

# RELACIÓN ENTRE EL PROCESO DE BENEFICIO DE LA SEMILLA DE CAFÉ (*Coffea arabica* var. Colombia) Y EL DISTURBIO DE LA RAÍZ BIFURCADA <sup>1</sup>

Gloria Patricia Velásquez<sup>†</sup>; Jaime Arcila Pulgarín<sup>\*\*</sup>; Manuel Aristizábal Loaiza<sup>\*\*\*</sup>

---

## RESUMEN

VELÁSQUEZ, G. P.; ARCILA, P., J. ARISTIZÁBAL, L., M. Relación entre el proceso de beneficio de la semilla de café (*Coffea arabica* var. Colombia) y el disturbio de la raíz bifurcada. *Cenicafé* 54(4):316-328. 2003

Se estudió la ocurrencia del disturbio denominado “raíz bifurcada” en plantas de café en germinador, de muestras de semillas provenientes de diferentes etapas en tres sistemas de beneficio: Manual, tradicional y ecológico y además, el efecto del disturbio en el crecimiento y desarrollo de las plantas en almácigo. Se utilizaron pruebas de germinación en arena para evaluar la presencia de raíz bifurcada y en cajas plásticas para evaluar la calidad de la semilla. Se encontró mayor porcentaje de raíz bifurcada en la semilla obtenida al salir del desmucilagador, del separador de aguas y del secador mecánico, en el sistema de beneficio ecológico, alcanzando valores de 11,9 10,5 y 9,9%, respectivamente, con relación a los demás sitios de muestreo en el beneficio manual y tradicional. No se encontraron diferencias estadísticas para el porcentaje de germinación en los diferentes tratamientos. La relación chapola/fósforo fue mayor en el beneficio manual y presentó diferencias estadísticas con los demás sistemas de beneficio. Se concluye que la semilla sufre deterioro en la punta de la radícula del embrión al pasar por el desmucilagador y ese daño se manifiesta posteriormente como bifurcación de la raíz pivotante y reducción en la relación chapola/fósforo.

**Palabras claves:** *Coffea arabica* L. cv. Colombia, semilla, proceso de beneficio, daño mecánico, germinación, raíz bifurcada.

---

## ABSTRACT

Bifurcated roots in coffee seedlings coming from samples of seeds taken at different stages of three type of processing systems: manual, traditional and ecological and the effect on growth and development of plants in nursery, was studied. Sand germination was used in order to evaluate bifurcated root presence; seed quality was evaluated in plastic boxes. Seedlings with bifurcated tap root was found in the Becolsub processing system at the end of steps of mechanical mucilage removal of the water flow separator and of the mechanical drying, reaching values of 11.9, 10.5 and 9.9%, respectively, with respect to the other sampling sites in manual and traditional processing. There were no differences in the germination among treatments. The ratio of seedlings with full expanded cotyledon/not expanded cotyledon was significantly higher in the samples from manual process. In relation to the effect of the root tap bifurcation on the growth of the coffee plants in the nursery, significant differences were found among dry weights of roots and shoots in favor of the plants with bifurcated roots. However the root/shoot ratio did not differ. The tip of the seed's embryo suffer mechanical damage in mechanical mucilage removers, and it is likely to result in bifurcation of tap root of seedlings after germination and reduction of the ratio of seedlings with fully expanded cotyledons/not expanded cotyledons.

**Keywords:** *Coffea arabica* L. Cv Colombia, seed, processing, mechanical damage, germination, tap root bifurcation.

---

<sup>1</sup> Fragmento de la tesis “Relación entre el proceso de beneficio y el disturbio de la raíz bifurcada de café” presentado a la Universidad de Caldas para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

<sup>\*</sup> Estudiante, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Programa de Agronomía. Universidad de Caldas. Manizales.

<sup>\*\*</sup> Investigador Principal I. Fitotecnia. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia

<sup>\*\*\*</sup> Profesor Titular, Programa de Agronomía, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia

La buena calidad de la semilla utilizada en las siembras de café es el primer paso para garantizar el desarrollo óptimo del cultivo, porque permite obtener transplantes vigorosos y de buenas características fenotípicas.

Entre los factores que afectan la calidad de la semilla se encuentran, la variedad, las condiciones de cultivo, la cosecha en el punto apropiado de madurez fisiológica, el procesamiento adecuado que no cause daños mecánicos a la semilla por fracturas o fricciones, las condiciones de secado, el contenido de humedad final y la edad de la semilla (4, 7, 9).

Una semilla de café de buena calidad se caracteriza por presentar tamaño uniforme, ausencia de defectos como granos caracoles, monstruos, vanos, brocados, alta viabilidad o poder germinativo, generalmente mayor del 90%, buen vigor de las plántulas al germinar y un sistema radical bien conformado (10, 15).

En Colombia, tradicionalmente las semillas de café se obtenían en cada finca, se procesaban manualmente y se secaban a la sombra (12). Con la aparición de variedades mejoradas multilíneas, como la variedad Colombia, se necesitó cambiar a un sistema de producción de semilla controlado tanto en el cultivo como en el procesamiento, secado y almacenamiento (10).

A través de diferentes investigaciones en Cenicafé se estableció que, en general, es posible emplear con la semilla el mismo proceso de beneficio húmedo tradicional utilizado para obtener café pergamino seco comercial (15). Este proceso de beneficio comprende varias etapas como: despulpado, remoción del mucílago que recubre la semilla por fermentación o mecánicamente, lavado y transporte

de los granos. Igualmente se demostró que era posible secar artificialmente la semilla (3), aunque con algunas precauciones durante el secado, ventilando las primeras 24 horas y luego secándolo a 37<sup>o</sup> C, buscando que el contenido de humedad final se encuentre entre 11,5 y 12,5% (1). También se estableció que es posible almacenar la semilla así procesada, hasta por 2 años sin que pierda viabilidad, a 10°C y 75% de HR. Sierra *et al* (14), demostraron que también es posible remover el mucílago de las semillas con un desmucilagador mecánico. Por razones de menor costo y riesgo ambiental, se adoptó el sistema Becolsub para el proceso de beneficio de la semilla.

