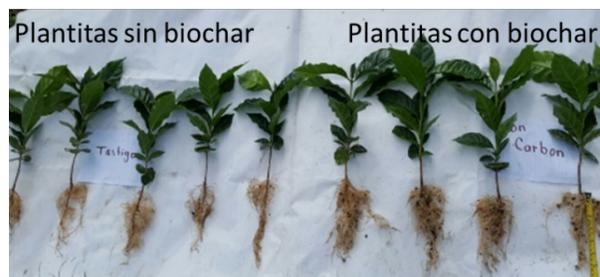


Figura 9. Producción de café en plantas tratadas con biochar 25% y plantas testigo.

Los datos de la cosecha 2018-19 y el pronóstico de cosecha 2019-20 muestran en la figura 9, que se mantiene la ventaja en la productividad de las plantas con biochar 25%. Esta mejor productividad en las plantas con biochar se puede explicar por el efecto benéfico del biochar desde la etapa de vivero, lo cual permitió un mejor crecimiento de las raíces y del follaje de la planta. Luego en el campo esas buenas condiciones favorecieron que estas plantas continuaran desarrollándose vegetativamente de mejor manera comparadas con las plantas testigo sin biochar.



**Fotografía 22.** Efecto del biochar sobre el sistema radicular de plantas de café en vivero.

En otra evaluación con 35% de biochar en el sustrato las plantas testigo sin biochar tuvieron el mejor crecimiento. Esto indica que un exceso de biochar en el sustrato podría tener un efecto negativo. Además, debe tenerse en cuenta los otros compuestos del sustrato, en especial la materia orgánica.

### Costo de la implementación

El costo parcial del biochar es de USD 0.05 por kilo, USD 0.005 por planta. Proyectado a una hectárea el costo equivale USD 23.25. Adicionalmente hay que agregar los costos relacionados con la disposición del material de la poda de árboles de sombra y otros materiales vegetales secos de la finca, más los jornales de la preparación del sustrato y llenado de bolsas.

### C| Recomendaciones

En casos donde se utilicen otros materiales para el sustrato, como materia orgánica y otros tipos de suelos deben realizarse pruebas preliminares para determinar el porcentaje de biochar más conveniente a usar en la mezcla. En lugares con altas precipitaciones no sería recomendable utilizar dosis ni medias, Dosis altas pueden fijar los nutrientes creando desbalances en la planta, además de propiciar un sustrato muy húmedo lo cual es favorable para pudrición de raíz y desarrollo de enfermedades fungosas.

Se recomienda evaluar otras proporciones de biochar en la elaboración de sustratos para el vivero, aunque la dosis a emplear va a depender de la cantidad de biochar que el caficultor esté en capacidad de producir. Se recomienda no exceder del 25% de biochar en las mezclas.

## 4.3 Aplicación de organismos benéficos

Todas las plantas cultivadas, así como aquellas que se desenvuelven en sistemas naturales, viven en una estrecha relación con los microorganismos del suelo. Éstos se encargan de la descomposición de materiales orgánicos que los vegetales formaron durante su vida y que han sido devueltos al medio al finalizar el ciclo vital. Pero esta función de los microorganismos del suelo es apenas una, de muchas otras que ellos realizan en su continua interacción con las plantas.

En el suelo cercano a la raíz se establecen miles de colonias de microorganismos que aprovechan los exudados liberados por las plantas, para su propio crecimiento y propagación. A su vez, los microorganismos liberan sustancias que son aprovechadas por las plantas ya sea, para su nutrición, para defensa contra patógenos o para estimular funciones de crecimiento y absorción de nutrientes. Estos grupos de microorganismos son identificados como promotores del crecimiento vegetal o microorganismos benéficos para los vegetales.

Entre estos grupos se encuentran los hongos micorrizicos, las bacterias fijadoras de nitrógeno, los solubilizadores de fosfatos, los productores de sustancias con acción hormonal, y otros, que están interactuando con las raíces en un equilibrio perfecto para promover el desarrollo vegetal.

El manejo de los microorganismos del suelo para el aprovechamiento de los efectos benéficos hacia las plantas se realiza creando condiciones favorables para su desarrollo y favoreciendo el incremento de sus poblaciones mediante la inoculación de cepas previamente identificadas en los laboratorios, que se destacan por los beneficios o aportes al metabolismo de las plantas.

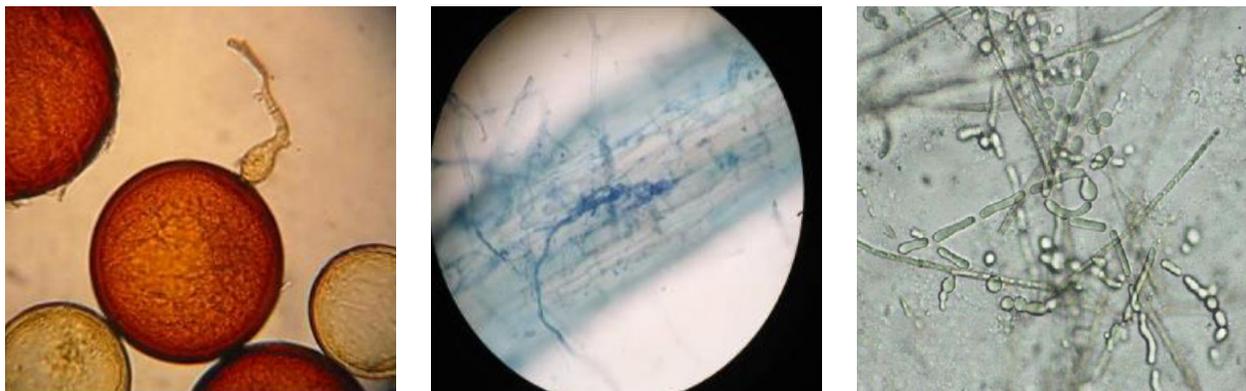
En el cultivo de café, las raíces no son la excepción al albergar infinidad de microorganismos benéficos. Entre ellos, se destacan los hongos micorrizicos, cuya sobrevivencia solo es posible mediante el aprovechamiento de los azúcares producidos por el café durante la fotosíntesis. Esta relación no es perjudicial para los cafetos, ya que los hongos trasladan el fósforo y otros elementos poco móviles en el suelo, hacia el interior de las células radiculares.

La asociación entre hongos micorrizicos y café ha sido ampliamente estudiada por más de 30 años, confirmándose que los cafetos presentan alto grado de dependencia de esta relación en suelos con bajo contenido en fósforo. La inoculación de hongos micorrizicos en viveros de café se refleja en mayor crecimiento y vigorosidad de plantas al momento de su trasplante al campo definitivo. Así mismo se ha observado incremento en la producción y mayor tolerancia a la presencia de plagas, nematodos y enfermedades.

Otras especies de hongo del género *Trichoderma* han sido utilizadas como agentes para el control de enfermedades por sus características altamente competitivas. Su efecto benéfico se atribuye al efecto estimulante sobre los cultivos, a la inducción de resistencia sistémica y al biocontrol ejercido sobre otros tipos de hongos causantes de enfermedades.

Existen también el grupo de bacterias benéficas, algunas con acción antagonista contra organismos patógenos (*Bacillus*, *Pseudomonas*, *Pasteuria* y *Streptomyces*) y otras que contribuyen al desarrollo radicular por su actividad fijadora de nitrógeno (*Azospirillum*, *Azotobacter*). La aplicación de estos organismos en conjunto con hongos micorrizicos en el cultivo de café es doblemente beneficiosa. Al momento, una de las dificultades para la aplicación de estas prácticas, es la dificultad de encontrar productos que garanticen la efectividad de los organismos aislados.

Una forma de estimular las poblaciones de organismos benéficos es mediante la aplicación de materia orgánica y de lixiviados de compost o lombricompost. Los lixiviados se producen en las pilas de compostaje y se caracterizan por tener buena concentración de nutrientes, azúcares y aminoácidos, así como alta población de organismos benéficos de los grupos de bacterias, hongos y protozoarios. Esta población microbiana ejerce una función de control sobre los organismos patógenos por acción antagónica y de competición. También favorecen el desarrollo de raíces por ser ricos en sustancias que tienen un efecto parecido a las hormonas vegetales.



**Fotografía 23.** A la izquierda, esporas de hongos micorrizicos arbuscular (*Gigaspora* sp., *Glomus clarum*); al centro, detalles de la asociación micorrizica en raíces de café; a la derecha, propágulos de *Trichoderma* sp.

La aplicación de exudados, así como la inoculación de grupos de organismos benéficos, es una práctica que persigue la obtención de plántulas con mejor desarrollo radicular, lo que es deseable en lugares donde existe alto riesgo de sequías y altas temperaturas. Raíces más desarrolladas permiten mayor aprovechamiento de los nutrientes y agua del suelo por lo que los cafetos serán más resilientes ante estas amenazas climáticas.

## A| Implementación de la práctica

La aplicación de organismos benéficos debe ser realizada de preferencia en la fase de vivero. Los productos pueden ser aplicados directamente sobre el suelo, en mezcla con el suelo o en forma disuelta, dependiendo de las características del producto. Los productos que contienen hongos micorrízicos, microorganismos de montaña y rizobacterias suelen ser presentados en forma sólida (polvo, turba). Otros, como algunas mezclas de bacterias vienen en presentación líquida. Debido a que los productos son muy variables en cuanto al número de propágulos infectivos, es importante seguir las instrucciones de los fabricantes en cuanto a la dosis y forma de aplicación.

## B| Avances y resultados

Experimentos en semillero y vivero realizados en Guatemala y Honduras por la iniciativa c&c permitieron reconocer los efectos benéficos de la inoculación con hongos micorrízicos y trichoderma sobre el desarrollo radicular de los cafetos. La dosis del producto micorrízico fue de 5 g/planta en semillero y 60 g/planta en vivero. El inoculante utilizado contenía 8 esporas/gramo. La dosis de Trichoderma en semillero fue de 28 g de Trichoderma por metro cuadrado. En vivero la aplicación fue de 40 ml por planta de una solución conteniendo 10 g de trichoderma/litro de agua.

A nivel de semillero se encontró 11 % de incremento en la longitud de raíces en los tratamientos con inoculantes en comparación al testigo. A nivel de vivero los resultados indicaron un incremento de 7% en la longitud de raíz con inoculación micorrízica en comparación al tratamiento control, a los 60 días después de la aplicación. Además, se registró incremento en el grosor de raíces. Con trichoderma se obtuvo hasta un 41 % de incremento en el largo de raíces en comparación al testigo.



**Fotografía 24.** Comparación en el desarrollo radicular de cafetos en vivero. A la izquierda, sin inoculación; a la derecha, plantas inoculadas con hongos micorrízicos.

