ESTUDIO DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS POR EL FUEGO EN ARBOLES, UTILIZANDO METODOS BIOELECTRICOS. II. *EUCALIPTUS GLOBULUS*

S. BARA
J. A. VEGA
M.ª J. ROZADOS
Centro de Investigaciones Forestales de Lourizán. Xunta de Galicia
Apdo. de Correos 127. 36080 Pontevedra. ESPAÑA

RESUMEN

La evolución de los daños producidos por un fuego experimental de moderada intensidad (480 Kw · m^{-1}) en arbolado de *E. globulus*, fue seguida durante año y medio midiendo la conductividad eléctrica, biocorriente y atenuación de voltaje y cambio de forma en ondas cuadradas, en el tronco de los árboles.

Durante el fuego se detectaron temperaturas letales de varios minutos en la corteza interna de los troncos en más de la mitad de los árboles, y dos meses después del fuego se habían producido brotes epicórmicos en más de la mitad de ellos, mientras que se observó decoloración parcial de las copas afectando casi al 50 p. 100 de los árboles.

La conductividad disminuyó significativamente a lo largo del período de estudio, en los árboles quemados en relación con los testigos y discriminó también el gradiente de las lesiones, permitiendo establecer, con la medición realizada a los diez días del fuego, el nivel de daños que iban a manifestar los árboles meses más tarde, con una probabilidad de acierto relativamente alta.

Los valores de las biocorrientes fueron más bajos en los árboles dañados que en los testigos, aunque de forma menos significativos que los de la conductividad.

El empleo de las ondas cuadradas, con el método de una sonda, detectó tensiones de salida significativamente más elevadas en los árboles quemados que en los testigos y una razón V_{50}/V_{50K} también mayor.

Con el método de tres sondas, la tensión de salida media, durante el tiempo de seguimiento, fue también significativamente mayor en los árboles quemados que en los testigos, siendo las frecuencias de 50 Hz y 1 KHz las que produjeron las diferencias más significativa, y P1 y P3 las posiciones de sonda más favorables.

PALABRAS CLAVE: Métodos bioeléctricos
Conductividad
Resistencia eléctrica
Ondas cuadradas
Daños por el fuego
E. globulus

INTRODUCCION

El fuego sigue cada año actuando, sobre miles de hectáreas de superficie forestal, en España y muchos países del mundo convirtiéndose, de hecho, en un

Recibido: 9-12-93
Aceptado para su publicación: 9-12-94

poderoso agente de perturbación para los árboles afectados, además de un factor ecológico de primera magnitud.

Muchos cientos de miles de árboles son dañados en menor o mayor medida directamente por el fuego y sufren un estrés que origina, en el mejor de los casos, pérdida de crecimiento, y en el peor un ataque de insectos o de hongos causantes, muchas veces, de su muerte a más largo plazo.

No se dispone de sistemas rápidos de evaluación de daños en los árboles, porque en numerosos casos no son evidentes los síntomas del deterioro hasta pasados muchos meses cuando ya no tienen posibilidades de supervivencia y se han convertido, a su vez, en un foco de infección para otros árboles próximos sanos. Las técnicas más tradicionales de fisiología vegetal son a veces costosas, parcialmente destructivas y requieren bastante tiempo, con lo que su operatividad en el monte es limitada. Los métodos bioeléctricos, en cambio, tienen la ventaja de su facilidad para la obtención de información, aunque su desventaja principal hoy día sea la falta de conocimientos sobre los fundamentos últimos de la transmisión de la corriente en el tronco y tengamos sólo una información puramente empírica del comportamiento eléctrico del tronco de los árboles.

No obstante, desde el punto de vista práctico resulta de utilidad explorar posibles relaciones entre estos parámetros bioeléctricos y estados de perturbación en el arbolado, que pueden ayudar a predecir tasas de supervivencia, niveles de daño o bien las tendencias hacia el deterioro o la superación de esas situaciones de estrés.

El método de la conductividad se usó en arbolado de *P. pinaster* en Galicia, para detectar posibles daños causados por el fuego prescrito, que no eran visibles en un primer momento o que tardaron en aparecer (Vega, Bará, Gil, 1983).

Un estudio más detallado (Bará, Alonso, Vega, 1990) para establecer el comportamiento bioeléctrico de plantitas de *P. pinaster* en macetas, sometidas a diversos tipos de daño, incluido el fuego, permitió conocer la respuesta por medio del empleo de biocorrientes, conductividad y la aplicación de ondas cuadradas al tallo y la guía de las plantas.

Con posterioridad se realizó otra experiencia para seguir los daños producidos en *P. radiata* por la acción de un incendio (Bará *et al.*, 1992). En este trabajo se estableció que el fuego provocó alteraciones que producen una disminución de la conductividad, en el tronco de los árboles dañados, en relación con los testigos. Del mismo modo, el valor de las biocorrientes había aumentado. La utilización de ondas cuadradas, en el método de una sonda, indicó que los árboles de esa especie dañados por el fuego mostraban una tensión de salida menor que los testigos y una relación V_{50}/V_{50K} mayor.

Con el método de tres sondas, los resultados se agruparon en dos períodos: uno comprendiendo los tres primeros meses de seguimiento, siendo el resto de los resultados incluidos en el segundo.

En esta primera etapa, la media general del voltaje de salida en los árboles quemados, estaba aumentada, en relación a los testigos. Lo mismo sucedió con las medias según las posiciones de las sondas. Con referencia a las medias según las frecuencias, fueron mayores los valores obtenidos a 50 y 1.000 Hz, pero las correspondientes a 50 KHz menores. Igualmente, la relación V_{50}/V_{50K} era mayor en los árboles quemados.

En el segundo período, la media general del voltaje de salida era menor en los árboles dañados, manteniéndose por encima del testigo la media de la posición 3. La media correspondiente a la frecuencia de 50 KHz seguía presentando valores notoriamente más bajos que el testigo. La relación V_{50}/V_{50K} se mantenía, en la parcela quemada, por encima del testigo.

Según lo anteriormente expuesto, la posición 3 se mostró como la más favorable para la caracterización de los daños, en unión de la lectura A de la posición 1. También se definieron varias relaciones, entre las distintas mediciones realizadas, cuyos índices independizaron los resultados de la época de medición, caracterizando la incidencia de los daños.

El presente trabajo puede considerarse como una continuación del citado sobre *P. radiata* (Bará *et al.*, 1992) y pretende ampliar la experimentación incluyendo una especie arbórea con una actividad fisiológica, crecimiento y respuesta al fuego claramente distinta a la del pino. Se escogió para ello *E. globulus,* sobre la que no existía información previa del uso de este tipo de variables bioeléctricas, como indicadoras de estrés.

El objetivo planteado fue analizar la respuesta de *E. globulus* a un fuego de verano de intensidad moderada, utilizando las variables mencionadas y comparar los resultados con los obtenidos en el caso de *P. radiata.*

MATERIAL Y METODOS

Descripción del sitio

La experiencia se llevó a cabo en el monte del Sino, en la finca donde está situado el Centro de Investigaciones Forestales de Lourizán (Pontevedra). Se eligió para ello un rodal de *E. globulus,* en un lugar de escasa pendiente (2 p. 100), donde se situaron dos parcelas de unos 54 m^2 (9 × 6 m) suficientemente separadas entre sí, de la mayor similitud posible; aleatoriamente se decidió la que iba a ser quemada, simulando un incendio de verano, actuando la otra como testigo. Los árboles se marcaron antes de quemar.