Recientemente se detectó bifurcación de la raíz pivotante en plántulas originadas de lotes de semilla de variedad Colombia que distribuye la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia<sup>1</sup>, lo cual, según observaciones preliminares, coincide con la utilización del proceso Becolsub y sugiere que esta anomalía posiblemente se deba al daño mecánico a la semilla en alguna etapa de dicho proceso de beneficio.

El deterioro mecánico de las semillas, en general, puede ocasionarse por impactos y/o abrasiones de los granos contra superficies duras o contra otras semillas durante el beneficio, lo que provoca defectos como semillas mordidas y fragmentadas, entre otros. Algunos daños mecánicos causados al embrión, como fractura y colapso, sólo se observan después de la germinación del grano y se manifiestan en anomalías como semillas separadas, tejidos cicatrizados, restricción de crecimiento de la planta, posición desigual de los cotiledones, raíces primarias e hipocótilos divididos o atrofiados y raíces torcidas, con puntas en forma de rombo y de aspecto blando, además de bifurcación de la raíz (16).

<sup>1</sup> Alvarado, G. 1996, Oficio BMG-032 del 15/03/1996)

Según Baudet (8), los efectos del daño mecánico en la viabilidad y vigor de una semilla pueden ser: Inmediatos, cuando las semillas rápidamente pierden capacidad de germinar normalmente; latentes, cuando la germinación no es inmediatamente afectada pero el potencial de almacenamiento y el vigor de las plantas en el campo son reducidos. Confirma además que las semillas dañadas mecánicamente no mantienen el vigor durante el almacenamiento, debido a que los daños afectan la tasa de respiración y si son heridas, permiten la entrada de microorganismos. Además, impiden la viabilidad hasta el momento de la siembra.

El daño de la raíz puede afectar algunas de sus funciones como la de proporcionar anclaje de la planta al sustrato y absorber agua y minerales.

El sistema de raíces de la planta de café está formado por (a) una raíz pivotante fuerte, central y a menudo múltiple (más de una bifurcación), que profundiza entre 30 y 50cm; (b) raíces axiales, en número de 4 a 8, que crecen verticalmente por debajo del tronco de la raíz principal, se originan a menudo por la bifurcación de la raíz pivotante y dan con frecuencia origen a raíces laterales que ramifican hacia abajo en todas las direcciones o profundidades; (c) raíces laterales, que crecen paralelamente al suelo entre 1,2 y 1,8m de distancia, algunas de las cuales llegan a ser geotrópicamente positivas (11).

Una mala formación del sistema radical puede ser causa de limitaciones en el crecimiento de los cafetales. Entre los principales disturbios del sistema radical se destacan: el *retorcimiento o cola de marrano*, generalmente como resultado de la falta de cuidado al momento del trasplante; la *bifurcación de la raíz*, que consiste en la división de la raíz pivotante en dos ramales o brazos en forma de horquilla, causada por el corte

alto de la raíz al momento del trasplante, produce un sistema radical superficial que puede tener repercusiones más tarde en el anclaje de la planta y en la producción, ocurre en etapa de semillero y se observa corrientemente en los estados de 'fósforo' y 'chapola'.

Esta investigación tuvo como objetivo establecer si en alguna etapa del proceso de beneficio manual, tradicional o ecológico (Becolsub), se produce daño mecánico a la semilla y su relación con la presencia del disturbio de la raíz bifurcada en plántulas de café en semillero. Se evaluó además el efecto de esta anomalía en el crecimiento de las plantas en la etapa de almácigo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se hizo en dos fases: La primera con el fin de identificar si alguna etapa del proceso de beneficio, manual y tradicional o la utilización del Becolsub, se relaciona con la presencia del disturbio de raíz bifurcada en plantas de café en semillero. En la segunda se evaluó el efecto de ese disturbio en el crecimiento y desarrollo de las plantas en almácigo.

**Toma de muestras.** Durante algunas etapas del beneficio la semilla está sujeta a condiciones que pueden causarle daño mecánico al endospermo y al embrión. Debido a que en la semilla de café la radícula del embrión está muy expuesta, es posible que cualquier daño mecánico en su ápice conduzca a la presencia del disturbio de la raíz bifurcada. Se evaluaron tres sistemas de beneficio: manual, tradicional y ecológico (Becolsub).

La toma de muestras de semilla para esta primera fase se hizo en el beneficiadero de la Subestación Experimental Maracay, ubicada en el municipio de Quimbaya (Quindío). Los muestreos se hicieron en aquellas etapas

de los procesos de beneficio tradicional y ecológico, donde la semilla estaba expuesta a mayor riesgo de daño mecánico.

Cada muestra se benefició según el protocolo descrito en la Tabla 1. Para cada tipo de beneficio y etapa se hicieron 10 evaluaciones, cada una en días y con lotes de semilla diferentes. Después de beneficiadas las muestras, se tomaron submuestras para realizar pruebas de germinación en arena para evaluar la presencia de raíz bifurcada y pruebas de germinación en cajas plásticas para evaluar calidad de semillas. Estas pruebas de germinación se realizaron en Cenicafé-Planalto.

**Beneficio manual.** Se tomaron muestras de 5kg de café cereza de la tolva de recibo, se despulparon manualmente y se llevaron a fermentar durante 18h. Después se lavaron con abundante agua y por último se colocaron en cajas plásticas con paredes y fondo perforados, para someterlas a secado mecánico en donde se ventilaron durante 8h. Luego se secaron a 37°C durante 32h. Así, se obtuvo un peso promedio de 726g de café pergamino con 11% de humedad. Todas las muestras se pasaron por un monitor malla 14 que separó granos normales, granos monstruo, impurezas y granos de tamaño pequeño.