## Costos de la implementación

Los costos de aplicación de esta práctica son relativamente bajos. Se estima que un metro cuadrado de semillero (1000 plantas) consume 5 kg de inoculante y mano de obra de 0.5 horas, mientras que a nivel de vivero se utilizan 30 kg de inoculante y 1 hora de mano de obra por 500 plantas. El costo de 1 quintal de inoculante (Micorrizas) (46 kg) equivale a US\$ 25.00. Un paquete de Trichoderma de 240 gramos cuesta US\$ 20, colocando 28 gramos por metro cuadrado de germinador (1000 plantas) el costo por planta es de US\$0.002, y en vivero se usan 10 gramos por litro de agua aplicando 40 mililitros por planta con un costo de US\$0.03 por planta.

## C| Recomendaciones

La facilidad para realizar esta práctica y su bajo costo de aplicación la hacen altamente recomendable para estimular el desarrollo radicular de las plantas de café a nivel de semillero y vivero. El uso de organismos benéficos debe considerar las condiciones ambientales prevalecientes al momento de las aplicaciones, evitando las horas o momentos de temperaturas extremas o de alta radiación solar, evitando el uso de fungicidas reducir daños a los microorganismos.

En relación con Trichoderma no hubo una aceptación por los productores, recibiendo los comentarios de una gran distancia a la que se encuentra el distribuidor, su alto costo y el tiempo para recuperar la inversión. Se necesita un mayor análisis para evaluar el desarrollo de la planta.

## 4.4 Aplicación de cal y yeso

La acidez y la presencia de aluminio tóxico en el suelo afectan el desarrollo de las raíces de los cafetos hasta el punto de retrasar el crecimiento y disminuir la producción. Si el problema no se corrige, tiende a agravarse con la presencia de enfermedades y plagas que dañan la salud de los cafetales hasta dejarlos improductivos. La gravedad de este problema llevó a investigadores brasileños a identificar la importancia del uso de la cal y el yeso como enmiendas apropiadas para la corrección de los suelos ácidos dedicados a la agricultura en aquel país.

La cal ha sido utilizada con éxito para corregir la acidez de los suelos, sin embargo, no resuelve completamente el problema de la toxicidad causada por aluminio debido a la dificultad de colocar la cal en profundidad (su principal efectividad es en los primeros 20 centímetros). Con la utilización del yeso, que es una sal soluble capaz de penetrar en el subsuelo, se dio un gran paso para mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo, ya que además de neutralizar la presencia del aluminio, promueve mayor desarrollo radicular lo que permite a la planta un mayor aprovechamiento del agua y de los nutrientes que se encuentran en las capas profundas del suelo.

La cal es una fuente importante de calcio y magnesio, mientras que el yeso aporta calcio y azufre. Los tres elementos son de importancia primaria en la nutrición vegetal. El calcio, además de su importancia como nutriente, ejerce la función de unir partículas de suelo para formar agregados estables. En consecuencia, el espacio entre partículas agregadas facilita el movimiento del agua en el perfil. Al favorecer mejores condiciones físicas se propician condiciones para el mejor desarrollo radicular. Raíces más profundas y vigorosas permiten mayor exploración del suelo, aumentando la captación de nutrientes.

Además de sus efectos como mejoradores del suelo, el uso de la cal y el yeso contribuyen a incrementar la resiliencia de los cafetales ante los eventos de sequía y alta temperatura, al permitir el desarrollo de plantas fuertes y vigorosas, con mayor eficiencia en el uso de agua y nutrientes, en consecuencia, de su mejor desarrollo radicular.

### El problema de la acidez del suelo y toxicidad por aluminio

La acidez del suelo se produce por la acumulación de iones  $H^+$  en el suelo. Las causas son diversas; por un lado, los elementos básicos, calcio y magnesio, que contrarrestan el efecto del hidrógeno, tienden a ser eliminados del perfil por varias razones: una, es debido a la lixiviación o acarreo de los elementos a la profundidad durante los períodos de intensa precipitación, la otra, porque los cultivos los extraen en altas cantidades para llenar sus requerimientos nutricionales sin reponerlos en la misma proporción con las prácticas de fertilización. La acidez también se produce cuando se aportan más hidrógenos al sistema, como ocurre con la aplicación excesiva y/o continua de fertilizantes nitrogenados amoniacales y durante la descomposición de materia orgánica. Además de estas causas, existe otro factor que contribuye a la acidificación del medio cercano a las raíces, la propia exudación radicular de iones  $H^+$  durante el proceso de la absorción de nutrientes.

La acidez del suelo se mide a través del pH. Valores de pH por debajo de 5.5 acarrear otro problema, la liberación de aluminio en una forma tóxica ( $Al^{+++}$ ). Esta forma de aluminio causa daño en las células de la raíz. Dependiendo de la concentración en el suelo, se produce muerte celular (necrosis), las raíces se acortan y engrosan, restringiendo sus funciones. El daño puede ser de tal magnitud que las plantas dejan de producir y con el tiempo se añaden otros problemas que pueden acabar con la plantación.

Además, pueden utilizarse otros tipos de cal: caliza, óxidos e hidróxidos de calcio (cal viva, cal hidratada) y compuestos de magnesio. La elección de uno u otro material depende del resultado del análisis de suelo, del costo y de la disponibilidad en el mercado.

La cal actúa en la elevación del pH de la siguiente manera: al disolverse el carbonato de calcio libera gas carbónico. Éste reacciona con agua, dejando libre a los iones OH<sup>-</sup> que neutralizarán al hidrógeno presente en los suelos ácidos. El exceso de iones OH<sup>-</sup> también favorece la neutralización del aluminio formando un compuesto estable, no dañino a las raíces.

El yeso es utilizado como fertilizante y enmienda. Inicialmente se aplicó para mejorar suelos con alta saturación de sodio. Posteriormente se reconocieron sus efectos en la corrección de suelos ácidos con presencia de aluminio. Este compuesto presenta la ventaja de ser una sal soluble que se mueve más rápidamente en el suelo que la cal. El yeso tiene un efecto de descompactación y a la vez, estimula la formación y desarrollo de raíces. Esta combinación de funciones es favorable para plantaciones de café que se encuentran sobre suelos muy arcillosos y compactados.

## A| Implementación de la práctica

La cantidad de cal o yeso requeridos para neutralizar el pH depende de varios factores; Por un lado, están los factores relacionados a las propiedades del suelo (pH, contenido de arcilla, materia orgánica, textura, otros) por otro, los relacionados con la calidad de la enmienda (finura del material = grados mesh). Debido a la diversidad de estas condiciones no es fácil predecir la respuesta de las plantas a una única aplicación de cal y/o yeso o seguir recomendaciones de análisis de suelos.

Existen fórmulas para determinar las dosis de cal, pero estas han sido generadas bajo condiciones que pueden ser diferentes a las locales, por lo tanto, es necesario contar con el apoyo técnico y los resultados del análisis del suelo, para definir la cantidad a aplicar.

Las enmiendas pueden ser aplicadas en cualquier etapa del desarrollo del cultivo, desde la siembra en el campo definitivo hasta plantaciones en producción y en cafetales con manejo de poda.

Al momento de la siembra, preparar el terreno mediante una limpia y realizar el trazo de curvas a nivel en caso sea necesario. Se recomienda ahoyado con un mínimo de 0.30 x 0.30 x 0.30 metros. La cal y/o el yeso se mezclan con el suelo que se utilizará para rellenar el agujero al momento del trasplante.

En plantaciones establecidas debe aplicarse al voleo cubriendo toda la superficie desde el tallo hasta la punta de bandolas, para que coincida con el área de desarrollo radicular, el suelo debe estar limpio para que el yeso entre en contacto directo.

## B| Avances y resultados

La validación de esta práctica en parcelas con agricultores en Honduras la implementados en julio de 2015 demostraron que la aplicación de cal y yeso contribuyeron a mejorar las condiciones del suelo y se tradujeron en mayor crecimiento de plantas de café en comparación al tratamiento testigo. La aplicación de 4 onzas de yeso produjo un incremento de 15 % en altura y 15.3 % en ancho de planta en comparación al testigo, mientras que la misma dosis de cal promovió un incremento en altura de 12.3 %, pero no en ancho de planta.

Los efectos sobre la productividad demostraron una ganancia acumulada en tres cosechas de 14.5 y 4.8 sacos de 60 kg de café oro /ha con la aplicación de yeso y cal, respectivamente, en comparación al testigo, como se muestra en la tabla 5.

**Tabla 5.** Productividad de cafetos de 5 años (sacos de 60 kg café oro/ha), en tratamientos con y sin enmienda en Ocotepeque, Honduras.

Indicador	Yeso	Cal Hidratada	Testigo
	Sacos de 60 kg de café oro/ha		
Cosecha 2017-2018	30.2	28.6	24.0
Cosecha 2018-2019	35.2	30.2	31.8
Cosecha 2019-2020	32.2	29.1	27.3

Con los resultados obtenidos se evidencian los beneficios de la aplicación de yeso, como una práctica adecuada para promover el desarrollo radicular de los cafetos, y con ello obtener plantas más vigorosas y productivas, siendo más resilientes a los efectos de sequía y altas temperaturas.

### Costo de implementación

En la tabla 6 se muestra el costo de la aplicación de enmiendas. Al hacer un balance entre los costos y la productividad, es evidente que la aplicación de yeso ha brindado los mayores beneficios.

**Tabla 6.** Costos de aplicación de yeso agrícola y cal hidratada en cafetales, al momento del trasplante. Julio, 2015.

Descripción	Yeso	Cal hidratada
Dosis qq/Ha	14.4	14
USD Costo por Quintal	9.00	5.00
USD Costo por Hectárea	129.60	70.00
USD Costo Jornales/Ha	12.50	12.50
USD Costo por planta	0.23	0.13

Esta práctica es fácil de aplicar, no requiere mucha mano de obra y se demuestra la recuperación de los costos con la primera cosecha. Por tanto, se espera una buena aceptación de los caficultores, particularmente donde las condiciones de suelo lo permitan.

## C| Recomendaciones

Se sugiere tomar en consideración resultados de la investigación y experiencia local, auxiliándose con resultados del análisis químico de suelos. Con base en ello se debe plantear claramente el objetivo de la aplicación: corrección de deficiencias de calcio o magnesio, elevación del pH y/o neutralización del aluminio. El análisis de suelo también orientará sobre el tipo de enmienda y la cantidad a utilizar.

Para no afectar el desbalance de calcio y magnesio se recomienda alternar aplicaciones de yeso con cal dolomítica. En algunos casos es recomendable aplicar cal dolomítica y yeso en relación 1:1, pero esto dependerá de los resultados del análisis.