La vegetación del sotobosque está dominada por *Pteridium aquilinum,* junto a matorral de *Ulex europaeus, Ulex minor, Calluna vulgaris* y *Daboecia polifolia,* de una altura bastante variable entre 0,30 y 0,75 m. El clima es atlántico con inviernos suaves con una precipitación de 1.750 mm anuales, temperatura media anual de 14 °C y corta sequía estival (1 ó 2 meses). El lugar está próximo a la costa y a baja altitud (40 m), correspondiendo a una típica estación de las plantaciones de alta densidad de eucalipto en la Galicia costera del Sur. Las características de la masa se indican en la Tabla 1.

TABLA 1

CARACTERISTICAS DENDROMETRICAS INICIALES DE LAS PARCELAS TESTIGO Y QUEMADA

Initial tree characteristics on control and burned plots

	Edad años	Densidad árboles/ha	Diámetro normal (cm)		Altura total (m)		Espesor corteza* (cm)	
			V. medio	Rango	V. medio	Rango	V. medio	Rango
Testigo	16	2.100	14,6	8,7-22,7	19,0	14,25-25,5	0,6	0,2-1,1
Quemada	16	2.100	14,0	8,0-25,7	19,5	15,0 -26,5	0,4	0,1-0,9

* Medida a 0,70 m de altura

Caracterización del fuego

En el lugar destinado a quemar se acumularon restos de matorral de *Ulex,* previamente rozado y secado al aire durante varias semanas, así como ramillas finas secas con hojas adheridas de *E. globulus,* que se distribuyeron por la parcela, incrementando de esta forma la carga para conseguir una intensidad algo mayor que la que se podría originar con el material inicial, cuya carga era pequeña (<100 g/m^2) y dispersa. Antes de efectuar la quema se realizó un inventario de la cantidad total de combustible presente. Se utilizaron para ello diez cuadros de 30 × 30 cm distribuidos uniformemente por el área a quemar recolectándose toda la vegetación susceptible de arder, incluyendo la hojarasca y el mantillo; el material fue colocado en una estufa a 100 °C durante 24 horas y pesado para obtener la masa por unidad de superficie referida a peso seco. Una submuestra de cada muestra de mantillo se calcinó en el horno a 450 °C para determinar el porcentaje de tierra mineral adherida, descontando esa fracción de la carga de material vegetal seco en estufa.

La parcela a quemar fue rodeada perimetralmente por una pequeña faja desprovista de combustible, para actuar como cortafuegos, situada a varios metros del contorno.

En tres lugares del interior de la parcela a tratar, escogidos por su representatividad del conjunto, se situaron estaciones de termopares tipo K (aleación Ni-Cr, Ni-Al) dispuestos en el mismo plano vertical paralelamente a la superficie del terreno, en tres posiciones: el primero, de 1 mm de diámetro, en la interfaz de separación entre la hojarasca y el mantillo; el segundo, del mismo diámetro, por debajo de este, y en la interfaz mantillo-suelo mineral; finalmente el tercero, de 3 mm de diámetro, a 2,5 cm bajo la superficie del suelo mineral. Sobre cada uno de los once árboles de la parcela, seleccionados en base a ser representativos de la masa, se colocó un termopar de tipo K de 1 mm de diámetro a 70 cm del suelo situándolo en un orificio, del mismo diámetro que el termopar, practicado en la corteza externa del tronco, introduciendo la punta hasta hacer contacto con el tejido subyacente. El termopar fue situado perpendicularmente al eje del tronco y su posición se aseguró a este mediante un alambre, suficientemente alejado del orificio de inserción. Dada la dirección del viento, los termopares se dispusieron en la posición del tronco a sotavento del avance del fuego, en previsión de que en esas posiciones se produjera la mayor elevación de temperatura (Fahnestock, Hare, 1964; Tunstall *et al.,* 1976; Gill, 1974).

Los termopares se conectaron a un registrador Philips 3086 de 30 canales provisto de un sistema de junta fría de referencia que midió cada canal a intervalos de 30 segundos.

Inmediatamente antes de quemar, se recogieron muestras de los diferentes componentes de los combustibles y de los 2,5 cm primeros del suelo, que se colocaron en recipientes herméticos para la determinación del contenido de agua, pocas horas después, en el laboratorio.

Durante la quema se tomaron datos de la temperatura, humedad relativa del aire, velocidad y dirección del viento, en un lugar representativo, alejado de la interferencia del humo de la quema. La velocidad media de avance del fuego se determinó midiendo con un cronómetro el tiempo empleado por el frente de llamas en recorrer la longitud correspondiente a la parcela. La longitud de llamas se estimó visualmente y a través de fotografías, comparándolas con jalones de tamaño conocido.

Después de quemar se tomaron muestras de los combustibles remanentes, con el mismo procedimiento que antes del fuego, secándolas en estufa y pesándolas para determinar la carga consumida.

Mediciones bioeléctricas

La medida de la conductividad se realizó con una sonda que consta de dos agujas de acero de 1,4 mm de diámetro, separadas 1 cm y alojadas en un bloque de plástico. Mediante un cable coaxial la sonda fue conectada a un medidor portátil de conductividad. Para realizar la medida la sonda se inserta en el floema (en realidad, alguna porción de los tejidos inmediatamente más interiores, cambium y xilema, también es atravesada por los electrodos, suponiéndose que la contribución a la conductividad será menor que la del floema), a 1,30 m del suelo. Previamente se ajusta el cero del aparato. A cada altura se hacen cuatro medidas según los puntos cardinales, promediando el resultado.

Cuando un electrodo de cobre se introduce en el suelo y otro de hierro (aguja) en el floema de un arbol, al cerrar el circuito se establece una débil corriente eléctrica, por un proceso de óxido-reducción. Esta corriente, del orden de los microamperios, puede ser fácilmente medida con un aparato portátil, de elevada impedancia de entrada, y una sensibilidad de 0,01 microamperio. Al cabo de unos segundos se estabiliza la medida. En todo caso, las medidas se realizan siempre del mismo modo, esperando el mismo tiempo antes de leer. Cada operador debe buscar las mejores condiciones de medida, realizando ensayos simples en el modo de clavar la sonda y en el tiempo de estabilización de las lecturas. Las medidas se hacen a 0,30 y 1,30 m del suelo.

Las ondas cuadradas tienen sus lados perpendiculares y están formadas por la suma de un número infinito de ondas sinusoidales armónicas. La eliminación o atenuación de alguna de estas ondas componentes, al atravesar un tejido vegetal, provoca una deformación visible de la misma, y una atenuación del voltaje de entrada.

No sólo se registra la posible alteración de la forma de la onda sino también su atenuación, medida por la relación que existe entre el voltaje que se aplica y el que se recoge, después de atravesar los tejidos.

La frecuencia de la onda que se inyecta es un parámetro importante. A bajas frecuencias (p. ej. 50 Hz), se detectan los cambios producidos en las concentraciones salinas de los jugos extracelulares. A frecuencias más elevadas (p. ej. 50 KHz), son las paredes celulares las que intervienen en el proceso (Stout, 1988). En estos estudios se utilizan tres frecuencias: 50, 1.000 y 50 KHz. Cada una de ellas permite apreciar aspectos diferentes del problema que se estudia.

El método de una sonda consiste en aplicar, en el floema, una onda cuadrada, procedente de un generador de ondas, con un voltaje de 6 voltios, por medio de dos electrodos en forma de aguja de acero, separados 6 mm; uno de ellos lleva la señal y el otro es de referencia (masa). Por medio de otro electrodo y la misma masa, se recoge la señal aplicada, después de recorrer 6 mm, y se lleva a un osciloscopio. La sonda, por tanto, tiene tres agujas; una de ellas y la común van al generador de ondas, por medio de un cable coaxial, y la otra y la común van al osciloscopio, por medio de otro cable igual.

