

MODELO EXPERIMENTAL PARA EL MANEJO DE ARVENSES CON ELECTROCUCIÓN

Paulo César Trejos-Carmona¹; Luis Fernando Salazar-Gutiérrez^{**}

RESUMEN

TREJOS C., P.C.; SALAZAR G., L.F. Modelo experimental para el manejo de arvenses con electrocución. Cenicafé 58(1):53-65. 2007.

Con el fin de desarrollar un modelo experimental para el control de arvenses con electrocución, inicialmente se estimó la resistividad de 11 especies de arvenses por medio de un medidor de aislamiento. Mediante el programa PSpice® se analizaron tres circuitos eléctricos y se obtuvo el esquema de la forma y el tamaño del dispositivo. Luego, se diseñó el modelo basado en el método de contacto directo con alto voltaje, el cual se evaluó sobre *Bidens pilosa*, *Emilia sonchifolia* y *Sida acuta*, con alturas entre 5 y 10cm, en materas de 0,1m². Se utilizó un diseño completamente aleatorio con cuatro repeticiones y se evaluó el efecto de la duración (2, 4, 6 y 8s) del tratamiento por arvense sobre el porcentaje de control. El valor máximo de resistividad (8.500kΩ) se registró en *Panicum maximum* y *Cyperus ferax*, y los mínimos (300 y 450kΩ) en *Ipomoea* sp. y *S. acuta*. Las pruebas de simulación permitieron seleccionar un circuito sencillo constituido por un integrado de la familia 555, un transistor de potencia 2N3055 y un autotransformador eléctrico. El funcionamiento del modelo constó de un autotransformador controlado por medio de un circuito integrado y un amplificador de potencia el cual genera un voltaje de 28kV y una corriente de 12mA, a una frecuencia de 1kHz. Después de la aplicación de los tratamientos se observó un efecto inmediato de colapso, pérdida de turgencia y variación del color de las plantas. El porcentaje de control de arvenses después de 11 días fue de 45, 78, 86 y 98% para cada tratamiento.

Palabras clave: Manejo integrado de arvenses, electricidad, control físico de arvenses.

ABSTRACT

This experiment was carried out with the purpose of generating an experimental model for weeds control with electrocution. Initially, the resistance of eleven weed species was estimated by using an isolation measurer. Through the program PSpice® three electric circuits were analyzed and a scheme with the shape and the size of the device was obtained. Afterwards, the model based upon the method of direct contact with high voltage, which was assessed on *Bidens pilosa*, *Emilia sonchifolia* and *Sida acuta*, with heights between 5 and 10cm, in pots of 0,1m² was designed. A totally randomized design with four repetitions was used and the effect of the length (2, 4, 6 and 8 seconds) of the treatment per weed on the control percentage was assessed. The maximum value of resistance (8.500kΩ) was registered in *Panicum maximum* and *Cyperus ferax*, and the minimum (300 and 450kΩ) in *Ipomoea* sp. and *S. acuta*. The simulation allowed selecting a simple circuit made up by an integrated circuit of the family 555, a transistor of power 2N3055 and an electrical autotransformer. The operation system of the model was made up of an autotransformer controlled by an integrated circuit and an amplifier of power that generates a voltage of 28kV, a power of 12mA, and a frequency of 1kHz. After the application of the treatments an immediate collapse effect, a loss of turgidity and a variation in the color of the plants were observed. The percentage of weed control after 11 days was 45, 78, 86 and 98% for each treatment.

Keywords: Integrated weed management, electricity, physical weed control.

¹ Fragmento del trabajo de grado del primer autor, para optar al título de Ingeniero Electricista, Universidad Nacional de Colombia sede Manizales.

^{*} Ingeniero Electricista. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales.

^{**} Asistente Investigación. Suelos. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

La tendencia actual de la agricultura lleva a explorar nuevas alternativas de manejo de arvenses como son la alelopatía, los manejos biológico y cultural (solarización, residuos vegetales) y los métodos físicos dentro de los cuales se encuentran los controles eléctrico, térmico (gas propano o vapor de agua), microondas, luz ultravioleta y láser, entre otros, que han sido desarrollados y aplicados con éxito relativo para las condiciones de países desarrollados.

El concepto de utilizar electricidad para el control de arvenses no es nuevo. Sharp, citado por Diprose y Mattsson (9), patentó el "vegetation exterminator", luego Scheibe, citado por Diprose y Mattsson (9), patentó el "apparatus for exterminating vegetation". Ambos sistemas usaron plantas a vapor y transformadores con los que se aplicaba electricidad a las arvenses, con la variación de la forma y el tamaño de los electrodos. Varios sistemas fueron inventados y probados en los años 70 en Europa, pero fue en Estados Unidos, a finales de esta misma década, que los métodos eléctricos y de microondas fueron investigados, hasta el punto que LASCO, CO. comercializó el sistema E.D.S o Electrical Discharge System para el control de arvenses (5, 6, 10, 11, 14).

En los años 80, algunos países europeos se interesaron en el método de contacto directo con alto voltaje para el control de arvenses, principalmente en el Reino Unido, Francia y Bélgica donde este método se usó comercialmente a pequeña escala, lo cual hizo resurgir el interés por este sistema debido a su efectividad y al poco impacto negativo del medio ambiente (9). La mayoría de estudios realizados sobre descargas eléctricas

controladas fueron desarrollados en la antigua Unión Soviética (9).

Diprose *et al.* (7) y Diprose y Benson (5), realizaron una descripción básica de las técnicas eléctricas para el control de arvenses, e identificaron cuatro de éstas como sigue a continuación:

Método de campos eléctricos de alto voltaje. Un campo eléctrico es una región en la cual una carga eléctrica o un dipolo¹ eléctrico puede experimentar una fuerza de atracción o repulsión; un campo eléctrico puede generarse aplicando un voltaje entre dos electrodos. A principios del siglo pasado se tenía conocimiento que al aplicar a una planta un campo eléctrico se afectaría su crecimiento, este fenómeno fue denominado electrotopismo.