El café normal así seleccionado, se llevó a un panel de personal seleccionador el cual separó manualmente la semilla de mejores características físicas de las semillas defectuosas, como triángulos y granos brocados, pelados, aplastados o partidos.

Luego de la selección se tomó una muestra de 400g, de la cual y por el método de cuarteo, se tomaron finalmente 200 semillas para las pruebas de germinación en arena y en cajas plásticas. En cada prueba se emplearon 100 semillas tomadas al azar.

**Beneficio tradicional.** En este proceso de beneficio entraron 100kg de café cereza. Se tomaron muestras de 2kg al salir de la despulpadora, del tanque de fermentación, del tanque de lavado, del separador de aguas y del secador mecánico (Tabla 1).

Con las muestras se completó manualmente el beneficio según fuera necesario: la muestra tomada al salir de la despulpadora se puso a fermentar durante 16h, luego se lavó con abundante agua y por último, se llevó al secador mecánico; la muestra tomada del tanque de fermentación se lavó con abundante agua y se llevó al secador mecánico; las muestras tomadas del tanque de lavado y del separador de aguas se llevaron al secador mecánico.

**Tabla 1.** Descripción de las etapas de muestreo para los diferentes tipos de beneficio. Subestación Maracay.

Tipo de beneficio	Tratamiento	Etapas de beneficio	Tipo de café
Manual	To	Labores manuales	Cereza
Tradicional	BT1	Al salir de la despulpadora	En baba
Tradicional	BT2	Al salir del tanque de fermentación	Húmedo
Tradicional	BT3	Al salir del tanque de lavado	Húmedo
Tradicional	BT4	Al salir del separador de aguas	Húmedo
Tradicional	BT5	Al salir del secador mecánico	Pergamino
Ecológico	BE6	Al salir de la despulpadora	En baba
Ecológico	BE7	Al salir del desmucilagador	Húmedo
Ecológico	BE8	Al salir del separador de aguas	Húmedo
Ecológico	BE9	Al salir del secador mecánico	Pergamino

Todas las muestras se ventilaron durante 8h y luego se secaron a 37°C durante 32h. Al salir del secador las muestras se pasaron por el monitor malla 14 y el material seleccionado se llevó al panel de seleccionadoras.

Al igual que en el proceso de beneficio manual (testigo), de cada uno de los tratamientos se tomaron 200 semillas para las pruebas de germinación en arena y en cajas plásticas.

**Beneficio ecológico.** En este proceso de beneficio entraron 100kg de café cereza. Se tomaron sendas muestras de 2kg al salir de la despulpadora, del desmucilagador mecánico, del separador de aguas y del secador mecánico (Tabla 1).

Con las muestras obtenidas en cada una de las etapas de beneficio se terminó el proceso manualmente: La muestra tomada al salir de la despulpadora se puso a fermentar durante 16h, luego se lavó con abundante agua y por último se llevó al secador mecánico; las muestras tomadas al salir del desmucilagador mecánico y del separador de aguas se llevaron al secador mecánico. Todas las muestras se ventilaron durante 8h y se secaron a 37°C durante 32h.

Al igual que en los procesos anteriores, las muestras pasaron por el monitor malla 14, luego por panel de seleccionadoras y de cada una de ellas se tomaron 200 semillas para las pruebas de germinación.

**Pruebas de germinación en arena.** Se tomaron 100 semillas con pergamino (unidad experimental) del material obtenido de cada una de las etapas de muestreo, luego se sembraron en arena (aproximadamente 3.000 semillas por m<sup>2</sup>), se taparon completamente con costales para simular penumbra durante 60 días y riego diario. Después de 75 días se hicieron registros de: número de semillas

germinadas, chapolas, fósforos, chapolas con raíz bifurcada, fósforos con raíz bifurcada, total de chapolas y fósforos y relación chapola/fósforo; además, se registraron otras anomalías como “*silla turca*” y poliembrionía.

### **Pruebas de germinación en cajas plásticas.**

Se pusieron a germinar grupos de 100 semillas sin pergamino (eliminado manualmente) del material obtenido en cada una de las etapas de muestreo, en cajas plásticas de 8cm de largo por 13cm de ancho, sobre una toalla de papel blanco humedecida, en condiciones de total oscuridad y temperatura ambiente, se aplicó riego diariamente de 3mL de agua por caja. Luego de 30 días se registró el número de semillas germinadas y de éstas, el número con raíz bifurcada; además, se hicieron registros de poliembrionía y de embriones expulsados.

Se calcularon promedios y variación del porcentaje de semillas con raíz bifurcada en cada uno de los sistemas de beneficio. Se efectuaron pruebas de comparación de contraste de acuerdo con la prueba F al nivel del 5%, del sistema manual vs los sistemas tradicional y ecológico.

Además de las pruebas de germinación, se hicieron observaciones histológicas con el fin de establecer los eventuales cambios anatómicos presentes en las raíces bifurcadas respecto a las raíces normales. Se hicieron observaciones en el microscopio de luz para lo cual se tomaron muestras de raíces normales y con el disturbio, se fijaron en Karnovsky, se incluyeron en resina Spurr y se hicieron cortes semifinos transversales de las raíces (normales y bifurcadas) para observarlas al microscopio (13). Se realizó un registro fotográfico de las características anatómicas de interés.

En la segunda fase del experimento se evaluó el efecto del disturbio de raíz bifurcada

en el crecimiento y desarrollo de la planta de café en almácigo. Se sembraron 100 plantas con raíz normal (Tratamiento 1) y 100 plantas con raíz bifurcada (Tratamiento 2), provenientes de las pruebas de germinación en arena de la primera fase. Para la siembra se utilizaron bolsas para almácigo de 17cm de ancho por 23cm de profundidad, que se llenaron con un sustrato de tierra-lombricompuesto en relación 3:1. Estas plantas, desde el momento de siembra, se sometieron a todas las prácticas agronómicas necesarias, como riego diario y desyerba quincenal.