El método de tres sondas necesita la aplicación de tres sondas con dos agujas cada una. Cada sonda lleva un cable coaxial que termina en un conector. Las sondas se sitúan alineadas verticalmente en el tronco, atravesando el floema, estando

separadas entre ellas 1 m. Por la inferior se lleva la señal del oscilador y las otras dos van a cada uno de los dos canales de un osciloscopio; esto constituye la posición de medida P1, que da lugar a dos lecturas, L1 (canal A del osciloscopio) y L2 (canal B del osciloscopio). La lectura A es la que queda siempre más cerca del suelo. La oscilación puede aplicarse también por la sonda del medio, posición P2, y por la superior, posición P3, dando lugar las tres posiciones de medida, obteniéndose en cada una de ellas dos lecturas, que son distintas entre ellas y de las otras posiciones. El osciloscopio es analógico y se utilizó el aparato Philips PM 3211; el generador de señal procede de un montaje comercial y utiliza el integrado XR-2206. Más detalles se indican en Bará *et al.*, (1990).

Los parámetros bioeléctricos se midieron sobre los troncos de cada uno de los once árboles de las parcelas quemadas y testigo, antes de la quema (18-7-88) y desde diez días después del fuego hasta el 13-3-89, realizando un total de once mediciones, en el caso de las ondas y trece en la conductividad, realizándose doce en biocorriente. Las observaciones visuales se prolongaron hasta el 7-5-90.

Los datos se analizaron mediante un ANOVA de medidas repetidas. En los casos de la conductividad y biocorriente se estudió por separado el efecto inmediato (antes e inmediatamente después de quemar) y el efecto sostenido a lo largo de toda la experiencia. El factor entre sujetos es, en todos los casos, el tratamiento, con dos niveles: testigo y quemado, y el factor intra sujeto es, en este estudio, el tiempo con dos niveles: pre y post quema. Para tratar los datos obtenidos con ondas cuadradas, empleando los procedimientos con 1 y 3 sondas, se utilizaron los valores de 11 muestreos, que se llevaron a cabo periódicamente. Con el método de una sonda (1S) se midieron 11 árboles y con el método de tres sondas (3S) se midieron 4, debido al elevado número de datos que supone este tipo de medida. El método de 1S presenta dos factores intra sujeto: el tiempo (11 medidas) y la frecuencia (tres niveles: 50, 1 K y 50 KHz). El método de 3S, más complejo, además del tiempo y la frecuencia, incluye dos factores intra sujeto, fijados de antemano en el diseño del experimento, que son la posición de las sondas (P1, P2 y P3) y la lectura (L1 y L2), que depende de cada una de las sondas que envían la señal al osciloscopio.

Este diseño permite establecer, en cada momento del muestreo, la importancia de cada factor y la significación del mismo. Además, al tener en cuenta que todas las mediciones se realizan en las mismas unidades experimentales a lo largo de la experiencia, y que por ello los valores no son absolutamente independientes, el diseño es capaz de destacar la significación real de cada factor, eliminando la variación que cada individuo aportaría al estudio.

Se presenta también el análisis realizado con combinaciones de niveles de factores como frecuencia, posición y lectura, que son de interés para interpretar los resultados. El nivel de significación α se fijó en 0,05.

RESULTADOS Y DISCUSION

Comportamiento del fuego

La carga inicial total de combustible fue de 4.925 g/m^2 (Tabla 2), de la que el 57 p. 100 fue superficial. De esta última, la compuesta por material fino, de diámetro inferior o igual a 6 mm, representaba el 51,8 p. 100. Destaca también la notable contribución del mantillo, típica en eucaliptales.

TABLA 2

CANTIDADES DE COMBUSTIBLE (g/m²) ANTES Y DESPUES DE QUEMAR

Fuel load before and after fire (g/m²)

Componente	Carga inicial	Carga inicial super. < 6 mm	Carga después de quemar	Carga consumida
Combustible añadido + vegetac. inicial	2.691	1.345	265	2.426
Hojarasca superf. (L)	101	101	–	101
Mantillo	2.133	–	606	1.527
TOTAL	4.925	1.446	871	4.054

El fuego se llevó a cabo el 27 de Julio a las 13.0 horas. Los contenidos de agua de las diferentes fracciones de tamaño y componentes de los combustibles, vivos y muertos, y las condiciones meteorológicas (Tabla 3) estuvieron dentro del rango usual para el comienzo del verano en el área sur de Pontevedra.

En conjunto corresponden a una situación de nivel de peligro moderado o moderadamente bajo que no propicia fuegos de intensidades elevadas, como generalmente ocurre para la mayor parte de los incendios en esta zona en esas fechas. Es de señalar el alto porcentaje de agua de la vegetación viva, formada principalmente por helecho en relación con el del suelo, que es también elevado.

En las condiciones anteriores el fuego se propagó con una velocidad media baja, del orden de 1 m/minuto y una longitud de llamas de aproximadamente 1,5 metros.

TABLA 3

CONTENIDO EN AGUA DE LOS COMBUSTIBLES Y SUELO SUPERFICIAL Y CONDICIONES METEOROLOGICAS DURANTE LA QUEMA

Fuel moisture content and meteorological conditions during fire

Porcentaje de agua referido a peso seco						
Vegetación viva fina	Vegetación seca fina	Restos leñosos, mm			Hojarasca	Suelo
		< 6	6-25	25-75		2,5 cm
236	35	18	26	28	17	25

Porcentaje de agua referido a peso seco			
Humedad relativa del aire, %	Temp. del aire °C	Velocidad del viento bajo el arbolado a la altura de llama, m/min	Dirección
72	21	1,08	NE

A pesar de lo anterior, como la mayor parte del combustible estaba seco, la consunción total fue elevada (82,3 p. 100) y si admitimos que en la fase de llamas ardieron sólo los materiales finos superficiales (<6 mm), se quemaron en esta etapa unos 1.450 g/m^2. Según la fórmula de Byram (1959) ello produjo unos 453 Kw · m^{-1} de intensidad en esa fase. Si nos atenemos a la longitud de llamas, la correspondiente fórmula de Byram nos daría unos 483 Kw · m^{-1} y la de Thomas 511 Kw · m^{-1}. Si promediamos estos valores, estimamos que la intensidad lineal del frente sería del orden de 480 Kw · m^{-1}.

La fase de rescoldo se prolongó durante unos 80 minutos y en ella se consumieron, aproximadamente, unos 2.608 kg/m^2; suponiendo un calor de combustión de unos 18,8 kj/kg esto representa, durante ese período, una intensidad de reacción media de unos 9 Kw/m^2.

Temperaturas obtenidas durante el fuego y evolución de los daños en el arbolado

Los datos sobre el régimen térmico en el suelo indican que no se produjo un calentamiento excesivo del mismo, en niguno de los tres niveles medidos en el desarrollo del fuego.