Método de descargas eléctricas. Este método usa generadores de alto voltaje (10kV-100kV) entre dos electrodos o entre un electrodo y la tierra. Aunque la separación de los electrodos es de unos pocos centímetros, puede generarse una descarga a un objeto que se encuentre lejos, como por ejemplo: el tronco de un pequeño árbol. Un objeto que se interpone en el campo eléctrico puede provocar una descarga de corriente entre el electrodo y el objeto.

Método de microondas de alta potencia. Se basa en el principio de un horno de microondas, el cual genera una alta frecuencia, alrededor de 2.450MHz (millones de ciclos por segundo), lo cual hace mover rápidamente las moléculas de agua, grasa y azúcar, y produce calentamiento por fricción. Hasta ahora las investigaciones sobre este método

¹ Conjunto de dos cargas de electricidad iguales y de signo contrario a una distancia fija.

han encontrado resultados poco favorables en el aspecto económico para el control de arvenses, no obstante, ha sido utilizado exitosamente para el secado de hojas de tabaco (1).

Método de contacto directo con alto voltaje.

Es un sistema que consiste en mover un electrodo sobre el suelo, el cual al hacer contacto con una planta cierra el circuito eléctrico con el suelo y la corriente eléctrica fluye a través de la planta. Este método es el más directo de los cuatro expuestos.

Slesarev y Slesarev *et al.*, citados por Diprose *et al.* (7), reportaron el uso de descargas eléctricas para controlar arvenses. Las descargas utilizadas fueron de 30 a 50kV (miles de voltios) con 10^{-6} segundos de duración, en arvenses jóvenes previamente seleccionadas, la cuales murieron de 4 a 6 días después de la descarga; simultáneamente, encontraron un aumento en la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

Bayev y Savchuk, citados por Diprose y Mattsson (7), estudiaron el diseño de electrodos de descarga e idearon un tipo de electrodo que consta de un par de platos redondos de no más de 3mm de espesor, de 40 a 100mm de diámetro en forma de 'V' y con una ranura en cada plato. Los electrodos estaban ubicados uno frente al otro a una distancia de 50 - 100mm. El sistema proveía un campo eléctrico que cuando no era lineal, por la presencia de un tallo, producía descargas de 25-50kV, y cuando no se encontraban tallos de plantas la distribución del campo era lineal, aunque también ocurrían descargas ocasionales al suelo.

Dykes, citado por Diprose *et al.* (7), reportó el control de tres especies de arvenses, *Xanthium* sp., *Ambrosia trifida* y *Sesbania exaltata*, de hasta 2,5m de alto, en un campo de pruebas utilizando una corriente máxima de 5A (Amperio) a una velocidad de 4 a 5km.h⁻¹, con electrodos de 1,3m de largo por encima del nivel del suelo. Se estimó que entre el 90 y 95% de las arvenses murieron después del quinto día, y luego de 60 días no se registró la presencia de alguna de las tres especies tratadas.

En otras investigaciones, se probaron corrientes eléctricas de 0,1 hasta 100mA conducidas a través del suelo (Lazarenko *et al.*, Lutkova, Rawson y Le Baron, citados por Diprose *et al.* (7)), con las cuales se registraron efectos benéficos para el crecimiento de las plantas y el desarrollo de bacterias del suelo; contrario a lo observado con corrientes de 40A con las cuales se observaron los efectos tóxicos para las bacterias (Lazarenko *et al.*, citados por Diprose *et al.* (7)).

En otro caso, Black *et al.*, Cholodny y Sankewitsch, Dixon y Bennett-Clark y Sterm, citados por Diprose *et al.* (7), evaluaron corrientes eléctricas de 10^{-7} A hasta 10^{-2} A, conducidas a través de plantas, las cuales produjeron una variedad de respuestas que podían afectar la resistividad² de los tejidos, la tasa de crecimiento y el metabolismo de las plantas. Corrientes más elevadas, como por ejemplo de 50mA, ocasionaron la destrucción del tejido de la planta, debido a un rápido calentamiento del fluido celular, lo que ocasionó la ruptura de la membrana celular (6).

² La resistividad describe el comportamiento de un material frente al paso de la corriente eléctrica, por lo que da una idea de lo buen o mal conductor que éste es. Un valor alto indica que el material es mal conductor y viceversa.

Diprose *et al.*, citados por Diprose *et al.* (5), desplazaron un alambre de acero, a 25 centímetros del suelo, sobre tallos de *Pisum sativum* de 35 a 45cm de altos; este alambre lo conectaron al electrodo negativo de una fuente de voltaje, y el electrodo del retorno positivo fue una lámina de hierro conectado al suelo. Inicialmente, se pasó a través de la planta una corriente de 100 μ A, pero ésta disminuyó gradualmente después de varios minutos; el aumento en los niveles de voltaje de prueba provocó un aumento de la corriente que fluía a través de la planta, la cual llegó hasta un rango entre 6 y 30mA, según la altura de las plantas, con un pico máximo de 100mA. Luego del tratamiento, las plantas perdieron la rigidez. Finalmente, examinaron al microscopio secciones de tallo de las plantas tratadas y encontraron células dañadas y cloroplastos deteriorados.