En las dos fases del experimento, el diseño empleado fue completamente aleatorio.

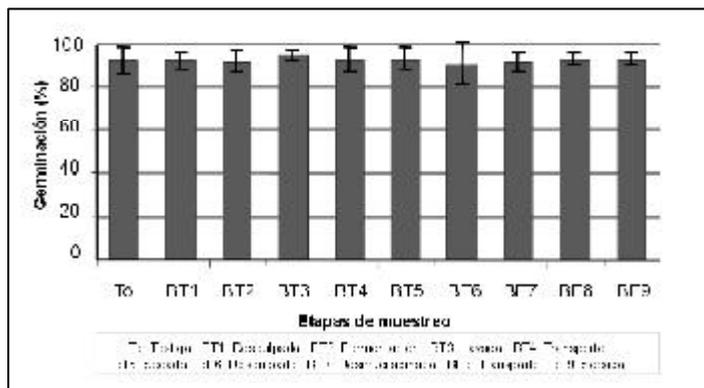
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Efecto del sistema de beneficio en la germinación.** Pruebas germinación en arena. Setenta y cinco días después de establecidas las pruebas de germinación en arena, las plantas mostraban diferentes estados de desarrollo, se observaron chapolas y fósforos normales y atrasados, y poliembriónía. No se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos para el porcentaje de germinación, que para todos los casos fue superior al 90% (Figura

1). En el sistema de beneficio manual o testigo dicho valor fue del 92,6%, el cual se considera alto (Figura 1); en este caso, las semillas estuvieron expuestas a un mínimo de posibles daños mecánicos, además la presencia de la testa o pergamino protege en gran parte la semilla de golpes o fricciones que se hubieran podido presentar en el momento de realizar, en forma manual, las labores de beneficio de las muestras.

En el beneficio tradicional, los porcentajes de germinación variaron entre 92,3 y 95%, que son considerados altos (Figura 1). Ninguna de las labores asociadas a este sistema produjo daño suficiente para ocasionar reducción en la germinación. En el beneficio ecológico los porcentajes de germinación oscilaron entre 90,8 y 93,5% y al igual que en los dos sistemas de beneficio anteriores, no hubo reducción del mismo en la semilla obtenida en las diferentes etapas.

Pruebas de germinación en cajas plásticas. Éstas, se realizaron para detectar en forma rápida (30 días) la presencia de raíz bifurcada, ya que con relación a la prueba de germinación en arena las evaluaciones se hacen 45 días antes. En cuanto al porcentaje de germinación no se observaron diferencias estadísticas entre las semillas provenientes de las distintas etapas



**Figura 1.** Porcentaje de germinación en arena, a los 75 días, de semillas procedentes de muestras tomadas en diferentes etapas de tres procesos de beneficio: manual, tradicional y ecológico.

de muestreo (Figura 2), y cuyo valor fue del 93,7% en la semilla beneficiada manualmente; se observa que la germinación no se afecta en este sistema debido a que las labores de beneficio se realizaron con el mayor cuidado para no provocar ningún tipo de daño mecánico a la semilla.

En el beneficio tradicional la germinación varió entre 86,2%, en la semilla tomada del separador de aguas, y 93,7% en la semilla proveniente de los tanques de lavado y de fermentación. Esta disminución en el porcentaje de germinación se debe posiblemente a la presencia de lixiviados en el papel humedecido en el que las semillas se embeben para su posterior germinación. Estos lixiviados se presentan por la pérdida de integridad de las membranas celulares cuando las semillas son expuestas a golpes, choques o fricciones durante las diferentes etapas del proceso de beneficio; además, están relacionados directamente con la pérdida de capacidad de germinación de la semilla de café (6).

En el sistema de beneficio ecológico el porcentaje de germinación varió entre 84,8%, en la semilla tomada al salir del secador mecánico (el cual es una sumatoria de etapas y por consiguiente de daño), y 90,4%, en la proveniente de la despulpadora (Figura 2).

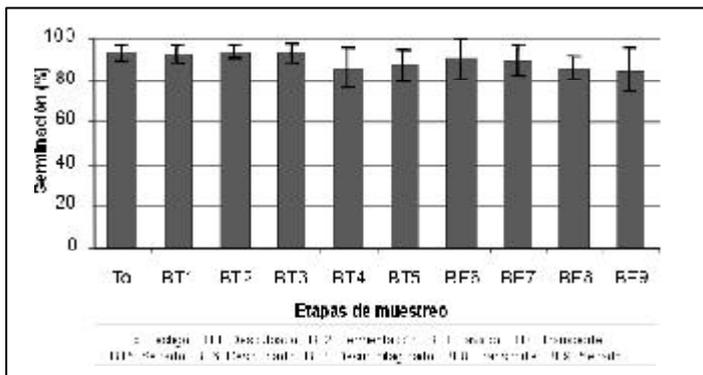
Al igual que en el beneficio tradicional, la germinación se redujo por las mismas razones expuestas.

Efecto del sistema de beneficio en la relación chapola/fósforo. La relación chapola/fósforo es la proporción de semillas germinadas que se encuentran en estado de “chapola” (plántula de 75 días de edad con plena expansión cotiledonar) y las que se encuentran en estado de “fósforo” (planta de 75 días de edad sin expansión cotiledonar).

Se presentaron diferencias significativas para la relación chapola/fósforo entre el sistema de beneficio manual y las etapas de desmucilaginado, transporte y secado mecánico del sistema de beneficio ecológico (Figura 3).