Se deberá considerar, en base a los costos del producto y de la mano de obra, la necesidad de fraccionar una dosis total, siendo importante el monitoreo de los efectos de cada aplicación sobre las propiedades del suelo.

No es aconsejable la aplicación de yeso en suelos arenosos y con riesgo de alta precipitación.



**Fotografía 25.** Aplicación de cal en mezcla con el suelo al momento del trasplante.



**Fotografía 26.** Aplicación de Yeso sobre la superficie.

## 4.5 Cultivos asociados al café - Sistema 5 x 1

De una forma estricta se podría considerar que los cafetales son un monocultivo diversificado por la presencia de árboles de sombra. Aunque de los árboles se obtienen numerosos beneficios ecosistémicos, estos no se reflejan en ingresos adicionales para los caficultores, a menos que de las especies arbóreas se pueda obtener frutos, leña o madera.

Los caficultores que dependen únicamente del ingreso generado por la venta del grano, pueden ver afectadas sus ganancias cuando el café se ve amenazado por eventos climáticos desfavorables como la sequía, el exceso de lluvia o precios bajos. En estas condiciones, los cafetales pueden ser afectados de forma directa con disminución del rendimiento, o en forma indirecta si las condiciones prevalecientes promueven el surgimiento de plagas o enfermedades fungosas, que, en el corto plazo, llevan a disminuir la producción de grano y generan un costo adicional para el control.

Una alternativa para reducir los efectos de esta amenaza es la diversificación de cultivos, consistente en intercalar o asociar al café con especies que además de sombra, permitan la obtención de un producto comercialmente aprovechable. De esta idea, surgen varias opciones en cuanto a la selección del cultivo que pueda acompañar a los cafetos. Una práctica común es la asociación de café con banano o plátano, aunque también se reconoce el potencial de otras especies como aguacate, frijol, tomate y maíz, entre otras.

La diversificación de cultivos requiere una previa planificación del arreglo de las plantas en el campo para darle a cada especie, el espacio y las condiciones necesarias para su desarrollo. Las distancias de siembra tradicionalmente utilizadas podrían no ser las más adecuadas dependiendo de la especie que acompañará a los cafetos, siendo importante conocer las características climáticas, anatómicas y morfológicas de las plantas a introducir en el asocio al igual que sus opciones de mercado.

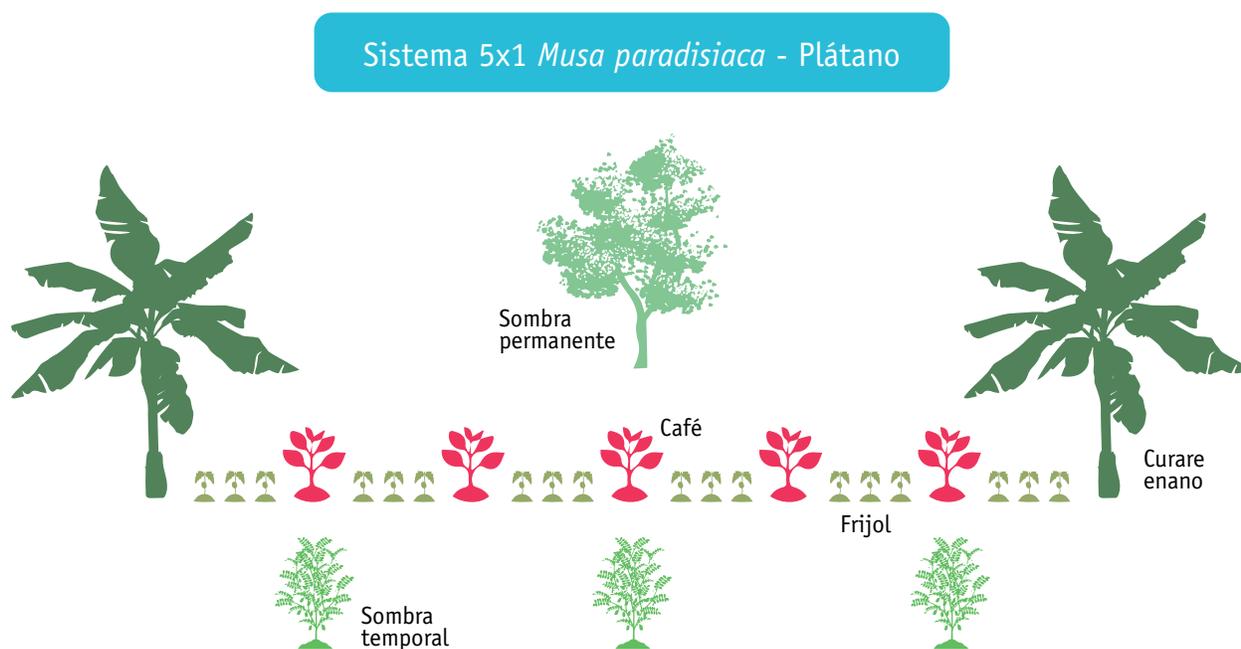
La modificación en el arreglo espacial de los cultivos asociados no necesariamente implica variar la densidad del cultivo del café. Lo que se pretende es hacer un uso más eficiente del suelo de manera que otras especies puedan ser establecidas para crear sistemas más estables y resilientes. Incrementar la diversidad vegetal en el ecosistema cafetalero se traduce en mejor calidad de los recursos orgánicos y por ende, en mayor diversidad de organismos benéficos que actúan en el control de plagas o enfermedades. Es importante reconocer el avance del sector caficultor en el establecimiento de organizaciones de productores y productoras de café, dichas bases pueden ser potenciadas a través de generar encadenamientos con los cultivos a asociar.

## A| Implementación de la práctica - Sistema 5x1

Se procede a la limpieza del terreno y al trazo de las hileras a cada 2.5 m. En terrenos con pendiente marcar las curvas a nivel a esa misma distancia y proceder al ahoyado donde se plantarán los cafetos, a distancias de 0.8 m entre plantas. El ahoyado debe ser realizado con un mínimo de 0.3 x 0.3 m de lado y 0.3 m de profundidad. Previo a la siembra hacer la aplicación de cal o yeso según lo requiera el suelo. Al momento de la siembra, mezclar las enmiendas con el suelo que servirá para llenar el agujero.

Obtener la semilla o plántula con la cual se va a intercalar el café, al igual que en el café es recomendable adquirir el material vegetativo de una fuente confiable. En el caso de banano o plátano, adquirir los cormos y proceder a la siembra a cada 5 surcos o hileras de café y 1.75 metros entre plantas de banano o plátano, según la figura 10.

Si la sombra no está establecida, se recomienda plantar especies para sombra temporal y cultivos de cobertura. Brindar los cuidados necesarios a ambos cultivos, definiendo el programa de fertilización, protección vegetal y podas a efecto de garantizar el buen desarrollo de ambos tipos de planta.



Cultivo	Distanciamiento siembra en metros	Plantas/Ha	qq prod./ha	Año a prod.
Café	2.5x80	4250	42	Año 3
Curare enano	1.70x15	392	98	Año 1
Sombra permanente	7.5x15	89	---	
Sombra temporal	5x2.40	833	8.33 Gandul	6 meses
Frijol	0.30x0.30	44,000	23	3 meses

Figura 10. Esquema o arreglo de las plantas de café, plátano y especies para sombra.

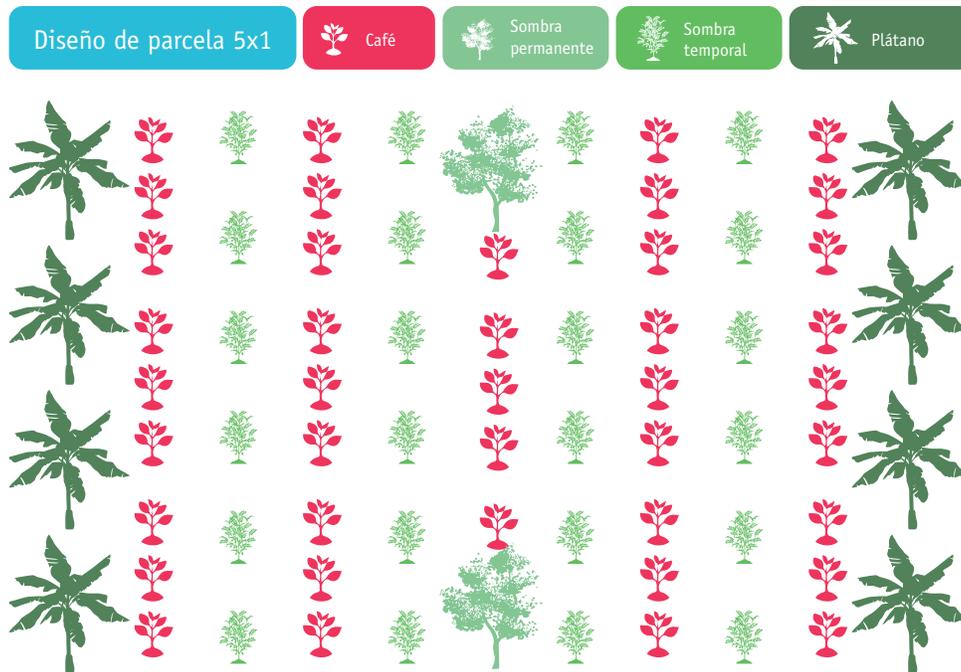


Figura 11. Esquema o arreglo de las plantas de café, plátano y especies para sombra.



Fotografía 27. A la izquierda, siembra de plantas de café; a la derecha, marcado para la siembra del cultivo asociado y trasplante de los cormos al campo definitivo.

## B| Avances y resultados

La iniciativa c&c ha propuesto un sistema de diversificación de café con plátano curare enano. En el cual propone un distanciamiento de siembra de café de 2.50 x 0.80 m, mientras que la de plátano curare enano se planta en un surco a cada 5 surcos de café (15 x 1.70 m). Se persigue con este arreglo generar ingresos adicionales para las familias caficultoras de la región del Trifinio.

El distanciamiento 2.5 x 0.8 metros permite mantener el mismo número de plantas de café que en el sistema convencional (2 x 1 m), con la diferencia de una mejor distribución y mejor aprovechamiento del espacio. Se favorece mayor entrada de aire y luz, lo que es deseable para el control de enfermedades fúngicas en lugares de alta precipitación. Así mismo, se deja espacio suficiente para mantener cultivos en asocio y/o cultivos en cobertura, con la ventaja de facilitar el manejo de estos.



Fotografía 28. Desarrollo del cultivo de plátano a los 8 meses después de la implementación de un sistema en asocio con café. Copán, Honduras, 2019.