Así mismo, Dykes y Martens y Vigoureux, citados por Diprose *et al.* (5), reportaron daños en los tejidos celulares en las plantas tratadas con descargas eléctricas. Diprose *et al.* (6), experimentaron con arvenses anuales, plantadas en materas, con alturas de 1 a 1,4m y un diámetro de 6 a 15mm, cada planta fue tratada individualmente y la corriente eléctrica utilizada fue aplicada por dos electrodos (uno fue introducido dentro del suelo y el otro colocado en la parte más alta de la planta) y generada por un transformador con características de salida máxima de 5kV y 1A. Se emplearon voltajes iniciales de 1; 2,5 y 5kV en dos plantas; luego, se evaluaron nueve plantas con un voltaje de 5kV a distintos intervalos de duración, 2, 3, 5, 30 y 60 segundos. Los resultados obtenidos en los ensayos sirvieron para demostrar la viabilidad del método eléctrico para el manejo de arvenses y posterior a esto, un sistema montado en un tractor fue construido en el año de 1979 para seguir con las pruebas en el campo.

Diprose *et al.* (8), reportan como ventajas del tratamiento eléctrico sobre el manejo químico: un efecto rápido; el marchitamiento de la planta ocurrió en segundos y la decoloración en minutos; dos o tres horas después del tratamiento eléctrico se causó necrosis; además, el tratamiento eléctrico pudo ser utilizado durante las lluvias sin alterar su rendimiento, lo que no sucedió con el tratamiento químico el cual se veía seriamente afectado por estos eventos.

Se han construido diferentes equipos para el control de arvenses, algunos usan descargas de alto voltaje, como por ejemplo 50kV (2), otros utilizan alto voltaje con electrodos (8-20kV) con un contacto directo y físico de la planta que se quiere tratar (Diprose y Benson, Dykes, Kaufman y Schffner, Wilson y Anderson, citados por Diprose y Benson (5)). Los equipos del primer tipo son complicados y sirven para tratar solamente pequeñas plantas (pocos centímetros de altura), mientras que las máquinas de contacto directo son más poderosas y pueden tratar una gama más amplia de arvenses de diferentes tamaños. En la base de datos de la oficina de patentes de Estados Unidos (13) se encuentran registradas las patentes de alrededor de 26 dispositivos eléctricos para el control de arvenses desde el año de 1893, los cuales abarcan desde el método de descarga eléctrica hasta el uso de microondas y radiaciones ultravioleta.

Según Cemagref (3), en 1997 tras un programa de investigación ordenada por la Comisión Europea (CE) sobre métodos y equipos para la reducción del uso de herbicidas químicos para el control de arvenses, el instituto Cemagref (Agricultural and Environmental Engineering Research) de Francia con la colaboración del IVIA (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias) de España, desarrollaron el "Patchwork" que consiste en un robot que detecta y localiza por medio de

visión artificial las arvenses jóvenes presentes en un cultivo con el fin de electrocutarlas. Según sus investigaciones, corrientes de 5mA, pulsos de 200ms (milisegundos) y voltajes de 20kV son suficientes para destruir las arvenses de hasta 5cm de altura.

Respecto a los factores que causan la muerte de las arvenses por medio de electrocución, Bayev & Savchuk (2) afirman que el daño a las plantas expuestas a descargas eléctricas guarda estrecha relación con la cantidad de corriente que fluye a través de la planta, es decir, entre más cantidad de energía en la descarga, mayor el daño causado; también establecieron que si la energía en la descarga eléctrica era lo suficientemente alta, la corriente que fluía a través de la planta provocaba una onda de choque que causaba daños posteriores. La temperatura de la descarga puede oscilar entre 35.000 y 40.000°C y solo causa daños superficiales ya que está presente un corto período de tiempo.

Svitalka, citado por Diprose y Benson (5), concluyó que los campos eléctricos y magnéticos además de la radiación y las altas temperaturas pico no eran los factores más predominantes en la destrucción de las plantas; él estableció que más que la descarga en sí, la corriente que era inducida por los tejidos de la planta era la causante del daño en la estructura celular, debido a que provocaba una onda de choque que aumentaba la presión interna de la célula.

Por lo anterior y como parte complementaria del Manejo Integrado de Arvenses, el método de control eléctrico, podría ser una alternativa adecuada que contribuya a la caficultura orgánica y sostenible por ser una tecnología limpia (9, 5), que no produce efectos nocivos ni secundarios en los cultivos en donde es aplicado y por ser uno de los métodos de control de arvenses permitidos en cultivos

orgánicos, según Certified Organic Associations of British Columbia (4). El objetivo del experimento fue contribuir en la generación de tecnologías sostenibles para el manejo integrado de arvenses en el cultivo del café.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El experimento se realizó en los Laboratorios de Electricidad y Electrónica de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales Campus La Nubia; en Cenicafé - La Granja y en la Estación Central Naranjal, localizadas en el municipio de Chinchiná (Caldas).

Materiales. Los materiales empleados para el desarrollo de la investigación fueron: medidor de aislamiento Insulation Tester ISOL 5003, software Orcad 9.1, protoboard, transformadores de alta relación de ganancia, circuitos integrados, transistores de potencia, elementos de electrónica básica (condensadores, resistencias de precisión, diodos, potenciómetros, cables), electrodos, tarjetas para montaje de los elementos electrónicos, mangueras de seguridad, tubería dieléctrica, equipo de medida eléctrica, materas plásticas de 0,1m². Como fuente de alimentación de energía, se utilizó un generador portátil a gasolina con una potencia de 350W.

Para alcanzar el objetivo de esta investigación se desarrollaron tres etapas: diseño, construcción y evaluación del modelo experimental.

Diseño. Para el diseño del modelo experimental se tuvieron en cuenta dos aspectos con los cuales se quería satisfacer las necesidades básicas de funcionamiento del modelo experimental, éstos fueron la seguridad para las personas y la capacidad de transportar el modelo experimental. En cuanto al primero,

en el diseño eléctrico del modelo experimental se utilizó en primera instancia el software de simulación con énfasis en circuitos integrados Pspice® (actual Orcad 9.1 versión estudiantil), con el propósito de definir las características eléctricas en cada elemento del circuito eléctrico: voltaje (V), corriente (I). La información de entrada al software de simulación fue: cada uno de los circuitos eléctricos propuestos (Figura 1), el valor de la resistividad de las arvenses y la resistividad del suelo adyacente a la arvense (0,75m).