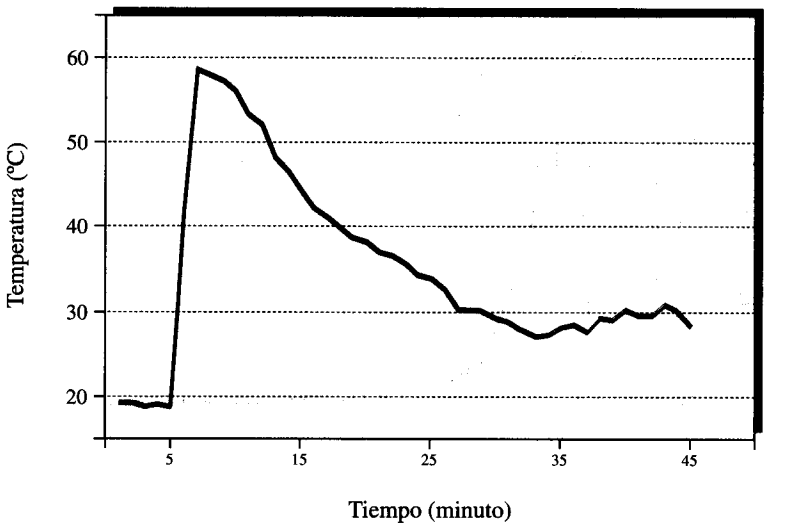
Las Figuras 1, 2 y 3 muestran las gráficas temperatura-tiempo para los tres lugares estudiados en las diferentes posiciones consideradas. En la interfaz hojarasca-mantillo se alcanzó una temperatura máxima media elevada y los registros indican picos poco pronunciados y de pequeña duración. El pulso de calor fue bastante reducido en la interfaz mantillo-suelo mineral, donde la elevación fue menor de 60 °C y bastante breve (Tabla 4). Sin duda que el contenido de agua del suelo, relativamente alta, redujo el incremento. Su papel amortiguador se refleja perfectamente en la grafica correspondiente a la Figura 3, dando lugar a una típica curva en diente de sierra con las oscilaciones originadas por la evaporación del agua en la interfaz citada. Por igual razón, a 2,5 cm bajo la superficie del suelo mineral, sólo se midieron pequeños aumentos de temperatura que no llegaron siquiera a los 30 °C. A la vista de lo anterior, parece evidente que no debieron producirse daños en las raíces del arbolado, sin olvidar, por otro lado, que el largo y profundo siste-

TABLA 4

TEMPERATURAS Y DURACION DE LAS MISMAS EN DIFERENTES POSICIONES DURANTE EL FUEGO

Temperature characteristics during fire

Posición del termopar	Temper. medias inic. °C	Temperatura máxima med. °C		Tiempo medio con temperatura > 60 °C-min.	
		V. med.	Rango	V. med.	Rango
Interfaz hojarasca-mantillo	18	337	109-510	13	13-14
Interfaz mantillo-suelo mineral	18	51	37- 58	0	0
2,5 cm bajo sup. suelo mineral	17	24	18- 28	0	0
Bajo corteza ext. tronco árboles	20	60	27-113	3	0-11



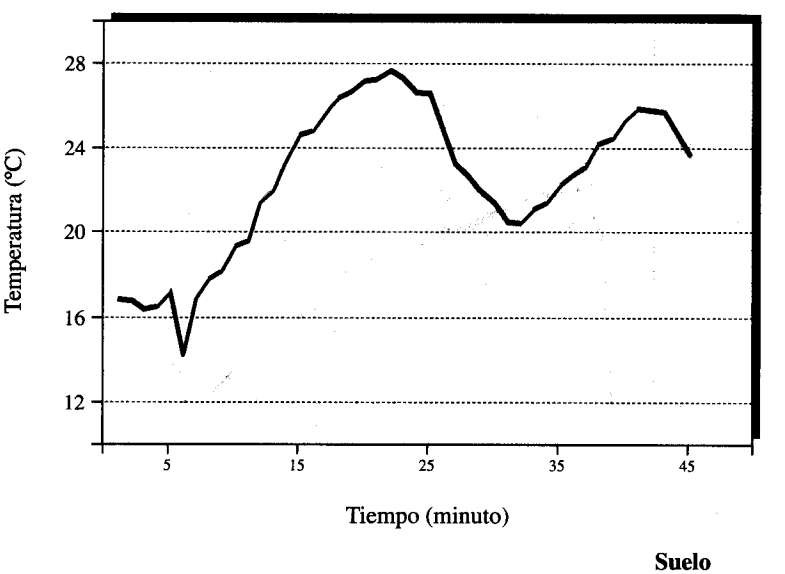
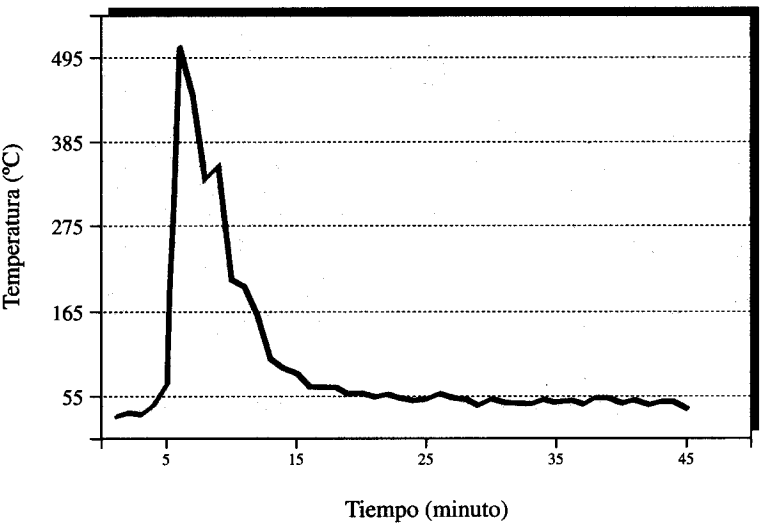


Fig. 1.–Variación de la temperatura en la hojarasca, mantillo, suelo mineral y en el cambium durante la quema. Lugar 1
Temperature variation in the litter, duff, mineral soil and tree cambium, during the burn. Place 1



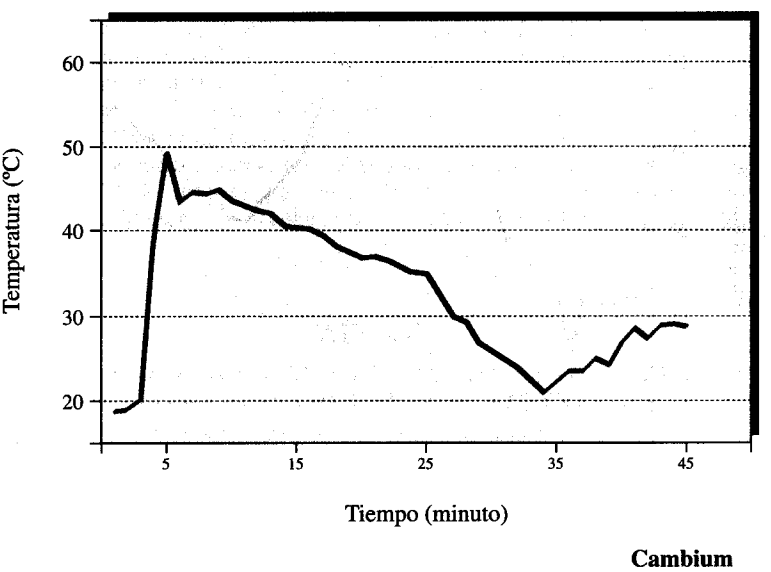
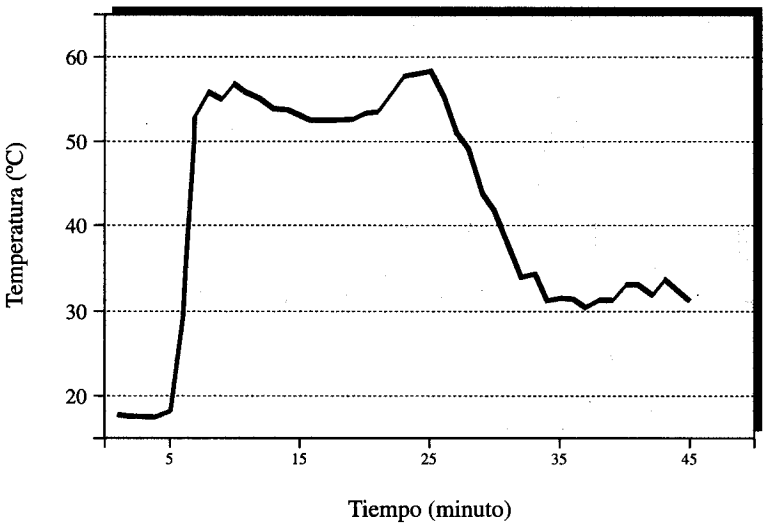