En 2019 se establecieron parcelas demostrativas con el sistema de asocio de café con plátano en dos localidades de Copán, Honduras, lo que ha permitido ir adquiriendo experiencias respecto al manejo del cultivo asociado. Los resultados económicos solo podrán ser determinados cuando los cultivos entren en su fase de producción.

## Costos de la implementación

Los costos de establecimiento de una parcela diversificada con plátano enano, limón y aguacate, se muestran en las siguientes tablas.

**Tabla 7.** Costos de establecimiento del cultivo de café en asocio con plátano en Copán, Honduras, 2019.

Materiales	Insumos	Costo unitario USD	Costo total USD
Mano obra café	144 jornales	9	1,292
Herramientas, materiales y equipo café			1,348
Mano de obra para plátano	37 jornales	9	338
Herramientas, materiales y equipo plátano			527
<b>Costo total por hectárea</b>			<b>3,505</b>

**Tabla 8.** Costos de establecimiento del cultivo de café en asocio con limón en Honduras, 2019.

Materiales	Insumos	Costo Unitario USD	Costo Total USD
Mano obra café	144 jornales	9	1,292
Herramientas, materiales y equipo café			1,348
Mano obra limón	34 jornales	9	309
Herramientas, materiales y equipo limón			415
<b>Costo total por hectárea</b>			<b>3,364</b>

**Tabla 9.** Costos de establecimiento del cultivo de café en asocio con aguacate en Honduras, 2019.

Materiales	Insumos	Costo Unitario USD	Costo Total USD
Mano obra café	118 jornales	9	1,292
Herramientas, materiales y equipo café			1,525
Mano obra aguacate	66 jornales	9	593
Herramientas, materiales y equipo aguacate			866
<b>Costo total por hectárea</b>			<b>4,276</b>

## C| Recomendaciones

La implementación de esta práctica es altamente recomendable porque además de permitirle al caficultor una renta adicional por la venta de la fruta, contribuye a mejorar las condiciones ambientales y edáficas para un mejor desarrollo del café lo que aumenta la resiliencia del ecosistema ante eventos climáticos desfavorables.

Se recomienda profundizar en el conocimiento del manejo de los cultivos asociados, particularmente, en sus requerimientos nutricionales e hídricos, así como en el manejo de las enfermedades o plagas que los afectan.

Evaluar otras alternativas de especies que puedan generar ingresos por la venta de los productos o que sean utilizados para el consumo familiar. Evitar cultivar especies que puedan albergar organismos patógenos o vectores de enfermedades para el cultivo de café Y en caso de no poder ser evitado establecer un plan de manejo integrado de enfermedades para ambos cultivos.

El espaciamiento entre hileras o surcos de café podrá variar dependiendo de las características del terreno y de la estructura anatómica de la especie que se pretenda asociar. Es importante conocer la forma y distribución de raíces a efecto de evitar competencias por agua y nutrientes con el cultivo de café; así mismo, considerar que la altura y distribución de las ramas, incidirán en la proyección de la sombra para los cafetos.

## 4.6 Coberturas vivas y sombra temporal

El cultivo de plantas entre las hileras de café es una práctica indicada para suelos que presentan susceptibilidad a la erosión en áreas donde la intensidad de la precipitación pluvial es alta y la pendiente del terreno va de moderada a alta. En áreas donde llueve poco o existen amenaza de sequías y altas temperaturas, las coberturas vivas y las especies utilizadas para sombra temporal contribuyen a reducir las fluctuaciones de temperatura con un efecto favorable en la conservación de la humedad en el suelo. De acuerdo con el investigador Franco C.M., temperaturas del suelo de 33°C a 38°C reducen la absorción de todos los nutrientes y el desarrollo radicular, también dice que la mejor temperatura del suelo para el crecimiento del cafeto debe estar entre 26°C de día y 20°C de noche. Temperaturas entre 30°C de día y 23°C de noche provocan un menor crecimiento de la planta. Al final de esta sección de coberturas se presenta una gráfica con las variaciones de temperatura en el suelo de febrero a julio de 2018, con diferentes tipos de coberturas comparadas con un testigo sin cobertura.

Para la formación de coberturas vivas se utilizan plantas de porte bajo y medio; se cultivan a alta densidad de planta entre las hileras del café y pueden ser sometidas a uno o varios cortes, dependiendo de su capacidad para rebrotar. Además de cubrir el suelo cumplen con la función de aportar grandes cantidades de materia orgánica y nutrientes, extraídos de la profundidad del suelo.

Para sombra temporal se utilizan plantas que alcanzan mayor altura y en algunos casos, llegan a formar copas más anchas, por lo que son plantadas con mayores distanciamientos. La contribución de residuos solo se realiza durante podas de formación o cuando ya la sombra permanente está bien establecida. Algunas otras especies cumplen con la doble finalidad, de sombra temporal y cobertura del suelo.

Algunas especies utilizadas como cobertura o sombra temporal presentan sistema de raíz profunda lo que les permite absorber los nutrientes poco disponibles al café. Posterior al corte de estas plantas, los nutrientes acumulados en la biomasa son puestos a disposición del cultivo luego de su descomposición. Con el tiempo, la incorporación de la materia orgánica contribuye a mejorar la fertilidad del suelo y proveer otros beneficios que de ella se derivan. En general, las condiciones del suelo se mejoran y se favorece el desarrollo de organismos benéficos que participan en el proceso de reciclaje de los nutrientes, se mejora la estructura del suelo y se conserva mayor humedad. Otra función de las coberturas y de la sombra temporal es evitar que crezcan plantas indeseables que compiten por nutrientes con el cultivo.

Algunas plantas que han sido evaluadas por la iniciativa c&c como coberturas vivas son: Brachiarias, Crotalarias, Commelina y Girasol, entre otras. Como sombra temporal son recomendadas las Crotalarias de porte alto, el Gandul y la Tefrosia. Los cultivos asociados, plátano y banano, cumplen también con la finalidad de sombra temporal además de la producción de fruta si son manejados adecuadamente.

## Especies utilizadas para la formación de coberturas vivas

### *Brachiarias (Brachiaria ruziziensis, Brachiaria brizantha)*

Las Brachiarias, de las cuales existen más de 100 especies, son gramíneas originarias de África. *B. ruziziensis*, llamada también pasto ruzi, es una especie de crecimiento semi erecto o rastrero, con sistema radicular rizomatoso lo que le permite desarrollar una buena cobertura de suelo en corto tiempo.

La hibridación entre ambas especies produce cultivares donde se combinan favorablemente las cualidades de expansión radicular y altura, traduciéndose en buena cobertura y alto rendimiento de biomasa en corto tiempo. Además de la alta producción de follaje, las brachiarias acumulan gran cantidad de carbono en sus raíces, el cual se estaría incorporando al suelo con la senescencia de estas, cuando la cobertura es sometida al corte.

Estas especies de brachiaria se adaptan a suelos de mediana a alta fertilidad, con texturas que van de francas a arcillosas. Crecen bien hasta los 1500 m.s.n.m., con lluvias no menores a 1000 mm por año. Presentan baja tolerancia a la acidez del suelo y no toleran las inundaciones. Algunas especies son susceptibles a la chinche salivasa (*Aeneolamia postica*).

Cultivada entre las hileras de café, *B. ruziziensis* ha sido efectiva para suministrar abundante materia orgánica y favorecer la conservación de la humedad del suelo por su efecto en la reducción de la temperatura. Para su utilización en cafetales se recomienda planificar desde el inicio el distanciamiento de siembra de los cafetos, el cual debe ser entre desde mínimo 2.5 metros entre hileras o surcos de café. La brachiaria se siembra juntamente con el cafetal o al menos, en los primeros dos años del cultivo.

Inicialmente se procede a la limpieza del área entre hileras y el trazo de una línea de cultivo en el medio de este espacio. La semilla se deposita al chorro cubriéndola con una delgada capa de suelo. Se estima una cantidad entre 3 a 4 kg de semilla por hectárea. Como con cualquier otra cobertura se debe supervisar el desarrollo inicial para mantenerla libre de malezas. Cuando ya esté bien establecida debe ser manejada para mantenerla a una distancia de 0.25 a 0.50 metros de las bandolas de café.

Dependiendo del desarrollo, se puede realizar el corte cada tres meses. Experimentalmente se ha demostrado que un corte de Brachiaria produce hasta 14 toneladas métricas de materia fresca, lo que equivaldría a 56 toneladas métricas durante 4 cortes en el año. Sin embargo, hay que considerar que durante la época seca la producción de material vegetativo será menor. Con una producción anual de materia fresca de 50 toneladas se obtendrían entre 7 a 8 toneladas de material seco que se irán adicionando anualmente como materia orgánica.

### *Crotalarias*

Existen varias especies de crotalaria que pueden ser utilizadas como coberturas vivas en asocio al café, aunque algunas cumplen también la función de sombra temporal. Las crotalarias son plantas leguminosas que tienen la facultad de asociarse a bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico, por lo que su incorporación al suelo tiene la ventaja de suministrar materia orgánica rica en este elemento. Además, contribuyen al control de nematodos fitopatógenos, formadores de agallas.



**Fotografía 29.** Implementación de cobertura de Brachiaria y Gandúl en parcela de caficultor en Honduras. Antes de la implementación.



**Fotografía 30.** Un año después de la implementación.

En la región del Trifinio se ha cultivado las especie *C. juncea* y *C. longirostrata* comúnmente llamado Chipilin. Es una planta originaria de Centro América, de crecimiento erecto con abundantes ramificaciones. Sus hojas son pequeñas, trifoliadas, alternas. Las flores amarillas son abundantes en la punta de las ramas y sus vainas pequeñas (hasta unos 2 cm) de color café cuando maduran, con varias semillas.

La crotalaria se adapta a lugares donde las temperaturas medias van de 21 a 38 °C. El desarrollo es más favorecido en los climas calientes y con humedad moderada. Se adaptan a un rango de condiciones de suelo, desde suelos ácidos a alcalinos (pH 5 – 8), con mediana fertilidad y texturas desde franco arenosas a arcillosas.

Las crotalarias de porte medio y bajo (*C. spectabilis*, *C. breviflora*), pueden plantarse a mayor densidad, (dos o tres hileras o incluso al voleo, en caso de las crotalarias enanas), en medio de dos surcos de café, dejando un espacio de, al menos 0.5 metros entre la entre la línea de siembra y la punta de las bandolas.

La siembra de las crotalarias se realiza juntamente con el trasplante del café. Se trazan las hileras para la siembra de leguminosa (rayado) y se deposita la semilla cubriendo (aprox. 10-12 kilogramos de semilla por hectárea) con una delgada capa de suelo, considerando el tamaño pequeño de la semilla. El corte se realiza durante la floración para aprovechar la mayor cantidad de biomasa producida en ese momento.