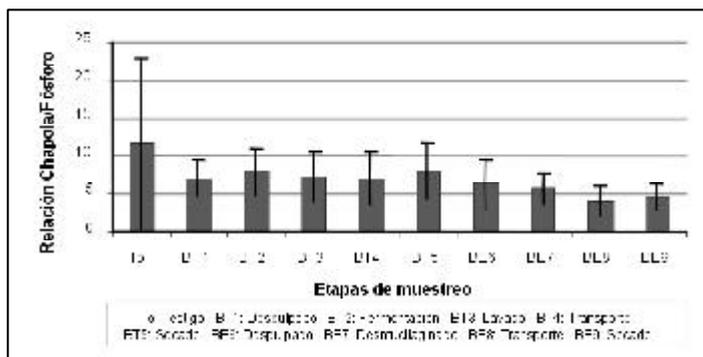
Como valor de referencia óptimo para la relación chapola/fósforo se tomó el obtenido en el beneficio manual, ya que en este sistema el daño mecánico fue mínimo y por tal razón, no hubo ruptura de membranas, ni lixivación de compuestos que pudieran retrasar el desarrollo de las plantas. La relación en este caso fue de 12, o sea que por cada 12 plantas en estado de chapola, había una en estado de fósforo (Figura 3).

En las etapas del beneficio tradicional, la relación chapola/fósforo varió entre siete y ocho (Figura 3), debido posiblemente a que el daño mecánico, como se dijo anteriormente, favorece la ruptura de membranas y por consiguiente, la lixivación de sustancias orgánicas como el ácido caféico, que actúa



**Figura 2.** Porcentaje de germinación en cajas plásticas a los 30 días, de semillas procedentes de muestras tomadas en diferentes etapas de tres procesos de beneficio: manual, tradicional y ecológico.

**Figura 3.** Relación chapola/fósforo a los 75 días, de muestras tomadas en diferentes etapas de tres procesos de beneficio: manual, tradicional y ecológico



como inhibidor del crecimiento. Este ácido es derivado de los ácidos cinámicos, que han sido identificados como compuestos inhibidores de la germinación y del crecimiento vegetal, razón por la cual puede retrasar el desarrollo de unas plantas con respecto a otras (17)

En el beneficio ecológico, la relación chapola/fósforo fue 7 para la semilla tomada de la despulpadora y 6, 4 y 5 para las muestras tomadas al salir del desmucilagador, del transporte por el separador de aguas y del secador mecánico, respectivamente (Figura 3). Estos últimos datos fueron diferentes estadísticamente con respecto al testigo, debido a que en estas etapas la semilla de café posiblemente sufrió un daño mecánico mayor. Esta relación se puede considerar como un indicador de vigor de la semilla.

**Efecto del sistema de beneficio en la incidencia de raíz bifurcada. Prueba de germinación en arena.** La semilla obtenida del beneficio manual presentó un 0,3% de raíz bifurcada (Tabla 2), posiblemente a causa del roce de las semillas entre sí durante el lavado o de la presión ejercida al momento de eliminar el pergamino.

En el beneficio tradicional, las semillas tomadas en la etapa de despulpado registraron el menor porcentaje de raíz bifurcada, debido a que la fricción que las semillas sufren en esta etapa de beneficio es mínima, ya que

la presencia del mucílago facilita la separación de la pulpa sin afectar la calidad de la semilla; además, el ajuste de los equipos utilizados fue el adecuado para el tamaño de grano que se benefició y este tenía más del 90% entre granos maduros y pintones, que son los estados de madurez recomendados para el beneficio. Las muestras de semilla obtenidas en las etapas de fermentación, lavado, transporte y secado mecánico, presentaron porcentajes de raíz bifurcada entre 1,0 y 1,8%, que estadísticamente fueron iguales (Tabla 2).

**Tabla 2.** Porcentaje de raíz bifurcada a los 75 días, en la prueba de germinación en arena para semillas tomadas en diferentes etapas de muestreo en tres procesos de beneficio: manual, tradicional y ecológico.

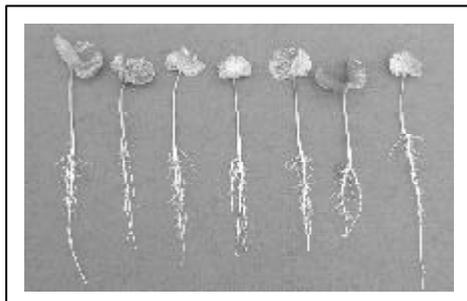
Sistema Beneficio	Etapas	% Raíz bifurcada
Manual	Manual	0,3 b*
Tradicional	Despulpa	0,8 b
	Fermentación	1,1 b
	Lavado	1,8 b
	Transporte	1,0 b
	Secado	1,6 b
Ecológico	Despulpa	0,6 b
	Desmucilaginado	11,9 a
	Transporte	10,5 a
	Secado	9,9 a

\*Letras no comunes indican diferencias significativas según la prueba Tukey al 5 %.

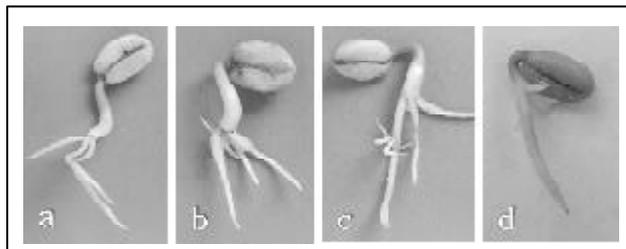
En el sistema de beneficio ecológico, la semilla tomada en la etapa de despulpado también presentó un porcentaje bajo de raíz bifurcada (Tabla 2), debido a las razones ya expuestas. En las etapas de desmucilaginado mecánico, transporte y secado mecánico del beneficio ecológico se registraron los porcentajes más altos de raíz bifurcada, que además fueron significativamente mayores a los observados en los beneficios tradicional y manual (Tabla 2).

Lo anterior sugiere que las semillas de café se deterioran físicamente durante el desmucilaginado, ya que sufren choques contra la superficie dura del equipo o contra otras semillas. Estos daños, muchas veces causados al embrión, en la parte apical de la radícula, sólo se notan después de la germinación y se presentan como anomalías en la plántula, en este caso bifurcando la raíz pivotante (Figura 4).