Fig. 1 ***(Cont.).*****–Variación de la temperatura en la hojarasca, mantillo, suelo mineral y en el cambium durante la quema. Lugar 1**
Temperature variation in the litter, duff, mineral soil and tree cambium, during the burn. Place 1



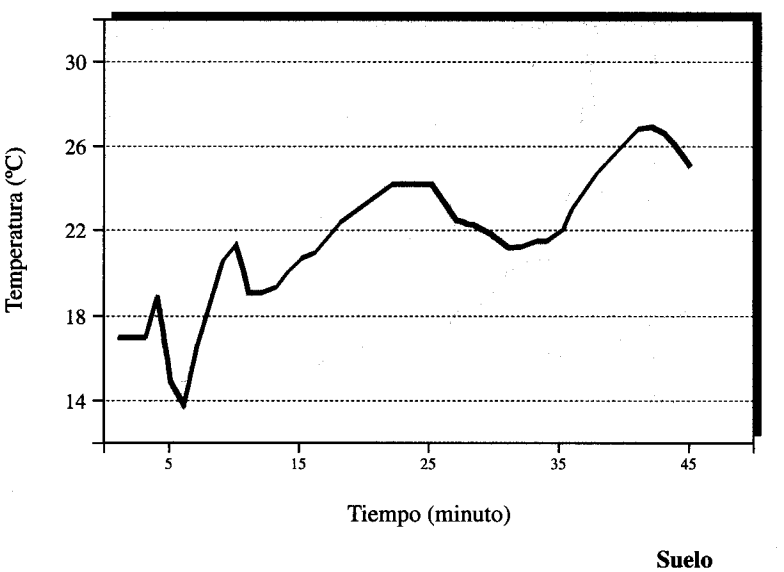
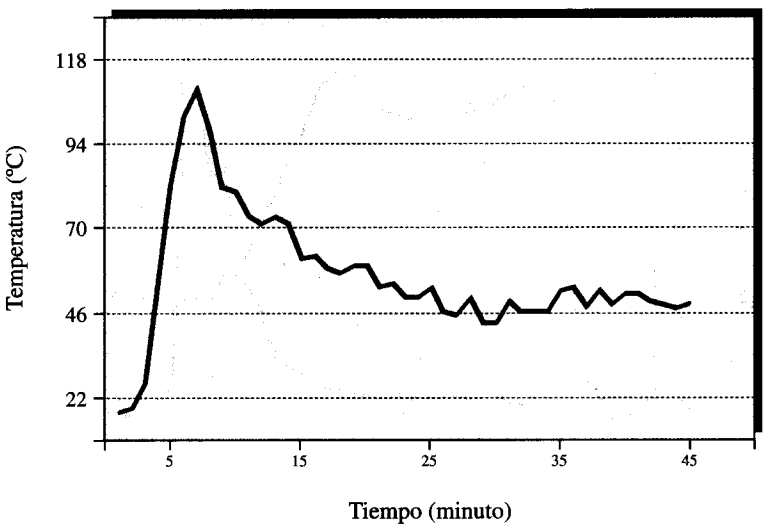


Fig. 2.–Variación de la temperatura en la hojarasca, mantillo, suelo mineral y en el cambium durante la quema. Lugar 2
Temperature variation in the litter, duff, mineral soil and tree cambium, during the burn. Place 2



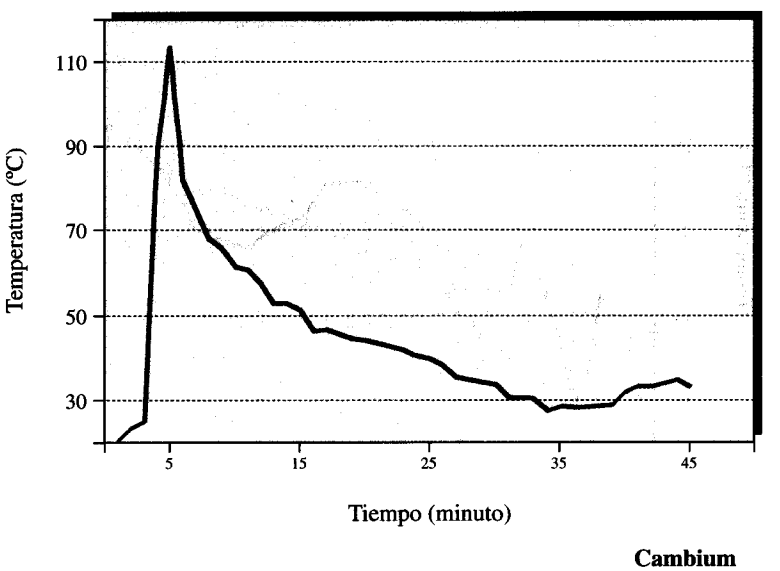
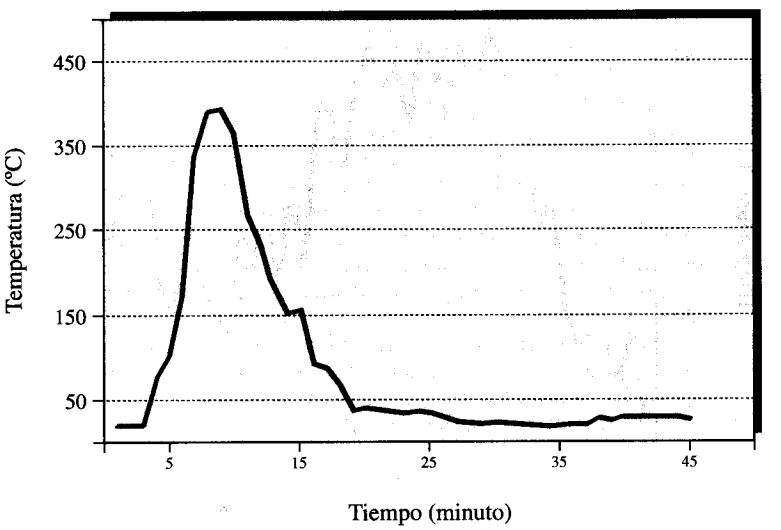


Fig. 2 *(Cont.)*.–Variación de la temperatura en la hojarasca, mantillo, suelo mineral y en el cambium durante la quema. Lugar 2
Temperature variation in the litter, duff, mineral soil and tree cambium, during the burn. Place 2