### Canavalia

La canavalia (*Canavalia ensiformis*), es una especie herbácea del grupo de las leguminosas, con hábito de crecimiento erecto y como enredadera. Presenta sistema radicular pivotante, hojas trifoliadas grandes, flores blancas o lilas, vainas hasta de 30 cm de largo y semillas blancas y oblongas, de 2 a 2.5 cm de largo. Crece bien hasta los 900 m.s.n.m., con precipitación entre 900-1200 mm. Es más tolerante a la sombra que las crotalarias por lo que se adapta bien en cultivo de café con árboles de sombra ya establecidos. Se adapta a suelos pobres, con pH desde 4.5 a 8 y texturas franco-arenosas hasta arcillosas.

La siembra se realiza en hileras separadas como mínimo 0.5 metros entre ellas, y 30 cm entre plantas, colocando la semilla a profundidad entre 3 a 5 cm. Se requieren alrededor de 25 a 30 kg de semilla/ha, Se incorpora al momento de la floración que es cuando ha acumulado la mayor biomasa.

En condiciones experimentales la canavalia plantada a una densidad de 6 plantas por hectárea ha permitido la acumulación de 2.5 Ton de materia seca, con un aporte de nitrógeno estimado de 100 kg/ha.

La canavalia genera una buena cobertura lo que evita el desarrollo de malas hierbas. Además, posee efecto nematicida y fungicida, favoreciendo el control de hormigas por su efecto sobre los hongos de los que éstas se alimentan. Como inconveniente, las guías de la canavalia pueden “enredar” al cafeto y afectar su desarrollo.



**Fotografía 31.** Vista del asocio de café con crotalaria de porte bajo (*C. breviflora*).



**Fotografía 32.** Nódulos fijadores de nitrógeno presentes en esta especie.



**Fotografía 33.** *Canavalia ensiformis* y plantía de café.

### Girasol (*Helianthus annuus*)

El girasol es una planta de la familia de las compuestas (Compositae), originaria de América del Norte. Es una planta ornamental y productora de aceite por su contenido en las semillas. Es una planta anual, con tallo de gran desarrollo en cuyo extremo se forma la cabezuela o capítulo, en el que se insertan las flores. Se adapta a diferentes condiciones de clima y suelo, llegando a desarrollarse bien en regiones frías y suelos pobres, superficiales, ligeramente ácidos, aunque su rendimiento será mayor en suelos fértiles y neutros.

El establecimiento se realiza en el centro del surco y se utiliza entre 6 a 8 kilos por hectárea de semilla. Presenta crecimiento inicial rápido lo que la hace muy competitiva contra las malezas. La incorporación de esta planta puede hacerse entre los 60 y 90 días después de la siembra. En una parcela ubicada a 1450 metros de altitud en Honduras se obtuvo el equivalente a 37.3 toneladas por hectárea de biomasa fresca de girasol.

### Hierba de pollo (*Commelina diffusa*)

Es considerada como una maleza noble, cobertura vegetal de porte bajo, que crece naturalmente, sin necesidad de sembrarla, entre los cafetales; con gran poder de invasión y competencia con las gramíneas (Cenicafé, 1990). Entre otras ventajas de las coberturas nobles, está el de reducir el impacto de las gotas de lluvia y crear una superficie rugosa que reduce el escurrimiento y el poder erosivo del agua. Además, las raíces de estas plantas contribuyen a la agregación de las partículas de suelo y con ello, a mejorar la porosidad y relaciones hídricas del suelo. En algunos casos, este tipo de plantas se asocia con la diseminación de enfermedades

### Otras especies utilizadas como cobertura

Pueden ser utilizadas en la formación de coberturas vivas algunas especies de vigna o caupí (*Vigna unguiculata*, *vigna radiata*), que son relativamente tolerantes a condiciones de sequía. Otra opción es el maní forrajero (*Arachis pintoi*), que presenta un rápido crecimiento, por lo que su manejo debe ser continuo a efecto de evitar competencia con el café. También se han utilizado varias especies de mucuna (*Stizolobium sp.*) y Gandul (*Cajanus cajan*). Estas alternativas deben ser evaluadas, particularmente con relación al espaciamiento necesario entre hileras de café, ya que algunas requieren de mucha luminosidad. El uso de estas especies depende de la disponibilidad de semillas en el lugar.

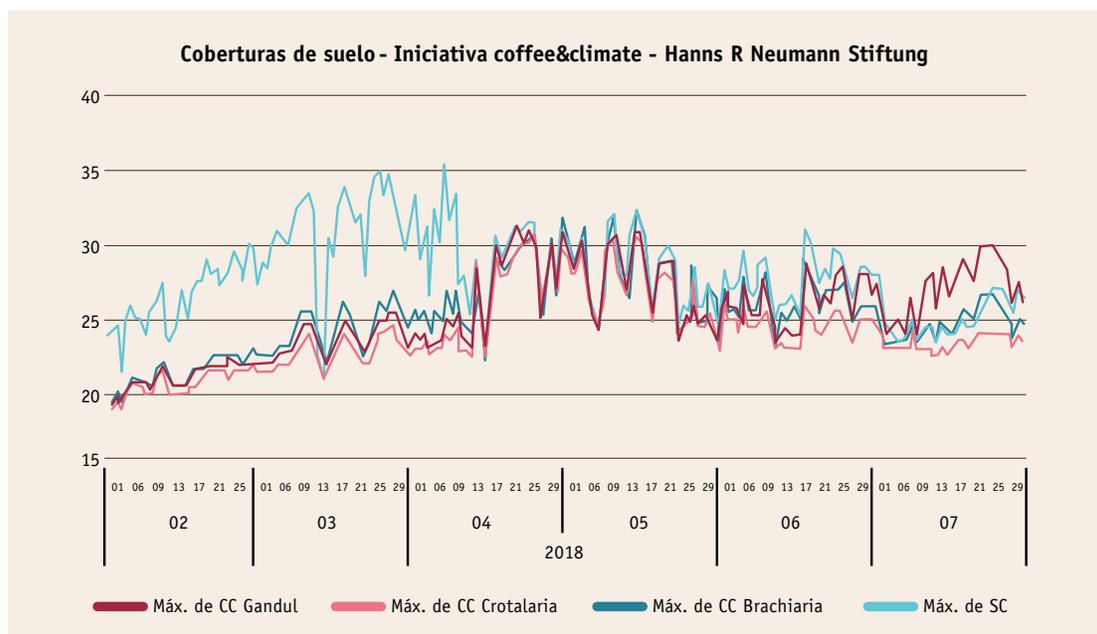


Figura 12. Variaciones de temperatura del suelo con diferentes coberturas y un testigo sin cobertura (SC).

En la figura 12 puede observarse como la parcela sin cobertura sobrepasa los 33°C entre los meses de marzo y abril, lo cual restringiría la absorción de todos los nutrientes por las raíces comprometiendo el desarrollo de la planta. Las coberturas de Gandul, Crotalaria y Brachiaria permitieron mantener rangos de temperatura del suelo adecuados para el aprovechamiento de los nutrientes.

## Especies utilizadas como sombra temporal

### *Gandul (Cajanus cajan)*

El Gandul es una leguminosa arbustiva, semi-perenne y de hábito erecto, que alcanza hasta 4 m de altura. Presenta raíces pivotantes, tallos vellosos, hojas trifoliadas, flores amarillas, vainas con 4 – 6 semillas de color café, negro, rojo, crema o manchadas.



Fotografía 34. Gandul (*Cajanus cajan*)

Es utilizada como sombra temporal en viveros y en el cultivo en campo mientras se desarrolla la sombra permanente. Mediante las podas de formación, el gandul aporta gran cantidad de materia orgánica y nitrógeno fijado de la atmósfera, con lo que se mejora la fertilidad del suelo. También favorece la conservación de humedad del suelo al disminuir las fluctuaciones de temperatura. El gandul es también indicado para uso como barrera viva siguiendo la orientación de las curvas a nivel.

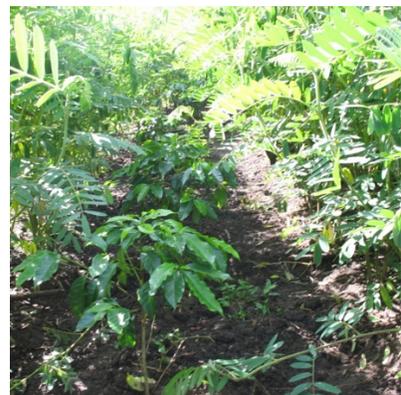
Esta especie se adapta bien a suelos de baja fertilidad, desde relativamente ácidos a alcalinos (pH 5.5 a 8.0). Crece bien hasta los 2000 m.s.n.m.. Es relativamente tolerante a la sequía.

Cuando es utilizada para sombra se cultiva en el medio de las hileras de café, colocando dos a tres semillas en posturas cada 4 plantas de café. Cuando se combina con Brachiaria se puede sembrar en surcos alternos. De esta forma se utiliza entre 0.5 a 1 kg de semilla/ha.

El corte del material vegetativo se realiza a los seis meses después de la siembra, tanto para la poda de formación de la sombra o cuando se utiliza como sombra temporal que puede aportar alrededor 6 a 10 toneladas por hectárea de biomasa fresca de acuerdo con datos obtenidos en ensayos de la Iniciativa *c&ciembra* en Chorreren 41.38 kilos. El rendimiento de materia seca dependerá de la densidad de siembra a utilizar y del momento del corte.

### *Tefrosia (Tephrosia candida)*

La tefrosia es una leguminosa arbustiva que llega hasta 3 metros de altura, de hábito erecto y hojas con numerosos folíolos. Sus flores son moradas o violáceas y las vainas, pubescentes. Sus semillas y raíces tienen efectos tóxicos, debido a compuestos que tienen carácter de insecticida. La tefrosia crece bien hasta los 1600 m.s.n.m., en áreas con rangos de temperatura media entre 20 y 30 °C y en suelos con pH entre 4.5 a 6.5. No soporta las heladas, pero es relativamente tolerante a la sequía.



Fotografía 35. Sombra temporal de tefrosia manejada también como abono verde.

Al igual que el gandul, la tefrosia es utilizada como sombra temporal para el café y como barrera viva para protección del suelo en áreas con alta pendiente. El método de siembra es similar al del gandul, mediante posturas de 2 a 3 semillas, distanciadas 2.5 metros entre surcos y cada un metro a uno punto cinco metros de distancia, requiere aproximadamente 0.25 kilos por hectárea de semilla.