**Prueba de germinación en cajas plásticas.** Sólo se presentaron diferencias significativas



**Figura 4.** Plántulas de café de 75 días de edad (chapolas) con raíz bifurcada, procedentes de las pruebas de germinación en arena.



**Figura 5.** Semillas con raíz bifurcada provenientes de las pruebas de germinación en cajas plásticas (a, b y c) y semilla con raíz normal (d). Edad 30 días.

en el porcentaje de raíz bifurcada entre semillas provenientes del separador de aguas y secador mecánico en el sistema de beneficio ecológico con respecto a las etapas del sistemas tradicional y el control (beneficio manual). Los valores oscilaron entre 3,7% al salir del secador mecánico y 0,1% en el testigo (Tabla 3).

La ocurrencia de raíz bifurcada en semillas beneficiadas manualmente, aunque mínima, se debió posiblemente al roce de las semillas entre sí al momento de realizarles las diferentes labores de beneficio. En el sistema de beneficio tradicional los valores estuvieron entre 0,3 y 1,2% (Tabla 3), y el valor máximo correspondió a semillas tomadas al salir del transporte por el separador

**Tabla 3.** Porcentaje de raíz bifurcada a los 30 días, en la prueba de germinación en cajas plásticas, para semillas tomadas en diferentes etapas de muestreo en tres procesos de beneficio: manual, tradicional y ecológico.

Sistema	Etapa	% Raíz bifurcada
Manual	-----	0,1c*
Tradicional	Despulpado	0,4c
	Fermentación	0,3c
	Lavado	0,9c
	Transporte	1,2bc
	Secado	0,4c
Ecológico	Despulpado	1,1bc
	Desmucilaginado	2,2abc
	Transporte	3,4ab
	Secado	3,7a

\*Letras no comunes indican diferencias significativas según la prueba Tukey al 5 %.

de aguas; no obstante, estos porcentajes de ocurrencia del disturbio se consideran bajos.

En forma similar a lo observado en la germinación en arena, el porcentaje de raíz bifurcada fue mayor en todas las etapas del beneficio ecológico, con variaciones entre 1,1 y 3,7% (Tabla 3), lo cual se debe a los golpes que la semilla sufre, especialmente durante el desmucilaginado mecánico, ya que se requieren grandes fuerzas de fricción para eliminar el mucílago y que a su vez afectan la calidad fisiológica de la semilla.

En la Figura 5, se pueden observar plántulas en estado de semilla con raíz (estado O5, según clasificación de Arcila (5), con raíz normal y con raíz bifurcada.

**Otras anomalías.**

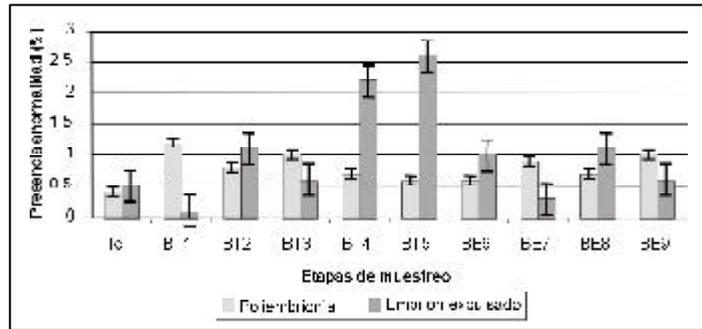
Poliembrionía. Fenómeno en el cual la semilla de café tiene dos o más embriones en un mismo endospermo; a pesar de que los embriones se pueden originar en un único

saco, normalmente su ocurrencia se relaciona con la presencia de sacos embrionarios anormales con dos o más oosferas (2).

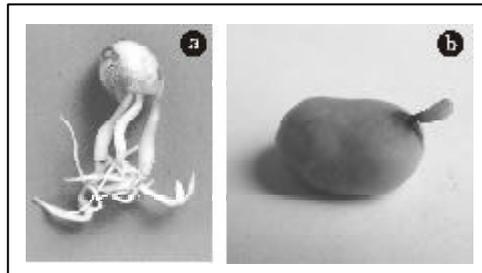
La ocurrencia de semillas poliembriónicas no superó el 1,6% (Figura 6), y no está relacionada con el daño mecánico. Esta anomalía fue más evidente en las pruebas de germinación en cajas plásticas (Figura 7), ya que al momento de evaluar las pruebas en arena, las dos plántulas provenientes de esta semilla (poliembriónica) ya se habían separado.

Embrión expulsado. Ocurre cuando el embrión, antes de su normal desarrollo, se presenta por fuera del endospermo y no posee la curvatura típica de la raíz, ni el color rosado característico de las radículas en germinación normal (Figura 7). Este fenómeno sólo se observó en las pruebas de germinación en cajas plásticas. Los datos registrados de embrión expulsado se observan en la Figura 6. En las pruebas de germinación en arena es muy probable que las semillas con esta anomalía se pudran.

**Figura 6.** Porcentaje de poliembrionía y embriones expulsados en las semillas utilizadas en la prueba de germinación en cajas plásticas.



**Figura 7.** Semillas de café provenientes de la prueba de germinación en cajas plásticas. Semilla con poliembrionía (a). Semilla con embrión expulsado (b).



**Observaciones histológicas.** En el corte transversal de la raíz normal se observaron claramente el cilindro central, los anillos continuos de xilema y de floema y la zona cortical (Figura 8), mientras que en la raíz bifurcada se observó una interrupción en los anillos del xilema, cambium y floema, aparentemente donde la radícula sufrió algún daño mecánico (Figura 9).

En la zona medular se observó una área con alta actividad de división celular, a partir de la cual se origina la raíz adicional (Figura 10).