En la Estación Central Naranjal, se midió la resistencia eléctrica (kΩ) de algunas especies de arvenses de interferencia alta y media con el cultivo del café (Tablas 1 y 2), para lo cual se utilizó un medidor de aislamiento Insulation Tester ISOL 5003. Con este mismo

equipo se midió la resistencia del suelo adyacente a la arvense (0,75m). Se tomaron al azar 20 mediciones (20 repeticiones) de resistividad, sobre cada especie de arvense en estado de crecimiento vegetativo, entre 10 y 15cm de altura.

Con el anterior procedimiento se obtuvieron los valores de resistividad de algunas especies de arvenses comunes en el cultivo del café, y con éstos y los esquemas de los circuitos eléctricos propuestos y luego de las simulaciones con Pspice®, se definió el circuito eléctrico para la etapa de construcción. En cuanto a la capacidad de transportar el modelo se diseñó un dispositivo liviano y seguro, adaptado para una sola persona y con un consumo mínimo de energía.

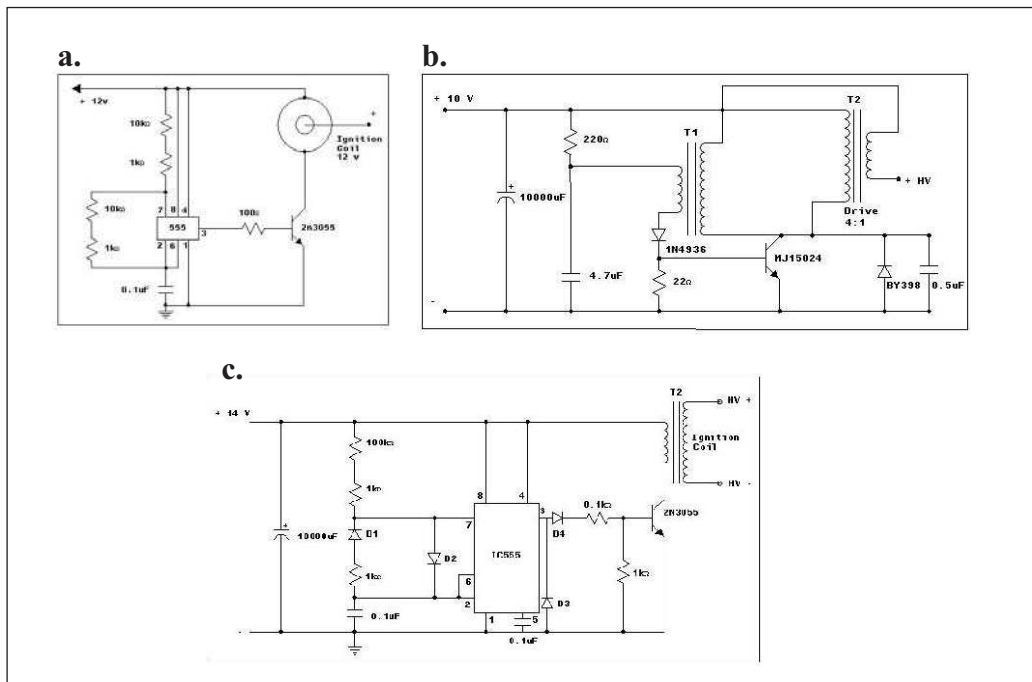


Figura 1. Circuitos propuestos para simulación y análisis. a) Funciona con un circuito integrado de la familia 555, un transistor de potencia y una bobina de ignición; b) Opera basado en transistores de potencia sin la utilización de circuitos integrados; c) Utiliza los mismos elementos del circuito (a) con una configuración diferente.

Tabla 1. Especies de arvenses sobre las cuales se realizó la medición de resistencia eléctrica en el campo.

| Nombre científico | Nombre vulgar | Familia |
|--|-------------------|------------------|
| <i>Paspalum paniculatum</i> L. | Gramalote | Gramineae |
| <i>Panicum maximum</i> Jacq. | Pasto India | Gramineae |
| <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers. | Pasto Argentina | Gramineae |
| <i>Pseudoelephantopus spicatus</i> (Aubl.) Gleas | Totumo | Compositae |
| <i>Cyperus ferax</i> (L.) Rich. | Cortadera | Cyperaceae |
| <i>Sida acuta</i> Burm. f. | Escobadura | Malvaceae |
| <i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn | Helecho marranero | Dennstaedtiaceae |
| <i>Cyathula achirantoides</i> H.B.K. | Alacrán | Amaranthaceae |
| <i>Ipomoea</i> spp. | Batatillas | Convolvulaceae |
| <i>Bidens pilosa</i> L. | Masequía | Compositae |
| <i>Emilia sonchifolia</i> (L.) D.C. | Hierba socialista | Compositae |

Tabla 2. Valores de resistividad eléctrica de algunas arvenses evaluadas.

| Arvense | Resistividad (k Ω) | | | | C.V. |
|------------------------------------|----------------------------|--------|--------|-------|------|
| | media | máximo | mínimo | moda | |
| <i>Pteridium aquilinum</i> | 1.640 | 2.500 | 800 | 1.000 | 0,35 |
| <i>Panicum maximum</i> | 4.580 | 8.500 | 1.800 | 4.500 | 0,40 |
| <i>Ipomoea</i> spp. | 777 | 2.000 | 300 | 800 | 0,46 |
| <i>Sida acuta</i> | 915 | 1.600 | 450 | 1.000 | 0,26 |
| <i>Paspalum paniculatum</i> | 2.900 | 4.000 | 2.000 | 2.000 | 0,25 |
| <i>Pseudoelephantopus spicatus</i> | 1.685 | 5.000 | 800 | 1.700 | 0,59 |
| <i>Emilia sonchifolia</i> | 4.425 | 6.000 | 2.000 | 4.000 | 0,24 |
| <i>Bidens pilosa</i> | 2.645 | 4.500 | 1.200 | 4.000 | 0,44 |
| <i>Cynodon dactylon</i> | 2.565 | 4.100 | 1.300 | 2.000 | 0,29 |
| <i>Cyathula achyranoides</i> | 4.670 | 7.000 | 3.000 | 4.500 | 0,25 |
| <i>Cyperus ferax</i> | 4.575 | 8.500 | 2.000 | 3.000 | 0,42 |