El aporte de material vegetativo de las podas de formación contribuye a enriquecer el suelo con materia orgánica y nitrógeno que proviene de la fijación biológica.

### ***Crotalaria* (*Crotalaria anagyroides*, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria longirostrata*)**

Las crotalarias de porte alto (*C. anagyroides*, *C. juncea*, *C. longirostrata*) pueden ser utilizadas cuando se requiere de sombra temporal. La *C. juncea* puede crecer más de dos metros de altura; su crecimiento es favorecido durante los días largos. En días cortos entra rápidamente en floración no alcanzando la mayor altura. Son plantas de crecimiento anual, pero presentan capacidad de rebrote, por lo que mediante el manejo son adecuadas para proporcionar buena sombra durante más tiempo, o renovarse hasta que la sombra semipermanente provea la protección requerida por el cafetal.



**Fotografía 36.** Sombra temporal de *Crotalaria juncea*, manejada también como abono verde.

Cuando se cultivan en asocio con el café, la densidad de siembra de la sombra temporal dependerá de la especie a utilizar. Por ejemplo, *C. longirostrata* y *C. juncea*, utilizadas para sombra temporal se siembran en posturas: 3 semillas por postura y dejando un metro entre posturas, pueden ser cultivadas en surcos alternos dependiendo la cantidad de sombra que se necesite. Dependiendo del sistema de siembra se emplearán de 0.25 Kg de semilla/ha.

Se recomienda sembrarlas inmediatamente después de establecer el café. Su rápido crecimiento permite cortes precoces luego de 70 a 90 días de siembra. Deben realizarse podas de las ramas bajas para evitar que le generen sombra excesiva al café. Presenta un buen comportamiento y desarrollo en suelos arenosos o arcillosos y con buen nivel de fertilidad. Puede ser eliminada parcialmente por raleo al inicio de las lluvias del siguiente año, ser cortadas durante la plena floración para obtención de abono verde o dejarla hasta formación de vainas para obtener la semilla. En el caso del chipilín (hojas) y el gandul (semillas), parte del material vegetativo puede ser aprovechado elaboración de alimentos.

### **Té Limón (*Cymbopogon citratus*)**

El zacate limón o Té Limón es una gramínea que se cultiva para la obtención de aceite esencial el cual es utilizado en la elaboración de productos aromáticos y medicinales. Se reconocen las propiedades bactericidas y fungicidas del compuesto activo (citral) lo que ha permitido desarrollar una diversidad de productos empleados en la medicina natural y de acción desinfectante.

Esta planta se caracteriza por su crecimiento erecto, amacollador, que puede llegar a alcanzar hasta 2 metros de altura. Su crecimiento es favorecido en condiciones de clima cálido y húmedo con plena exposición solar, con mínimo de 1500 mm anuales bien distribuidos en el año y temperatura entre 22 y 28°C. Se desarrolla bien en suelos de moderada fertilidad, con texturas franco-arenosas a franco arcillosas y de pH cercano a la neutralidad.

Su propagación se realiza en forma vegetativa mediante la división de cepas o macollas que se plantan al inicio de las lluvias. El mayor uso de esta especie en asocio a café y otros cultivos ha sido para la protección del suelo. Por su hábito de crecimiento permite la formación de barreras vivas siguiendo el contorno de las curvas a nivel. La propagación es por división de cepas o macollas. La siembra para la formación de barreras vivas se realiza colocando pequeñas macollas en forma lineal cada 15 cm o siguiendo el método de tresbolillo (20 macollitas/metro).

## **A| Avances y resultados**

En febrero de 2014 se estableció cobertura de brachiaria (*B. ruziziensis*) y sombra temporal de gandul (*Cajanus cajan*) en un cafetal de 3.5 años en Sensenti, Honduras. El objetivo fue evaluar el efecto de las coberturas sobre la temperatura del suelo y la conservación de humedad. Para ello se instalaron dispositivos a 5 cm de profundidad en parcelas con y sin cobertura, registrando la temperatura cada 3 horas durante 240 días. La humedad del suelo se midió con tensiómetros

a 15, 20 y 25 cm de profundidad. Se midió la producción de biomasa de la cobertura, así como el desarrollo de las plantas de café.

Los resultados demostraron que en las parcelas con cobertura la temperatura del suelo solo excedió los 30°C en pocas ocasiones (3% de las lecturas) mientras que en suelo sin cobertura esta frecuencia se elevó diez veces más. Los resultados indicaron un ambiente más estable en las parcelas con cobertura, en relación con la temperatura del suelo.

**Tabla 8.** *Temperatura del suelo en parcelas sin y con cobertura de Brachiaria y sombra temporal de Gandul. (Promedio de 1800 lecturas)*

Rango de temperatura del suelo a 5 cm de prof.	Sin cobertura de suelo	Con cobertura de suelo
15 - 24 °C	21%	26%
25 - 29 °C	47%	71%
30 °C y arriba	31%	3%

Los resultados de humedad del suelo a los dos años de implementada la práctica demostraron que la cobertura promovió mayor contenido de humedad hasta los 30 cm de profundidad.

**Tabla 9.** *Contenido de humedad del suelo (%) hasta los 30 cm de profundidad parcela de café con y sin cobertura de suelo (Brachiaria) y sombra temporal (Gandul), en Sensenti, Honduras.*

% de humedad en el suelo			
Profundidad, cms	Con cobertura	Sin cobertura	Diferencia
15	49.7	43.7	+6
20	52.6	46.8	+5.8
25	52.7	51.8	+0.9
30	68.4	54.3	+14.1

Contrario a lo que se pensaría que las coberturas podrían estar compitiendo con el cultivo por el uso del agua, el efecto en la reducción de la temperatura del suelo favoreció menores pérdidas por evapotranspiración y en consecuencia mayor conservación de agua en el perfil.

Los resultados de la implementación de la práctica se reflejaron también en el desarrollo y productividad de los cafetos pues se registró incremento en altura y ancho de plantas, así como en el número de brotes, de bandolas y de granos por bandola y por planta.

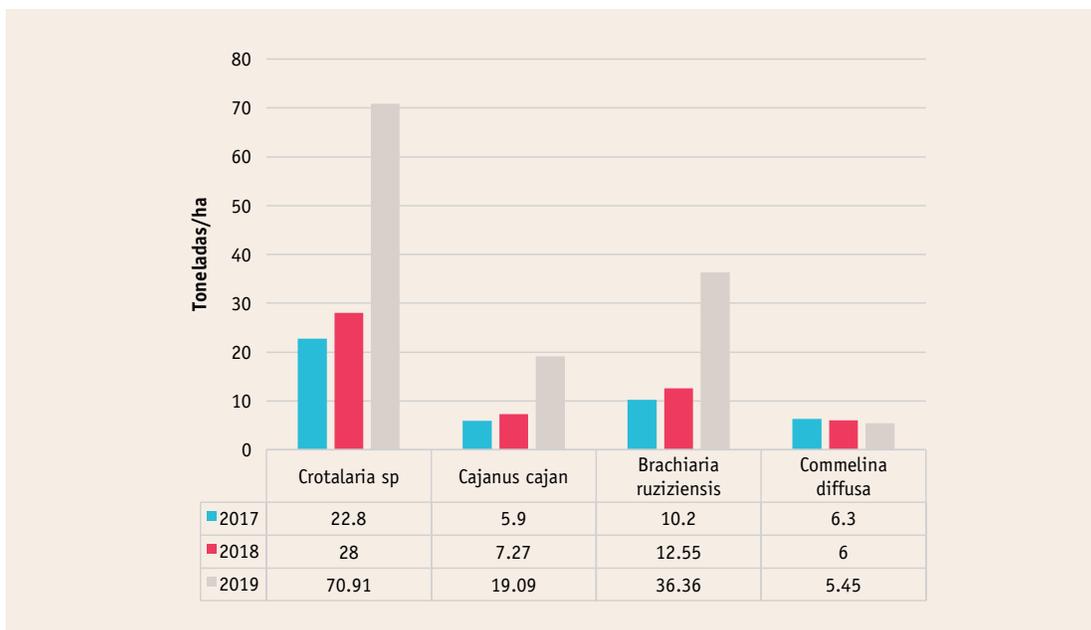
**Tabla 10.** *Características morfológicas de cafetos en áreas sin y con cobertura de Brachiaria y sombra temporal de Gandul.*

Características	Herramienta de adaptación	
	Sin cobertura	Con cobertura y sombra temporal
Altura de planta, m	1	1.3
Ancho de planta, m	0.9	1.1
Número de brotes	41	66
Número de granos/bandola	26	44
Bandolas con grano/planta	22	35
Bandolas sin grano/planta	6	9
Granos/planta	582	1541

En otra parcela demostrativa en Ocotepeque, Honduras, se procedió a implementar parcelas con coberturas de crotalaria, gandul, brachiaria y commelina. El objetivo fue reducir la temperatura del suelo por el mulch incorporado y obtener un mayor desarrollo vegetativo de las plantas en comparación a un tratamiento testigo sin cobertura. Se persiguió mejorar las condiciones del suelo por la incorporación de la biomasa generada por las coberturas. Los resultados confirmaron la reducción de la temperatura del suelo y la mayor conservación de humedad en todas las

parcelas con cobertura en comparación al testigo, lo que favoreció mayor altura y ancho de los cafetos, así como mayor la producción de grano.

La biomasa de las coberturas, con excepción de Commelina, se incrementó secuencialmente, indicando mejores condiciones para su desarrollo. En la figura 13 se muestra la producción de materia fresca en los tres años de observaciones.



**Figura 13.** Producción de biomasa fresca (T/ha) de plantas de cobertura en parcela demostrativa en Ocotán, Honduras.

A partir de los resultados obtenidos en esta localidad se deduce que se podrían llegar a incorporar al suelo alrededor de 8 toneladas de materia seca de crotalaria por hectárea y alrededor de 5 T/ha de pasto brachiaria.

Como consecuencia del ambiente más estable en relación con la temperatura y humedad, así como, por la frecuente incorporación de materia orgánica, la producción de café se incrementó considerablemente en las parcelas con cobertura de suelo (Tabla 12).

**Tabla 12.** Producción de café (Sacos de 60 Kg oro/ha) en parcela demostrativa de café con coberturas vivas. Ocotepeque, Honduras.

Especie	Cosecha 2018-2019	Cosecha 2019-2020
Crotalaria	17.2	21.3
Brachiaria	16.6	18.2
Commelina	15.8	17.1
Gandul	13.1	17.4
Testigo	2.8	3.4

Los resultados en el rendimiento de las coberturas son muy variables dependiendo de las condiciones bajo las cuales se desarrollan las especies. Como una comparación se presentan los resultados del rendimiento de materia fresca de especies utilizadas como cobertura, obtenidos en 5 parcelas demostrativas en Honduras, durante el año 2018. (Figura 14).