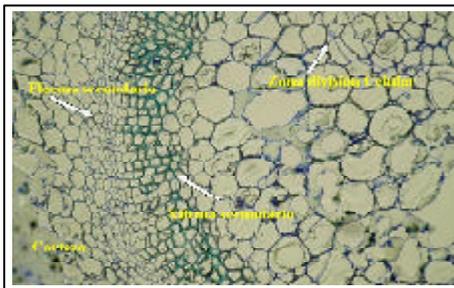
En la Figura 11 se observa el desarrollo de una nueva raíz pivotante, ubicada colateralmente a la raíz principal.

Efecto del disturbio de la raíz bifurcada en el crecimiento y desarrollo de las plantas de

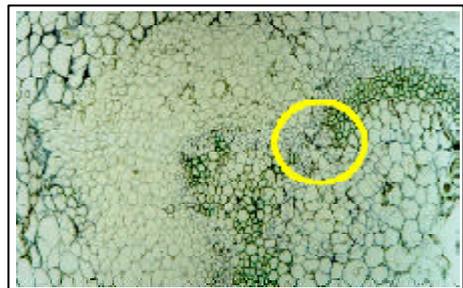
**café en almácigo.** Los promedios de volumen de raíz, longitud de raíz pivotante, relación raíz/parte aérea, número de raíces secundarias, peso seco de raíz y parte aérea, se muestran en la Figura 12 (a, b, c, d, e y f, respectivamente).

Las tres primeras variables no presentaron diferencias estadísticas entre el material obtenido de plantas con raíz normal con respecto al de plantas con raíz bifurcada, mientras que en las demás variables se presentaron diferencias significativas a favor de las plantas con raíz bifurcada, lo cual permite inferir que el disturbio no afecta negativamente el desarrollo de la planta de café en almácigo (Figura 13).

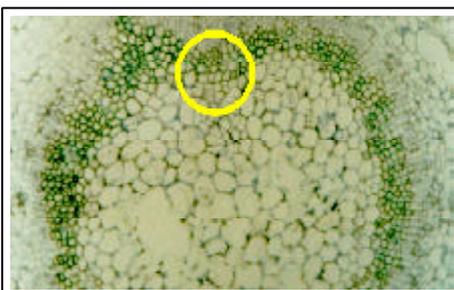
En general se puede concluir que durante el proceso de beneficio ecológico del café, particularmente en el desmucilaginado me-



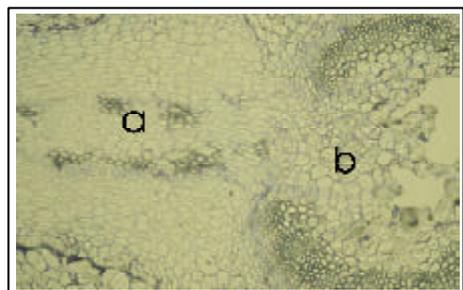
**Figura 8.** Corte transversal de la zona de maduración de una raíz normal de café, 30 días de edad (Aumento 40x).



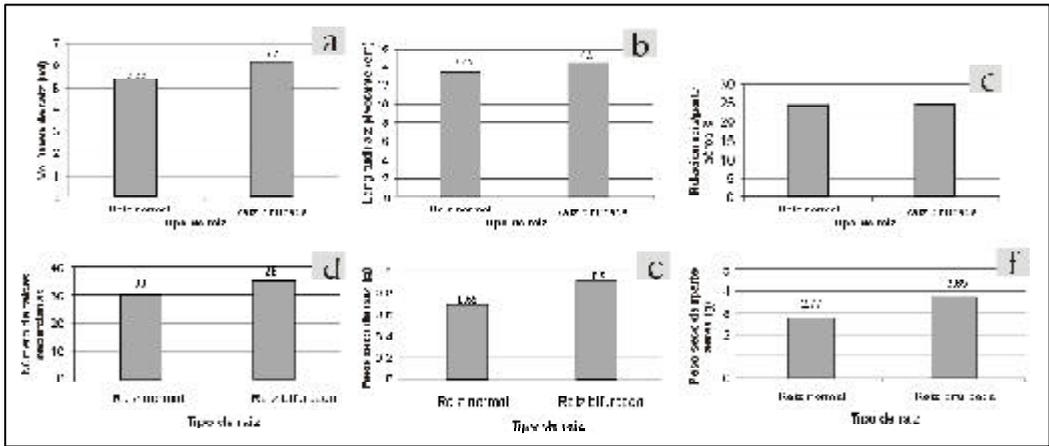
**Figura 9.** Corte transversal de la zona de maduración de una raíz bifurcada de café (Aumento 20x).



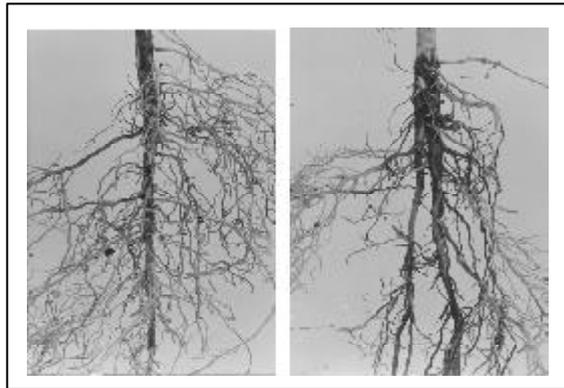
**Figura 10.** Cortetransversal de la zona de maduración de una raíz bifurcada de café. En el círculo, zona de alta división celular (Aumento 20X).



**Figura 11.** Corte transversal de una raíz bifurcada, a. Nueva raíz pivotante, b. Raíz principal (Aumento 20x).



**Figura 12.** Media de las variables: a. volumen de raíz; b. longitud de raíz pivotante; c. relación raíz/parte aérea; d. número de raíces secundarias; e. peso seco de raíz; f. peso seco de parte aérea.