Construcción. Esta etapa dependió directamente de los resultados obtenidos en el diseño y consistió en la construcción del plano eléctrico y del modelo experimental. En la etapa de construcción, se tuvieron en cuenta factores de seguridad en cuanto a la manipulación de equipo eléctrico de alto voltaje, referente a la utilización de valores permitidos, no letales

ni nocivos para las personas, de corriente eléctrica y frecuencia de operación en el modelo experimental según UNEP/WHO/IRPA (12). Tanto en el diseño como en la construcción del dispositivo se utilizaron elementos eléctricos de bajo requerimiento de potencia, asequibles y de bajo costo.

Evaluación. Se realizaron evaluaciones sobre distintas especies de arvenses en estado de crecimiento vegetativo, entre 5 y 10cm de altura, establecidas en materas de 0,1m², cada una. Las especies predominantes durante los tratamientos fueron *Bidens pilosa*, *Emilia sonchifolia* y *Sida acuta*. Se evaluó el efecto de la duración del tratamiento por arvense (2, 4, 6 y 8 segundos) sobre el porcentaje de control de éstas. Se utilizó un diseño completamente aleatorio con cuatro repeticiones por cada tratamiento. Los resultados se interpretaron con la ayuda del análisis de varianza y de las pruebas de tendencia lineal, cuadrática y cúbica según prueba f al 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diseño. En la Tabla 2 se observan los valores de resistividad eléctrica de algunas de las arvenses más frecuentes en el cultivo del café. Se puede observar que el valor máximo 8.500k Ω correspondió a las arvenses *Panicum maximum* y *Cyperus ferax* y los valores mínimos, 300 y 450k Ω , se obtuvieron en *Ipomoea* sp. y *Sida acuta*, respectivamente. No se aprecia consistencia entre los valores, éstos deben ser interpretados según el contenido de humedad de la planta y características propias de la misma que no son explicados por la investigación, pero si evidencian que algunas arvenses pueden ser más sensibles que otras al tratamiento de electricidad.

Los análisis de simulación, mediante el programa Pspice®, mostraron que los tres circuitos eléctricos propuestos (Figura 1) alcanzaron las características eléctricas requeridas para un control efectivo de arvenses (3) y seguridad para el operario (12), en todos los casos, los niveles de voltaje fueron mayores a 25kV y los de corriente estuvieron entre 5 y 11mA, para una frecuencia de 1kHz.

Por lo anterior, para el diseño y la construcción del modelo experimental se escogió el circuito de la Figura 1a, debido a que éste presenta menor número de elementos eléctricos lo cual lleva a que sean menores los requerimientos de potencia y los costos de fabricación y mantenimiento del equipo.

Los resultados de estas simulaciones permiten utilizar con mayor certeza el primer circuito propuesto, el cual se observa detalladamente en la Figura 2. La señal de salida del CI555 polariza en forma regular la base del transistor, el cual conecta y desconecta el primario del autotransformador a la frecuencia de funcionamiento del CI555.

Una vez definido el circuito eléctrico para construir se diseñó el modelo experimental (Figura 3), basado en el método de contacto directo con alto voltaje (5, 7, 9), que cumpliera con las características de facilidad para transportarlo, seguridad para el operario, selectividad en el control de arvenses y bajo costo de fabricación.

El resultado fue un dispositivo portátil para cargar en la espalda del operario y que cuenta con dos electrodos, uno de contacto y otro que va a tierra, además de un aditamento que permite el encendido y apagado del equipo a discreción.

Construcción. La etapa de construcción se inició con la implementación del circuito eléctrico elegido en la etapa de diseño (Figura 4a), utilizando una bobina de ignición de automóvil como autotransformador (Figura 4b). Las pruebas del circuito eléctrico se realizaron en los Laboratorios de Electricidad y Electrónica de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, y mostraron, a través de un multímetro digital Fluke serie 32, que la corriente de salida en el autotransformador era de 11mA (valor similar al obtenido en la simulación); esta corriente está dentro de

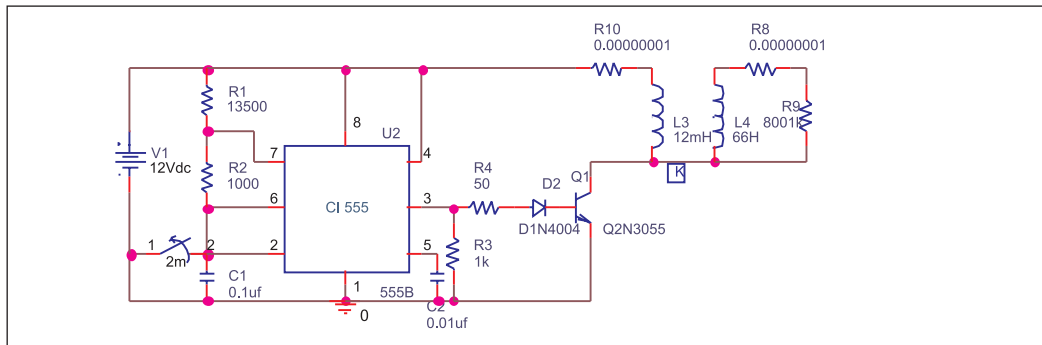


Figura 2. Esquemático del circuito eléctrico simulado. V1: Entrada de 12V; CI 555: circuito integrado; R9: Salida del autotransformador hasta 31kV, en este sitio se realizaría contacto con la planta y el suelo.

los límites permitidos por el cuerpo humano (12), y además duplica el valor de corriente utilizado por Cemagref (3) para el control efectivo de arvenses.