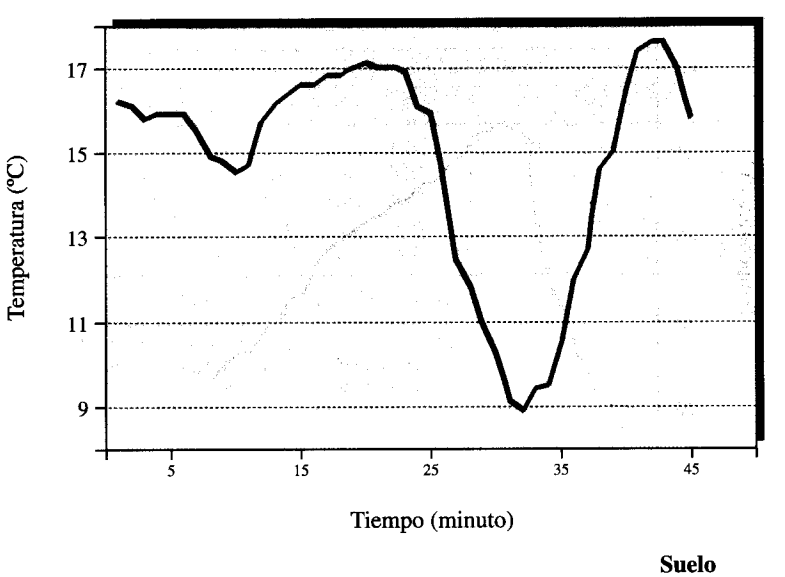
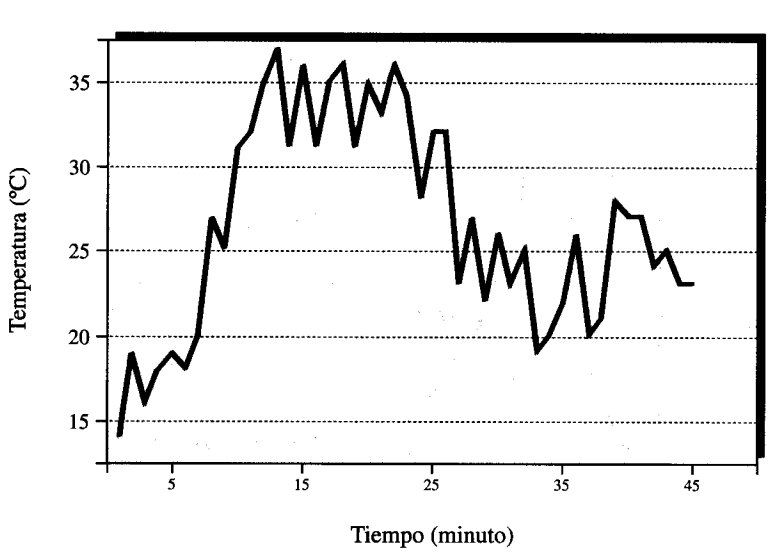


Fig. 3.–Variación de la temperatura en la hojarasca, mantillo, suelo mineral y en el cambium durante la quema. Lugar 3
Temperature variation in the litter, duff, mineral soil and tree cambium, during the burn. Place 3



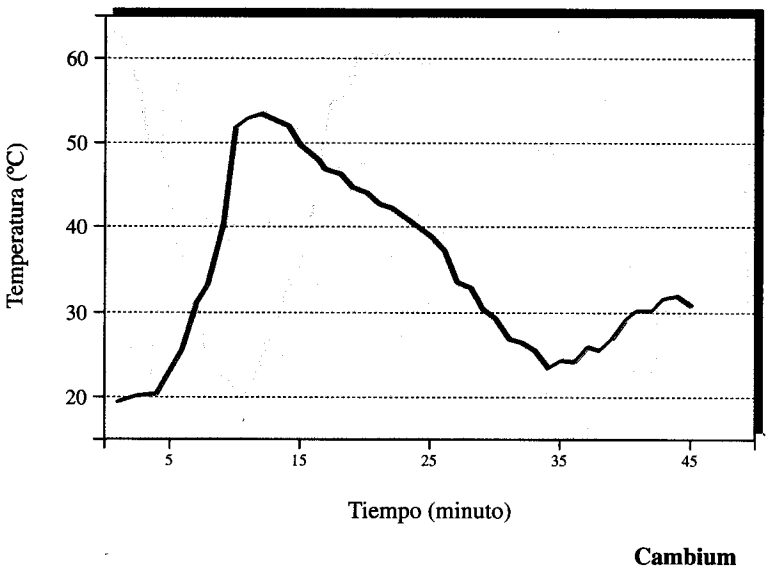


Fig. 3 *(Cont.)*.–Variación de la temperatura en la hojarasca, mantillo, suelo mineral y en el cambium durante la quema. Lugar 3
Temperature variation in the litter, duff, mineral soil and tree cambium, during the burn. Place 3

ma radical de los eucaliptos, sin duda sobrepasando las dimensiones del área quemada, aminoraría el posible efecto del fuego sobre aquel.

Por el contrario, las temperaturas registradas bajo la corteza externa superaron los 50 °C en el 67 p. 100 de los árboles y fueron mayores de 60 °C en el 33 p. 100. Aunque su distribución, de árbol a árbol, resultó ser muy irregular, la media de las máximas para el conjunto fue de 60 °C, con una duración media superior o igual a ese valor, de 30 minutos. Esto implica que la mayor parte de los árboles debió sufrir daño en los tejidos bajo la corteza exterior. En efecto, la Tabla 5 muestra que a los diez meses después del fuego, todos los árboles presentaban grietas en la corteza, evidenciando tensiones producidas por el necrosado de los tejidos, en diferentes partes del tronco, mientras que en bastantes casos (33 p. 100) se habían desarrollado brotes epicórmicos, indicando que se habían activado por el calor las correspondientes yemas durmientes.

En conjunto, puede verse que los árboles con mayores diámetros sufrieron menos daños que los que lo tienen menor. La escasa protección presentada por una corteza más delgada y una copa más baja en estos últimos, más sensible al chamuscado, explica la diferencia. Los árboles de diámetro normal inferior a 12 cm, y espesores de medios de corteza entre 0,1 y 0,3 cm dieron temperaturas máximas entre 49 y 113 °C bajo la corteza, mientras que los más gruesos, con corteza entre 0,7 y 0,9 cm tuvieron temperaturas desde 27 hasta 53 °C.

TABLA 5

EVOLUCION DE LOS DAÑOS EN LA PARCELA QUEMADA

Changes in tree injury with time after burning

Fecha de observación	N.º de árbol										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
28-9-88	D	D	D	3C	3C	D	2D	2G	1G	G	1GC
31-5-89	G	G	GC	3GC	3GC	G	2G	2G	3G	G	2GC
4-8-89	G	G	GC	3GC	3GC	G	2G	2G	3GC	G	3GC
7-5-90	G	GA	GA	3GC	3GB	2G	2GC	2G	3GA	G	3GA
Diámetro (cm)	20,5	14,6	13,9	12,7	8,1	16,2	12	12	8	26	14

Copa: A = 3/4 mal; B = 1/2 mal; C = 1/3 mal; D = normal
Tronco: G = Grietas en la corteza
Brotes: 1 = brotes que se extienden hasta 0,5 m en el tronco
2 = brotes que se extienden hasta 1 m en el tronco
3 = brotes que se extienden hasta 1,5 m en el tronco

Medición de la conductividad

Los valores correspondientes a las mediciones de conductividad, obtenidas a lo largo de 1 año (13 mediciones), se muestran en la Tabla 6.