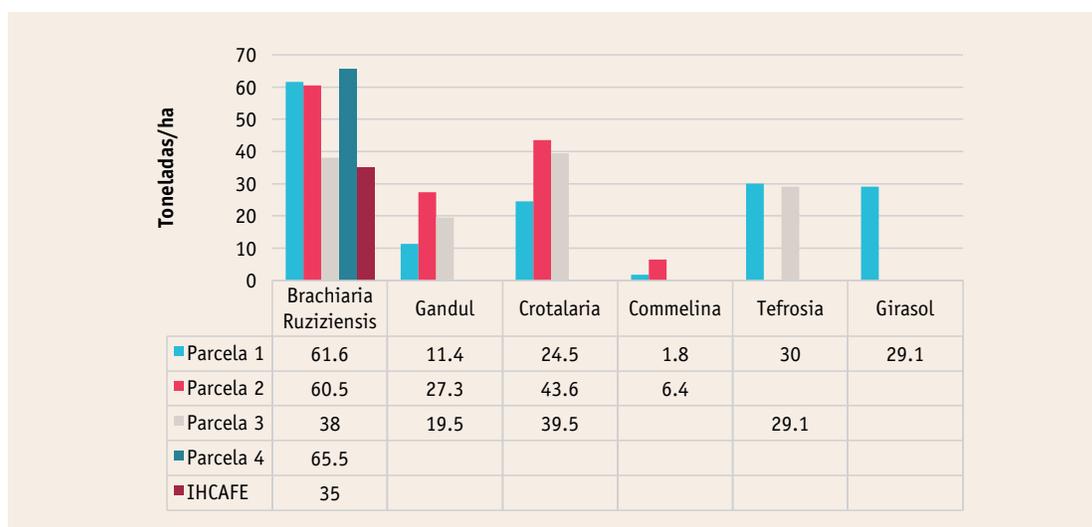


Figura 14. Producción de materia fresca de plantas utilizadas como cobertura en 5 parcelas demostrativas en Honduras.

En base a estos resultados, se concluye que la formación de coberturas vivas y la sombra temporal que proporcionan los cultivos asociados al café mejoran las condiciones ambientales, crean ambientes más diversos y contribuyen a la fertilidad del suelo, todo lo cual se refleja en plantas más sanas, vigorosas, más rendidoras y con mayor capacidad de recuperación a condiciones de clima adverso, particularmente a la sequía y altas temperaturas.

### Costos de la implementación

En relación con el costo de esta práctica debe considerarse el precio de las semillas, la mano de obra al momento de la implementación y la mano de obra necesaria para el mantenimiento y corte de las coberturas. Debido a que estos rubros son muy variables, dependiendo de la localidad, únicamente se presentan los costos y cantidad de semilla para la implementación de coberturas vivas.

Tabla 11. Cantidad y costo de semilla para la implementación de cobertura en cafetales.

Especie	Costo/kg US\$	Cantidad Kg/ha	Costo total US\$
Brachiaria ruziziensis	20	5.3	106.00
Gandul	0.6	41.4	24.9
Crotalaria sp.	6	4	24

Tabla 12. Cantidad y costo de semilla para la implementación de sombra temporal en cafetales.

Especie	Costo/kg US\$	Cantidad Kg/ha	Costo total US\$
Tefrosia	7.5	0.25	1.9
Gandul	0.6	0.5	0.3
Crotalaria sp.	6	0.25	1.5

## B| Recomendaciones

Se debe seleccionar la especie de acuerdo con su adaptabilidad a la zona, tomando en cuenta la altitud y las condiciones de temperatura de la región. Como ejemplo, la *brachiaria* tiene una mejor adaptación en plantaciones nuevas y con buena luminosidad, su costo inicial puede parecer alto, pero no existen necesidad de resembrarse al contrario de las otras coberturas no gramíneas, mientras que la canavalia se podrá adaptar a cafetales ya establecidos debido a su mayor tolerancia a la sombra, vigilando que no “enrede” a las plantas de café.

El espacio entre hileras del cultivo de café debería ser suficiente para permitir el desarrollo de los cultivos de cobertura (al menos 2.5 m en el caso de gramíneas, en el caso de no gramíneas puede ser utilizadas desde 2.0 m). Sin embargo, en plantaciones ya establecidas con menor distancia entre surcos de café es factible favorecer la presencia de algunas plantas de porte bajo que comúnmente acompañan a la plantación (tréboles y commelina).

Se recomienda mantener una constante supervisión en el desarrollo de las coberturas de manera que no invadan el espacio de exploración de las raíces de café. Como mínimo debe mantenerse limpia una distancia de 0.5 m de la punta de las bandolas, esto reduce la competencia por agua y nutrientes.

Seleccionar especies cuya semilla sana, libre de semillas de malezas y que sea fácil de encontrar en la región. De existir posibilidades, se recomienda destinar un área pequeña para producir semilla de leguminosas o tratar de obtenerla de productores reconocidos por la calidad de semillas.

## 4.7 Aplicación de riego por goteo

En la región del Trifinio el suministro de agua para el cultivo del café ocurre básicamente a través de las lluvias; sin embargo, en los últimos años han ocurrido cambios ambientales caracterizados por aumento de las temperaturas, variabilidad de las lluvias y períodos de sequía más prolongados, que afectan negativamente la producción. Bajo estas condiciones, el riego se convierte en la mejor alternativa para mitigar los efectos negativos del cambio climático sobre la producción del café. Por ello se consideró importante iniciar la evaluación del potencial de la práctica de riego por goteo en la productividad y rentabilidad del café a nivel de las comunidades de pequeños productores de café de la región.

El cultivo de café se desarrolla bien con un mínimo de 1300 mm de lluvia anual adecuadamente distribuida. Sin embargo, hay variación en el requerimiento de agua en el café dependiendo de las diferentes etapas del desarrollo vegetativo. Así, por ejemplo, durante la cosecha y posterior a ella, los cafetos requieren menos humedad por lo que la falta de lluvia no tendrá un efecto negativo en su desarrollo. Durante este período de bajo requerimiento de agua ocurre la diferenciación de las yemas florales que serán responsables de la siguiente cosecha.

Es necesario un período de mes y medio a dos meses de estrés hídrico después de la diferenciación de las yemas florales para que ocurra una abundante floración. Hacia el final de ese período de estrés hídrico moderado, con el estímulo de una lluvia de 8 a 10 milímetros las flores abrirán entre 8 a 15 días después de la lluvia. Posterior a la floración condiciones de altas temperaturas y poca humedad afectarán negativamente el desarrollo de los frutos y granos. En estos casos el riego puede mitigar dichos efectos y asegurar una mejor producción y productividad.

En la figura 15 basada en un cuadro de los científicos Camargo y Camargo (2001) adaptada al hemisferio norte y simplificada, se indica el desarrollo en promedio que tiene una planta de café iniciando en el primer año con el crecimiento vegetativo de tallos, ramas, hojas y formación de las yemas foliares (yemas no diferenciadas) en las axilas de las hojas. En este período que va de aproximadamente marzo a septiembre no debería haber déficit de agua.

Otro período crítico ocurre en el segundo año a partir de la floración, durante el crecimiento y llenado de los frutos. En este período la falta de agua tendría consecuencias negativas pues puede inducir a la formación de granos pequeños, granos negros y frutos vanos. Mientras tanto, en una fase previa a la cosecha es deseable que el suministro de agua disminuya para que pueda darse la maduración de los frutos.

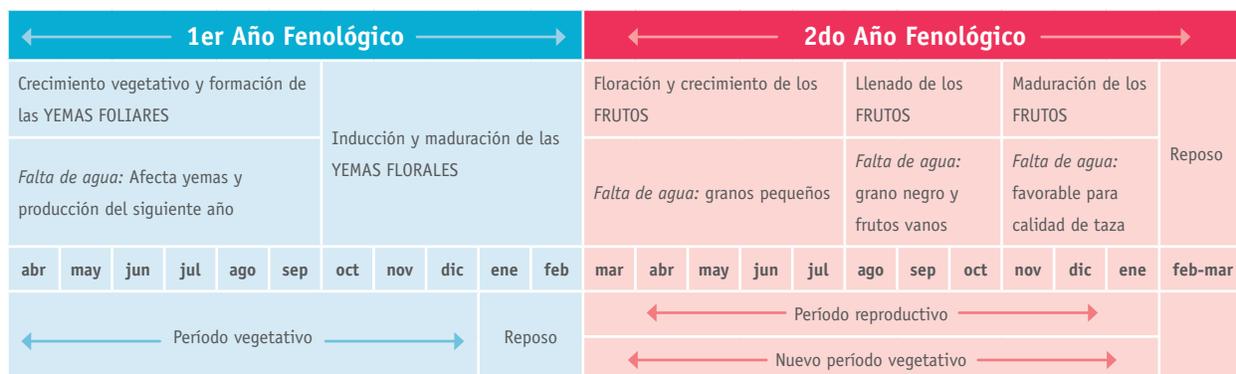


Figura 15. Ciclo de desarrollo y producción de una planta de café adaptado de Camargo y Camargo, 2001.

En resumen, la falta de agua en las diferentes fases de desarrollo del café tendría un efecto negativo acumulado que afectaría finalmente la producción y productividad de la planta. El cambio climático acentuaría el déficit de agua en los momentos clave por variaciones de los patrones de lluvia o períodos de sequía más prolongados por lo que la aplicación del riego podría mitigar ese efecto negativo.

Los primeros usos del riego en el cultivo del café en Latinoamérica se reportan en Brasil, alrededor del año 1946, sin embargo, un uso más práctico se indica en este país a partir de 1984 cuando el cultivo se fue ampliando hacia zonas consideradas marginales por su limitada cantidad de lluvia, y donde el riego se aplicaría como irrigación de auxilio o salvación bajo sistemas denominados de cañón y tripa. Luego el riego se fue tecnificando, agregándose los sistemas de pivote central y riego por goteo. En Brasil el sistema por goteo tiene un amplio uso, desde las fincas pequeñas hasta las fincas empresariales, aplicado ya sea como único método de riego o combinado con otros sistemas.

El sistema de riego por goteo puede definirse como el sistema donde el agua se aplica de manera dirigida y localizada en la zona de mayor aprovechamiento por las raíces de las plantas. El riego por goteo se caracteriza por dicha localización que implica un humedecimiento parcial del área total donde el cultivo está instalado. Las raíces van a concentrar entonces su crecimiento en los volúmenes de suelo humedecidos, modificándose el crecimiento radicular de la planta.