Posteriormente, para los tratamientos se acondicionó una montura de un equipo de aspersión de espalda, a éste se le montaron el circuito eléctrico del cual se desprenden dos electrodos de aluminio (Figura 5) y la fuente de poder. El electrodo de contacto (Figura 5a) tiene una longitud de 14cm, un ancho de 4,5cm y un diámetro 7mm; el electrodo que va a tierra tiene una longitud de 12cm con igual diámetro (Figura 5b).

Como fuente de poder se utilizó un generador con motor a gasolina de 350W (Figura 6a). El peso total del equipo fue de 12kg y cuenta con un interruptor, con el cual el equipo es accionado a discreción por el operario. Las siguientes son algunas características del modelo:

Unidad con la fuente de poder y el circuito eléctrico: Alto 50cm, ancho 45cm y profundidad 40cm.

Mangueras dieléctricas: 80cm de longitud cada una.

Lanza para el electrodo de contacto: 15cm de longitud.

Lanza para electrodo que va a tierra: 12cm de longitud.

Funcionamiento del modelo experimental.

Se utilizó el método de contacto directo con alto voltaje por medio de un autotransformador controlado a través de un circuito integrado y un amplificador de potencia, con el cual se generó un voltaje de 28kV (según el fabricante de la bobina utilizada) y una corriente máxima de 12mA a una frecuencia de 1kHz. Esta corriente eléctrica es forzada a atravesar la arvense cuando existe un contacto entre la planta y el electrodo de descarga (contacto), lo cual provoca un calentamiento de los fluidos internos de la planta y ocasiona el daño al tejido celular (6).

Evaluación

- Tratamiento eléctrico sobre arvenses.

Luego de la aplicación del tratamiento eléctrico sobre cada arvense en cada una de las bandejas seleccionadas, se cuantificó el número de arvenses muertas después del tratamiento. Los resultados se expresaron en porcentaje de control.

Durante la aplicación del tratamiento eléctrico en cada una de las bandejas tratadas se observó un efecto inmediato de colapso, pérdida de turgencia y variación del color

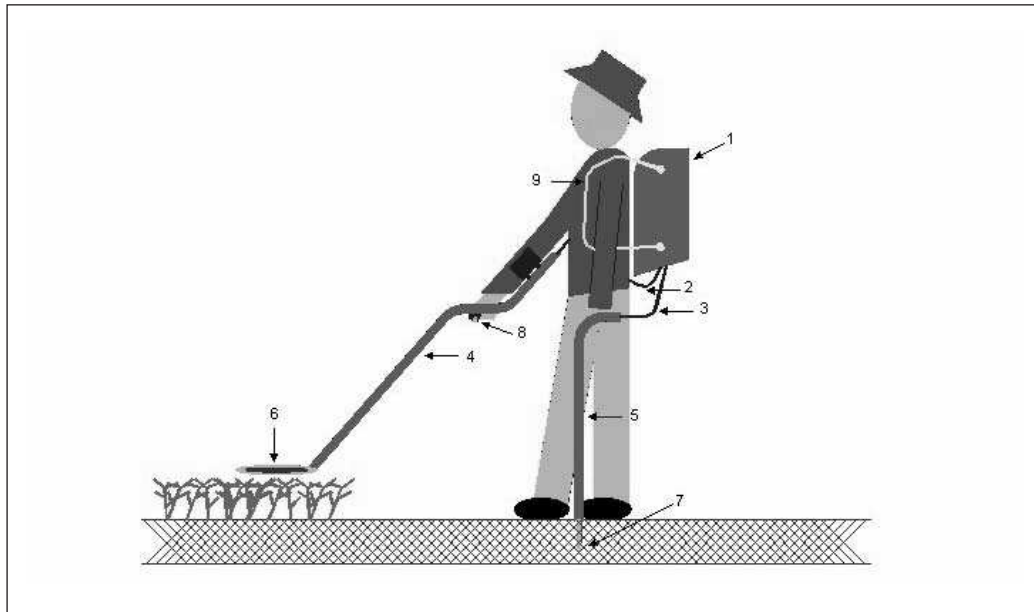


Figura 3. Diseño inicial del dispositivo llevado a espalda del operario y conformado por: 1) Una unidad generadora-elevadora; 2 y 3) Mangueras dieléctricas; 4 y 5) Tubería dieléctrica (lanzas); 6) Electrodo de contacto; 7) Electrodo de puesta a tierra; 8) Interruptor de funcionamiento; 9) Arnés de sujeción.

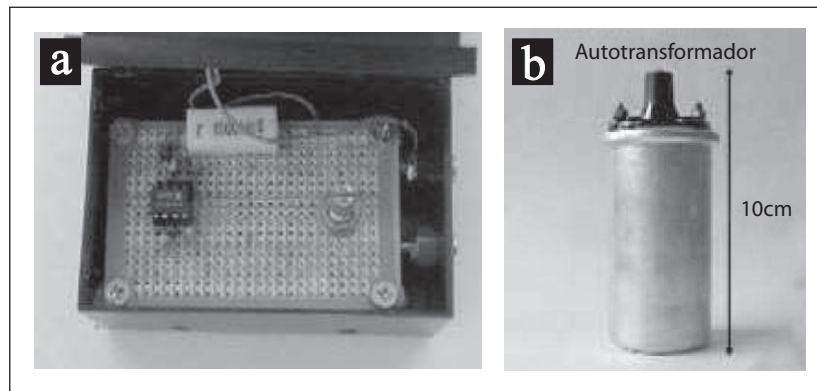


Figura 4. a) Circuito eléctrico del modelo experimental; b) Bobina de ignición (autotransformador).

propio de la planta, y se encontró que el porcentaje de control del tratamiento está directamente relacionado con la duración de los mismos. Según el análisis de varianza, hubo efecto ($p > 0,01$) del tiempo de duración del tratamiento eléctrico por arvense sobre el porcentaje de control. Según el análisis de

tendencias lineal, cuadrática y cúbica (prueba F al 5%), el control de arvenses con relación al tiempo del tratamiento eléctrico se ajustó a una tendencia cuadrática (Figura 7).