Inmediatamente después de quemar, la conductividad aumenta significativamente en los árboles quemados frente a los testigos. Después de quemar, considerando todas las medidas realizadas en su conjunto, si bien no se aprecian diferen-

TABLA 6

VALORES (MEDICIONES DE 1 AÑO) DE CONDUCTIVIDAD EN PARCELAS DE *E. GLOBULUS*, TESTIGO Y QUEMADA
Medidas en microSiemens

Values (1 year of measures) of conductivity in control and burned E. globulus *plots*
MicroSiemens values

Testigo												
F0	**F1**	**F2**	**F3**	**F4**	**F5**	**F6**	**F7**	**F8**	**F9**	**F10**	**F11**	**F12**
263	253	244	205	189	92	102	227	284	263	205	164	184
Quemado												
214	406	249	152	147	89	72	204	169	178	143	124	127
Significación del tratamiento												
,3223	,0039*	,9009	,1634	,2319	,9065	,2627	,6251	,0653	,1165	,1127	,2076	,1589

F0 = ADQ = Antes de quemar
F1 = IDQ = Inmediatamente después de quemar
F2-F12 = Mediciones sucesivas durante la experiencia

cias significativas entre árboles quemados y testigos (Tabla 8), los quemados presentan siempre valores de conductividad menores que los testigo, con la excepción de los primeros 15 días después de la quema, en que los quemados experimentan una subida de los valores muy por encima del de los testigos, como respuesta al daño producido.

Transcurrido este primer período, la conductividad cae significativamente en los árboles quemados, mientras que en los testigos este descenso es menos acusado. Al llegar la primavera siguiente, los árboles testigo y quemados responden inicialmente con un aumento de la conductividad, alcanzándose a un punto en que desciende bruscamente en los quemados mientras que en los testigos sigue aumentando, acentuándose las diferencias entre ambos grupos.

Medición de biocorrientes

Los resultados se muestran en la Tabla 7.

En general, los árboles quemados presentan valores de biocorriente inferiores a los testigo. Hacia el final del inverno y comienzo de la primavera siguiente esta diferencia se hace significativa, comportándose en las demás estaciones de forma paralela.

El ascenso brusco durante la primavera y la caída subsiguiente hacia el verano, es menos acusado en los quemados que en los testigos.

TABLA 7

VALORES DE LAS BIOCORRIENTES EN PARCELAS DE *E. GLOBULUS*, TESTIGO Y QUEMADA
Medidas en microamperios

Biocurrents values in E. globulus *control and burned plots*
Microamper values

Biocorriente a 30 cm

Testigo												
F0	**F1**	**F2**	**F3**	**F4**	**F5**	**F6**	**F7**	**F8**	**F9**	**F10**	**F11**	**F12**
16,64	13,23	9,82	10,09	8,70	7,43	12,96	–	11,58	37,10	12,58	12,36	7,16
Quemado												
16,18	15,00	8,91	12,64	6,98	7,71	11,49	–	7,69	25,56	9,17	8,94	6,97
Significación del tratamiento												
,8416	,3156	,4208	,2789	,2370	,8543	,5318	–	,0064*	,0035*	,1522	,0958	,9083

Biocorriente a 130 cm

Testigo												
F0	**F1**	**F2**	**F3**	**F4**	**F5**	**F6**	**F7**	**F8**	**F9**	**F10**	**F11**	**F12**
14,00	11,77	8,64	9,27	7,45	6,55	11,81	–	9,91	28,21	9,83	10,54	6,50
Quemado												
13,45	14,45	7,55	10,64	5,84	6,91	11,55	–	6,69	17,56	7,71	7,30	5,31
Significación del tratamiento												
,7433	,0847	,3602	,5425	,2357	,7957	,9121	–	,0131*	,0246*	,2241	,0863	,4636

Mediciones con ondas cuadradas

Método de una sonda.– Los resultados obtenidos se indican en la Tabla 9.

Los valores de los voltajes de salida en los árboles quemados son siempre superiores a los de los árboles testigo. La relación V_{50}/V_{50K} da valores significativamente más elevados en los quemados.

Inmediatamente después de quemar, la frecuencia de 50 Hz es la que ha resultado más eficaz para discriminar los tratamientos, con niveles de significación elevados. La frecuencia de 1 KHz también es bastante significativa.

A partir del quinto mes tras la quema, en ninguna fecha estudiada, los árboles testigo presentan medias que sean significativamente distintas de los quemados. Esto nos confirma que es en la primera etapa de los daños cuando los resultados son fiables.

TABLA 8

RANGO DE VARIACION DE LA CONDUCTIVIDAD Y BIOCORRIENTE Y SU NIVEL DE SIGNIFICACION POR TRATAMIENTO

Conductivity and biocurrent range and level of significance by treatment

	Conductividad		Biocorriente 30		Biocorriente 130	
	ADQ	IDQ	ADQ	IDQ	ADQ	IDQ
Testigo						
Media	263	253	16,64	13,23	14,00	11,77
Máximo	441	430	27,00	18,00	20,00	16,50
Mínimo	129	141	8,00	7,50	8,00	7,50
Signf.	0,6100		0,0073*		0,0166*	
Quemado						
Media	214	406	16,18	15,00	13,45	14,45
Máximo	439	607	25,00	23,00	21,00	19,00
Mínimo	101	257	10,00	9,00	9,00	8,00
Signf.	0,0000*		0,3128		0,2543	
Tratam.	0,3223	0,0039*	0,8416	0,3156	0,7433	0,0847
Tratam.	0,2727		0,7226		0,4674	

* Significativo nivel $\alpha = 0,05$
ADQ = Antes de quemar
IDQ = Inmediatamente después de quemar

TABLA 9

VALORES MEDIOS DE LOS VOLTAJES DE SALIDA EN PARCELAS DE *E. GLOBULUS*, TESTIGO Y QUEMADA

Método de 1S. Medidas en voltios

Output voltage mean values in E. globulus *control and burned plots 1S method. Measured in volts*

	50 Hz		1 KHz		50 KHz		50 Hz/50 KHz	
	ADQ	IDQ	ADQ	IDQ	ADQ	IDQ	ADQ	IDQ
Testigo								
Media	1,691	1,660	1,491	1,460	1,441	1,430	1,175	1,166
Máximo	1,800	1,900	1,700	1,800	1,700	1,700	1,290	1,250
Mínimo	1,500	1,500	1,300	1,250	1,300	1,200	1,060	1,000
Signf.	0,5208		0,5599		0,7654		0,6570	
Quemado								
Media	1,710	1,880	1,527	1,604	1,474	1,464	1,161	1,283
Máximo	1,900	2,000	1,800	1,800	1,700	1,550	1,240	1,360
Mínimo	1,500	1,650	1,300	1,400	1,250	1,400	1,090	1,170
Signf.	0,0018*		0,1539		0,7844		0,0000*	
Tratam.	0,7177	0,0006*	0,5764	0,0210*	0,5606	0,5235	0,5430	0,0005*
Tratam.	0,0087*		0,0771		0,4927		0,0299*	

* Significativo nivel $\alpha = 0,05$
ADQ = Antes de quemar
IDQ = Inmediatamente después de quemar

Aquí sucede lo contrario que con *P. radiata,* en donde las medias eran menores. Como ya se indicó anteriormente, los daños sufridos, en el cambium, por los eucaliptos fueron de menor intensidad que el pino, lo que les permite a los árboles reaccionar ante el daño. Confirma este hecho el valor de la relación V_{50}/V_{50K} que sólo es algo más elevada que la del testigo.

El aumento del voltaje de salida, de los árboles quemados con respecto a los testigos, se puede interpretar como una reacción del árbol al daño, aumentando su actividad fisiológica para contrarrestar los destrozos. Si los tejidos quedan muy dañados pierden la facultad de reaccionar y los voltajes obtenidos son menores que en los testigos.

Método con tres sondas

Los resultados de estas mediciones se indican en la Tabla 10.