Cuando el agua se aplica de manera puntual se difunde en el suelo mediante un flujo de tres dimensiones formando los denominados bulbos de humedecimiento, donde la forma depende de la textura: en suelos arenosos el bulbo adquiere una forma más alargada y en suelos arcillosos más achatada (redondeada). El tamaño depende del flujo de salida del agua y del tiempo de irrigación.

## A| Implementación de la práctica

La práctica del riego por goteo presenta las siguientes ventajas: incrementa el desarrollo del sistema radicular y en consecuencia la absorción de nutrientes es más eficiente, reduce el estrés hídrico, las plantas son más vigorosas y con mejor desarrollo vegetativo generando una mayor producción.

Sin embargo, hay una serie de retos que deben abordarse: la falta de información sobre el uso de riego por goteo del café en Centroamérica y la región del Trifinio, consideraciones sobre la ubicación y topografía del terreno, también puede representar una alta inversión inicial, necesidad de una fuente agua o considerar la construcción de estructuras de cosecha de agua. Además, hay que considerar que si el riego no es manejado adecuadamente puede causar muchas floraciones y en consecuencia un crecimiento disperejo de los frutos.



Para la instalación del sistema de riego se debe contar con el asesoramiento técnico para la construcción de un tanque, de una capacidad mínima de 20,000 litros de agua que será aplicada mediante cintas de riego. Además, habrá que estimar la cantidad de tubos, mangueras y accesorios para implementar el sistema de riego. Las cintas de riego van conectadas desde una tubería proveniente del tanque de agua. Se aplican las mismas dosis de fertilizante, e igual manejo de limpias y productos foliares.

## B| Avances y resultados

La parcela de prueba de riego por goteo se implementó en marzo de 2016 en la región de San Francisco del Valle, Ocotepeque, Honduras. La lluvia promedio anual de la zona es de 1500 milímetros. La variedad de café es Catucaí Amarelo 2SL, sembrada a una distancia de 3 x 0.8 metros. El Catucaí 2SL es una variedad de porte bajo, frutos amarillos de maduración intermedia y granos de tamaño medio. Se ha observado que en condiciones de campo es menos afectada por la enfermedad *Phoma* que las variedades Catucaí, Borbòn amarillo y Mundo Novo. La variedad Catucaí 2SL también está recomendada en Brasil para cultivarse bajo sistemas de riego por goteo en zonas climáticamente cálidas, intermedias y frías.

Se registró el crecimiento de altura y ancho de las plantas de octubre de 2016 a septiembre de 2019, observándose mayor desarrollo en las plantas donde fue aplicado el riego. (Figura 16).

Además del mayor desarrollo vegetativo de las plantas con riego, se obtuvo mayor productividad en las cosechas de los años 2017-18 y 2018-19. (Figura 17). La producción acumulada de esos dos años de cosecha brinda una diferencia de 45.8 sacos de 60 kg-oro/ha a favor de la parcela con riego de goteo. En términos económicos esa diferencia se convierte en ingresos, integrando

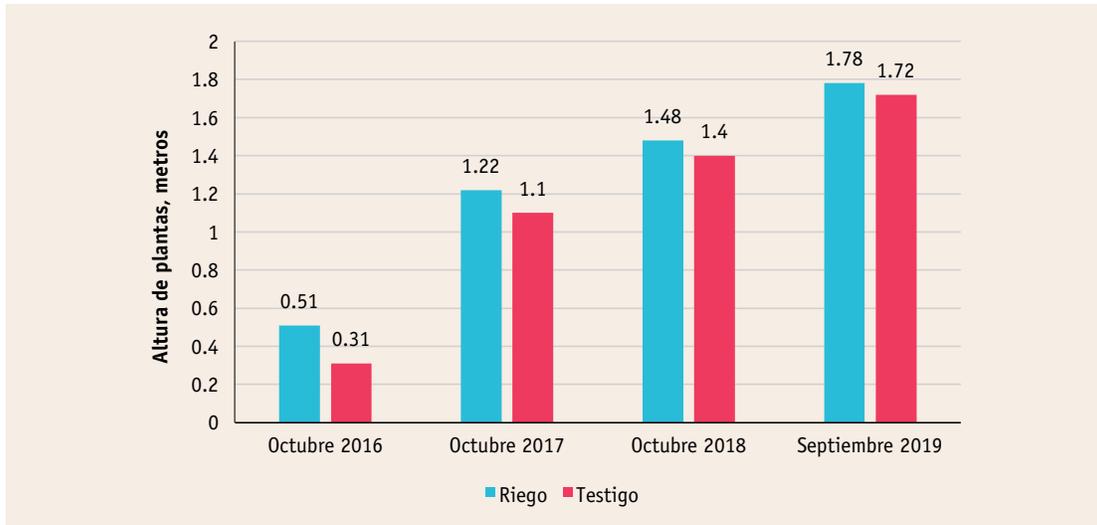


Figura 16. Altura promedio de las plantas con riego y sin riego.

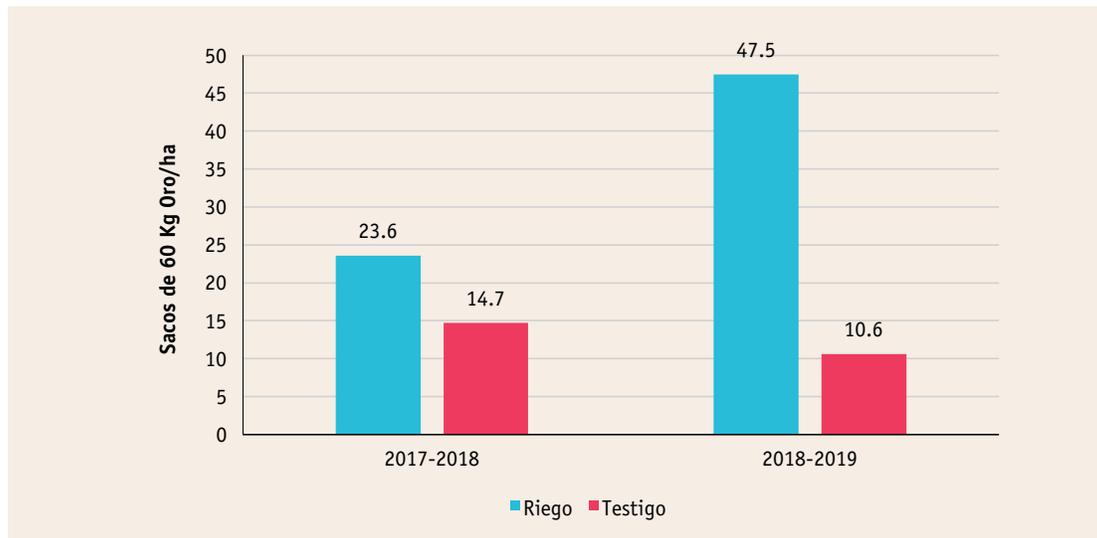


Figura 17. Productividad sacos 60 kg/ha de las cosechas 2017-18 y 2018-19 de las parcelas con riego y testigo sin riego.

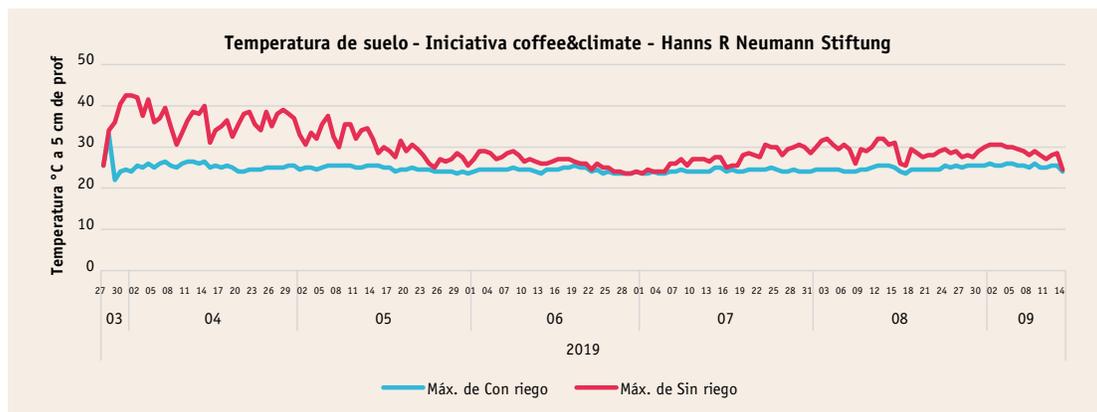


Figura 18. Comparación de variaciones de temperatura del suelo en parcelas con riego y sin riego.

los dos años, equivalentes a USD 8,150 por el café comercializado a través de la organización. Las significativas diferencias de producción a favor de la parcela regada muestran la importancia de proveer agua a la planta en las etapas fenológicas clave como la diferenciación de yemas, estímulo de floración, pegue de la flor y llenado del grano. El crecimiento debe tomarse solamente como un dato de referencia.

Las mediciones de temperatura del suelo muestran que la parcela con riego mantuvo una temperatura más baja y estable, ideal para el desarrollo radicular del café. La parcela sin riego alcanzó niveles de temperatura más altos superiores a los niveles adecuados, limitando el desarrollo y crecimiento óptimo de las raíces y en consecuencia del follaje de las plantas (Figura 18).

### Costo de la implementación

Para la implementación del sistema de riego de esta parcela se invirtió en materiales el equivalente a USD 675 por hectárea. La mano de obra requerida fue de 5 jornales. La instalación del sistema de riego se realizó con doble manguera y estuvo a cargo del propietario de la finca que es un profesional agrícola lo cual disminuyó los costos. Los costos de implementación de un sistema de riego pueden variar en función del equipo a utilizar llegando a costar un aproximado de USD 5,000 por hectárea en sistemas con fertirriego, con sensores de humedad y computadora de riego.

### C| Recomendaciones

Se recomienda ampliar las evaluaciones de riego por goteo en la región del Trifinio con otros productores interesados y con disponibilidad de recursos para la inversión inicial. Los incrementos de producción en la parcela con riego indican que a mediano plazo la inversión es altamente rentable. Considerar que con este sistema de producción se realiza nutrición con fertilizantes hidrosolubles o se pueden evaluar otras experiencias de fincas donde utilizan mezclas químicas diluidas.

**Hanns R. Neumann Stiftung  
como implementador del coffee&climate**

**Pablo Ruiz**

Co-gerente HRNS Centroamérica

*[pablo.ruiz@hrnstiftung.org](mailto:pablo.ruiz@hrnstiftung.org)*

Guatemala, Enero 2020