Los efectos producidos en las arvenses por el paso de la corriente eléctrica van

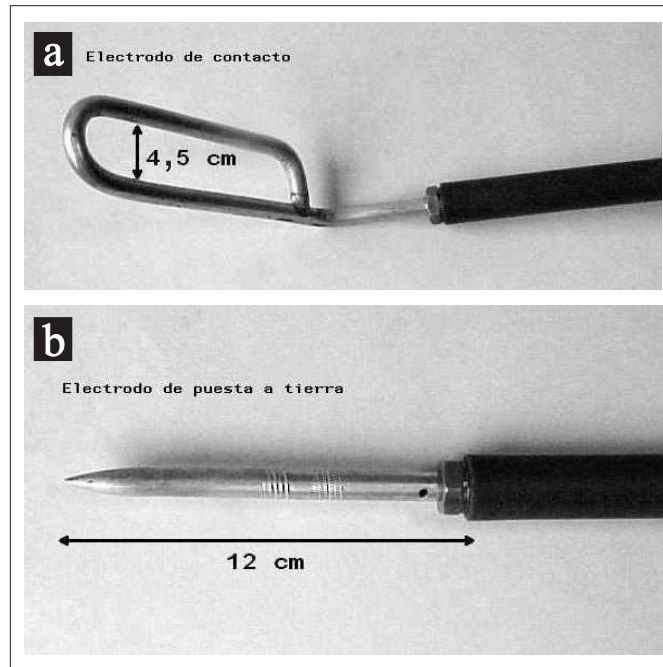


Figura 5. a) Electrodo de contacto; b) Electrodo que va a tierra.

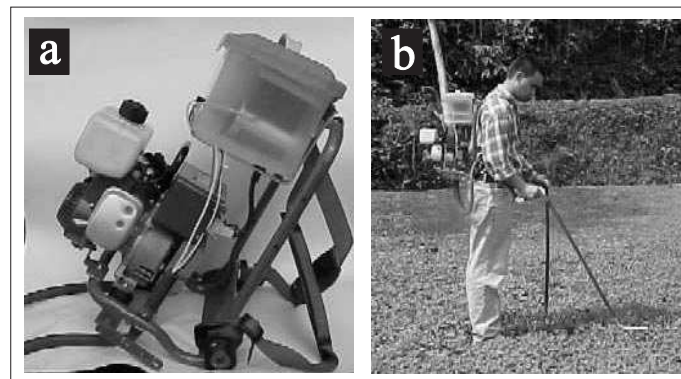


Figura 6. a) Modelo experimental; b) Operario con el modelo experimental para el control de arvenses por medio de electrocución.

desde la decoloración propia de la planta, el encogimiento, el colapso bajo su propio peso y posterior muerte, es decir, son efectos altamente nocivos para las arvenses tratadas en los niveles de tensión y corriente definidos (28kV – 11mA).

El control de arvenses por medio de electrocución, con el método de contacto directo, alcanzó el 98% de control, con tratamientos eléctricos de 8s de duración sobre cada arvense. Los niveles de voltaje, corriente y frecuencia utilizados durante las

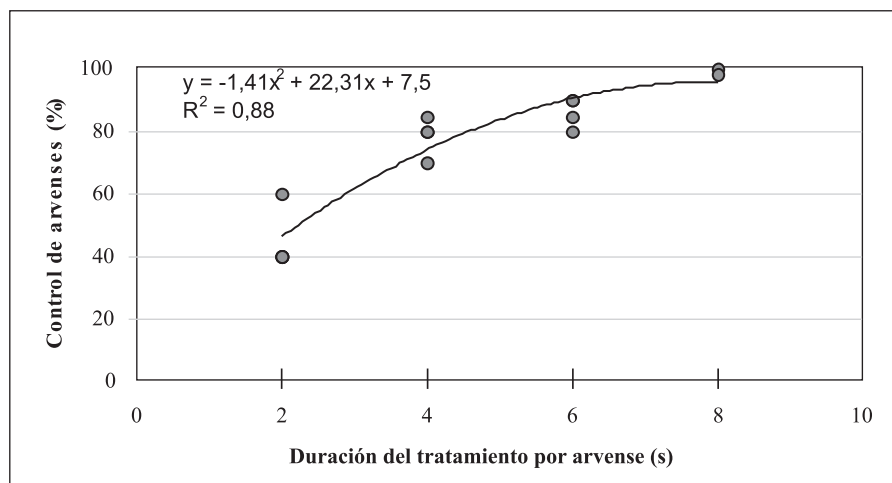


Figura 7. Análisis de regresión entre la duración del tratamiento y el porcentaje de control de arvenses.

evaluaciones fueron de 28kV, 11mA y 1,1kHz, con los que se obtuvieron porcentajes de control desde 45 hasta el 98%.

El tratamiento eléctrico sobre las arvenses tiene un efecto inmediato, es así como después de 30 minutos de haber aplicado los tratamientos eléctricos se observó un daño severo en las arvenses tratadas (Figura 8).