**Figura 13.**

A la izquierda una raíz normal, a la derecha una raíz bifurcada, ambas provenientes de plantas en etapa de almácigo de 6 meses de edad.

cánico, se ocasionan lesiones o daño mecánico que deterioran la calidad fisiológica de la semilla, ya que sufre choques y abrasiones contra la superficie dura del equipo y a su vez contra otras semillas.

El daño mecánico, muchas veces causado en la parte apical de la radícula del embrión, sólo se hace evidente después de la germinación y se presenta como anomalías en la planta, en este caso bifurcando la raíz pivotante.

De igual manera, el daño mecánico ocasionado a la semilla posiblemente afecta la integridad de las membranas; de ésta manera se favorece la lixiviación de sustancias que

pueden afectar la germinación o el crecimiento de las plántulas, como es el caso de la relación chapola/fósforo.

La ocurrencia de raíz bifurcada en germinadores no afecta el desarrollo de la planta en almácigo; por el contrario, se puede observar un mejor comportamiento en comparación con una planta de raíz normal. No obstante, queda por establecer qué impacto tiene el fenómeno en la capacidad productiva de la planta.

La semilla que es severamente manejada durante el beneficio sufre daños y disminuciones en su calidad fisiológica, que se

manifiestan en forma inmediata o posteriormente, durante el almacenamiento y también en el desarrollo de la planta.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo expresan su agradecimiento al Centro Nacional de Investigaciones de Café, CENICAFÉ, por su respaldo económico, a Juan Carlos García Jefe de la Subestación Maracay, a la Dra Esther Cecilia Montoya asesora estadística de este trabajo y a los compañeros de trabajo de la Disciplina Fitotecnia.

### LITERATURA CITADA

1. ÁLVAREZ G., J.; ROA M., G. Efecto del secado y del almacenamiento en la calidad de la semilla de café (Var. Colombia). *In: Beneficio ecológico del café*. Chinchiná, Cenicafe, 1999. p. 41-44.
2. ALVES, R. D.; TOMA, B. M; DO LAGO, A. A. y GUERREIRO, F.O. Poliembriónia em sementes de cafeeiros resistentes a oídio mineiro. *In: Congreso Brasileiro de Melhoramento de Plantas*, 1. Goiania, Abril 3 – 9, 2001. On line Internet. <http://www.sbmp.org.br/cbmp2001/area3/03Resumo52.htm> (Consultado en marzo 10 de 2003).
3. ARCILA P., J. Influencia de la temperatura de secado en la germinación de las semillas de café. *Cenicafe* 27 (2): 89-92. 1976.
4. ARCILA P., J. Aspectos fisiológicos de la producción de café *Coffea arabica* L. *In: Tecnología del cultivo del café*. 2 ed. Chinchiná, Cenicafe - Comité Departamental de Cafeteros de Caldas, 1987. p 59 –111.
5. ARCILA P., J.; BUHR, L.; BLEIHOLDER, H.; HACK, H.; WICKE, H. Aplicación de la escala BBCH ampliada para la descripción de las fases fenológicas del desarrollo de la planta de café *Coffea* sp. Chinchiná, Cenicafe, 2001. 31 p. (Boletín Técnico No. 23).
6. ARIAS B., H. Pruebas rápidas para determinar la viabilidad y/o vigor de la semilla de café. Manizales, Universidad de Caldas. Facultad de Agronomía, 1987. 152 p. (Tesis: Ingeniero Agrónomo).
7. AZCON B., J.; TALON, M. Fisiología y bioquímica vegetal. Germinación de semillas. Madrid, Interamericana-McGrawHill, 1993. 581 p.
8. BAUDET, L.; POPINIGIS, F.; PESKE, S. Danificações mecânicas em sementes de soja (*Glycine max* L. Merrill) transportadas por um sistema elevador-secador. *Revista Brasileira de Armazenamento* 4: 29-38. 1978.
9. BEWLEY, J.D.; BLACK, M. *Seeds: physiology of development and germination*. 2ed. New York, Plenum Press, 1994. 445 p.
10. CASTILLO Z., J.; MORENO R., L.G. La variedad Colombia: Selección de un cultivar compuesto resistente a la roya del café. Chinchiná, Cenicafe, 1988. 171 p.
11. DEDECCA, D.M. Recent advances in our knowledge of coffee trees. *Coffee and Tea Industries and the Flavor Field*. 81 (11): 44-50. 1958.
12. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA – FEDERACAFÉ. BOGOTÁ. COLOMBIA. *Manual del cafetero colombiano*. 4 ed. Bogotá, FEDERACAFÉ, 1979. 209 p.
13. SALAZAR G., M.R. Estudio anatómico y fisiológico del fruto de café *Coffea arabica* L. Popayán, Universidad del Cauca, 1993. 98 p. (Tesis: Biología).
14. SIERRA G., F. Evaluación de la pérdida de calidad de la semilla de café, variedad Caturra durante su beneficio. Cali. Universidad del Valle, 1988. 155 p. (Tesis: Ingeniería Agrícola).
15. SIERRA G., F.; FERNÁNDEZ Q., F.; ROA M., G.; ARCILA P., J. Evaluación de la pérdida de calidad de la semilla de café durante su beneficio. *Cenicafe* 41(3): 69-79. 1990.
16. VAUGHAN, C.E.; GREGG, B.R.; DELOUCHE, J.C. Beneficiamento e manuseio de sementes. FALTA CIUDAD, Ministerio de Agricultura de Brasil. AGIPLAN. 1976. 195 p.
17. WALLER, G.R.; ANAYAL, A.L.; SAGRERON, L.; OCHOA C., A.B.C.; KUMARI, D.; FRIEDMAN, J.; FRIEDMAN, N.; CHOU, C.H. A problem in coffee plantations: Autotoxicity of caffeine and other compounds. *In: Colloque Scientifique International sur le Café*, 13. Paipa, Agosto 21-25. Paris, ASIC, 1989. p. 363-371.