De acuerdo con los resultados de las evaluaciones, este método de control de

arvenses es viable, debido a que es posible disminuir el tiempo de contacto de la planta con la electricidad al aumentar la cantidad de energía eléctrica (mA) que se aplica a la misma, sin sobrepasar los límites para la seguridad de las personas (12). También es posible mejorar la confiabilidad en el funcionamiento del equipo, al utilizar materiales más tolerantes a la vibración y trabajo en condiciones de campo, para lo cual se recomienda la continuidad de este tipo de investigación.

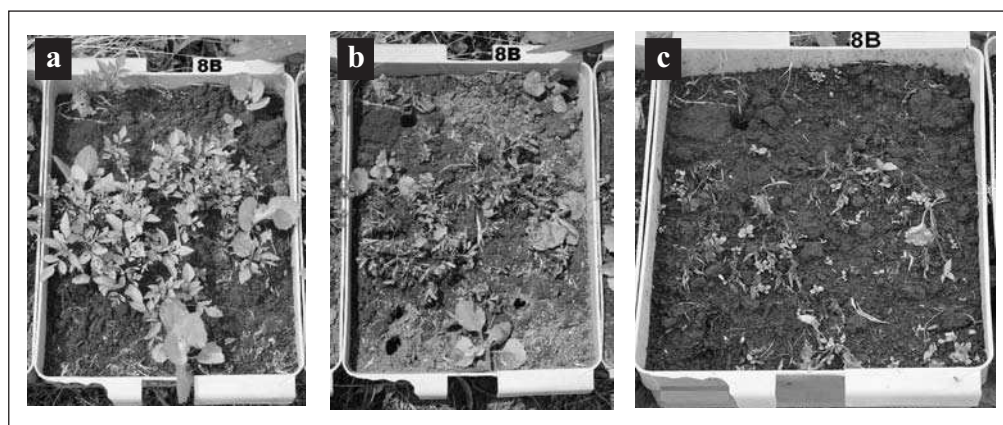


Figura 8. Secuencia del efecto del tratamiento de 8 segundos por planta. a) Antes del tratamiento, b) 30 minutos después, c) 11 días después.

AGRADECIMIENTOS

A los doctores Manuel Augusto Lugo P. I.E. Esp. Profesor de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales y José Horacio Rivera P. I.A., Ph.D., por su asesoría. Por su apoyo y colaboración a los Ingenieros Edgar Hincapié G., Jorge E. Barrera G., y a los señores Uriel López y José Ferney Quintero. A la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, a las Disciplinas de Suelos e Ingeniería Agrícola de Cenicafé y al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

LITERATURA CITADA

1. ARMYANOV, N.K.; DIPROSE, M.F.; STEFANOVA, L.; STOYANOVA, T.M.; DIMITROVA, S. K. An investigation into electrical treatment methods for the processing of tobacco leaves. *Journal of Agricultural Engineering Research* 76:197-203. 2000.
2. BAYEV V., I.; SAVCHUK, V., N. The effective factors of electric spark discharge in treatment of plants. *Electrochem. Ind. Process. Biol.* 1: 73-75. 1974.
3. CEMAGREF. Project désherbage non chimique. Online Internet. Disponible en: <http://www.montpellier.cemagref.fr/geaf/Francais/Projets/Patchwork.htm>. (Consultado en octubre de 2001).
4. CERTIFIED ORGANIC ASSOCIATIONS OF BRITISH COLUMBIA. Certified Organic Production Operation Policies and Farm Management Standards. Online Internet. Disponible en: <http://www.certifiedorganic.bc.ca/Standards/> (Consultado en enero de 2002).
5. DIPROSE, M.F.; BENSON, F. A. Electrical methods of killing plants. *Journal of Agricultural Engineering Research* 30:197-209. 1984.
6. DIPROSE, M. F.; BENSON, F. A.; HACKHAM, R. Electrothermal control of weed beet and bolting sugar beet. *Weed Research* 20:311-322. 1980.
7. DIPROSE, M.F.; BENSON, F.A.; WILLIS, A. J. The effect of externally applied electrostatic fields, microwave radiation and electric currents on plants and other organisms, with special reference to weed control. *The Botanical Review* 50(2): 171-223. 1984.
8. DIPROSE, M. F.; FLETCHER, R.; LONGDEN, P.; CHAMPION, M. Use of electricity to control bolters in sugar beet (*Beta vulgaris* L.): a comparison of the electrothermal with chemical and mechanical cutting methods. *Weed Research* 25: 53-60. 1985.
9. DIPROSE, M. F.; MATTSSON, B. Non-chemical weed control-trends in European practice-with special reference to electrical weed control. *Soil Science* 1: 243-250. 1993.
10. KAUFMAN, R. K.; SCHAFFNER, W.L. Lasco electric discharge system weeder. In: Kaufman, R.K.; Schaffner, W.L. (Eds.). Excerpts from Lasco EDS lightning weeder evaluation report. August 29, 1979. Fargo, North Dakota State University, 1979. p. 3-16.
11. RASMUSSON D., D; DEXTER G., A; WARREN III., H. Abstract: The use of electricity to control weeds. In: Kaufman, R.K.; Schaffner, W.L. (Eds.). Excerpts from Lasco EDS lightning weeder evaluation report. August 29, 1979, Fargo, North Dakota State University, 1979. p. 2.
12. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME/ WORLD HEALTH ORGANIZATION/ INTERNATIONAL RADIATION PROTECTION ASSOCIATION. Electromagnetic fields (300 Hz to 300 GHz). Geneva, World Health Organization; Environmental Health Criteria 137; 1993.
13. US Patent & Trademark Office (2001). Online Internet. Disponible en: <http://www.uspto.gov/>. (Consultado en Agosto 2001).
14. VIGNEAULT, C. Weed electrocution. Quebec, Horticultural Research and Development Centre. Agriculture and Agri-Food, 2001. p. 6.