TABLA 10

VALORES MEDIOS DE LOS VOLTAJES DE SALIDA EN PARCELAS DE *E. GLOBULUS,* TESTIGO Y QUEMADA
Método de 3S. Medidas en voltios

Output voltage mean values in E. globulus *control and burned plots 3S method. Measured in volts*

	50 Hz	1 KHz	50 KHz	P1	P2	P3	L1	L2
Testigo								
Media	0,325	0,270	0,255	0,322	0,300	0,227	0,272	0,295
Máximo	0,437	0,373	0,360	0,430	0,473	0,333	0,418	0,382
Mínimo	0,195	0,177	0,158	0,195	0,192	0,143	0,154	0,199
Quemado								
Media	0,418	0,343	0,285	0,415	0,297	0,334	0,350	0,348
Máximo	0,632	0,498	0,442	0,710	0,547	0,588	0,517	0,509
Mínimo	0,243	0,210	0,120	0,280	0,020	0,162	0,192	0,193
Tratam.	0,0107*	0,0112*	0,3472	0,0093*	0,9529	0,0254*	0,0095*	0,0199*

P1, P2 y P3 son niveles del factor posición.
L1 y L2 se corresponden con distintos niveles del factor lectura
* Significativo $\alpha = 0,05$
Los valores representados corresponden a 11 medidas realizadas

Los voltajes de salida medios para los niveles de cada variable, en los árboles quemados, son siempre más altos que en los testigos, excepto en P2 que son aproximadamente iguales. Esta diferencia hace que el tratamiento sea significativo en todos los casos, excepto en P2 y 50 KHz.

La fecha de medición resultó ser muy significativa, en especial en los árboles quemados. Las diferencias entre L1 y L2 son significativas en los testigos pero no en los quemados (nivel no indicado en la Tabla 11). El tratamiento, considerando las demás variables en su conjunto, es muy significativo (0,0122*).

TABLA 11

VALORES MEDIOS DE LA VARIACION DE LAS LECTURAS EN FUNCION DE LA POSICION DE LAS SONDAS EN PARCELAS DE *E. GLOBULUS*, TESTIGO Y QUEMADA

Método de 3S. Valores en voltios

Output voltage mean values in E. globulus *control and burned plots, for different probe positions 3S method. Measures in volts*

	P1L1				P1L2			
	50 Hz	1 KHz	50 KHz	Vm	50 Hz	1 KHz	50 KHz	Vm
Testigo								
Media	0,416	0,334	0,321	0,357	0,347	0,263	0,250	0,287
Máximo	0,560	0,440	0,440	0,560	0,480	0,360	0,360	0,480
Mínimo	0,260	0,200	0,200	0,200	0,120	0,160	0,140	0,120
Quemado								
Media	0,587	0,508	0,370	0,488	0,437	0,304	0,286	0,424
Máximo	1,100	1,000	0,640	1,100	0,900	0,560	0,460	0,900
Mínimo	0,340	0,320	0,050	0,050	0,240	0,160	0,160	0,230
Tratam.	0,0233*	0,0757	0,2028	0,0118*	0,0813	0,1174	0,1950	0,1114
	P2L1				P2L2			
	50 Hz	1 KHz	50 KHz	Vm	50 Hz	1 KHz	50 KHz	Vm
Testigo								
Media	0,305	0,270	0,257	0,277	0,388	0,299	0,284	0,324
Máximo	0,600	0,600	0,540	0,600	0,540	0,460	0,440	0,540
Mínimo	0,150	0,150	0,140	0,140	0,200	0,200	0,160	0,160
Quemado								
Media	0,327	0,284	0,260	0,291	0,381	0,276	0,255	0,304
Máximo	0,600	0,620	0,540	0,620	0,700	0,480	0,460	0,700
Mínimo	0,020	0,020	0,010	0,010	0,030	0,020	0,020	0,020
Tratam.	0,7458	0,8214	0,9546	0,8355	0,9122	0,6513	0,5807	0,7226
	P3L1				P3L2			
	50 Hz	1 KHz	50 KHz	Vm	50 Hz	1 KHz	50 KHz	Vm
Testigo								
Media	0,190	0,183	0,168	0,181	0,303	0,269	0,248	0,273
Máximo	0,340	0,380	0,320	0,380	0,400	0,360	0,320	0,400
Mínimo	0,080	0,100	0,080	0,080	0,200	0,160	0,160	0,160
Quemado								
Media	0,300	0,266	0,248	0,271	0,474	0,422	0,292	0,396
Máximo	0,560	0,520	0,480	0,560	1,000	0,900	0,500	1,000
Mínimo	0,110	0,100	0,100	0,100	0,220	0,180	0,060	0,060
Tratam.	0,0351*	0,0300*	0,0253*	0,0289*	0,0843	0,1356	0,1175	0,0529

* Singificativo nivel $\alpha = 0,05$

La media del voltaje de salida en la población quemada es siempre mayor que la testigo, excepto en las medidas de P2L2.

El tratamiento resulta significativo, a frecuencias bajas en la P1L1.

La P3L1 es la combinación más acertada, ya que el tratamiento es significativo para todas las frecuencias estudiadas.

Tanto la fecha como la frecuencia son significativas en la población quemada (cuyo voltaje de salida varía estacionalmente y según la frecuencia aplicada) mientras que los árboles testigo permanecen constantes en sus valores, independientemente del momento de medición y de la frecuencia utilizada.

Predicción de los daños

En la Tabla 13 se clasifican los árboles, de acuerdo con los daños estimados visualmente.

TABLA 13

CLASIFICACION VISUAL DE MENOR A MAYOR DAÑO DE LOS ARBOLES DE LA PARCELA QUEMADA, SEGUN LAS OBSERVACIONES DEL 7-5-90

Visual clasification of damage, in burned plot, from observations done in 5-7-90

N.º de árbol	Tipo de daño	Clasificación
1	G	I
10	G	
6	2G	II
8	2G	
7	2GC	III
4	3GC	
2	GA	IV
3	GA	
5	3GB	V
11	3GA	
9	3GA	

Ver clave en la Tabla 5

Como se puede observar, hemos clasificado los árboles en cinco grupos, en donde los daños van desde simples grietas en el tronco, hasta tener los 3/4 de la copa dañada, con grietas y rebrotes en el tronco.

La conductividad, medida diez días después de la quema, ha resultado ser el parámetro más adecuado para predecir los daños, en este caso concreto en el que no murió ningún árbol. En la Tabla 14 se muestra la relación entre el tipo de daño visual, año y medio después de la quema, y el valor de la conductividad, expresada en microSiemens.

TABLA 14

RELACION ENTRE LA CLASE DE DAÑO, AL CABO DE AÑO Y MEDIO, Y EL VALOR DE LA CONDUCTIVIDAD, 10 DIAS DESPUES DE LA QUEMA

Relation between damage, after a year and half, and conductivity measured ten days after burn

N.° de árbol	Clasificación visual	Conductividad µS	
10	I	I	607
6	II		506
7	III	II	489
4	III		458
2	IV	III	439
8	II		415
11	V	IV	385
1	I		350
5	V	V	284
3	IV		268
9	V		256

Los árboles de la parcela testigo, a los 10 días de la quema, tenían una conductividad media de 250 µS, observándose, en los árboles quemados, que cuanto menor es el daño, mayor es el incremento de la conductividad respecto al testigo, indicando más capacidad de reacción en los árboles menos dañados

Teniendo en cuenta que la valoración visual de los daños presenta cierta indeterminación, consideramos que los grupos pueden solaparse, es decir, que un grupo puede contener un árbol clasificado una unidad por encima o por debajo.

Aceptando el anterior criterio, se observa una buena correspondencia entre el valor de la conductividad y la intensidad final de los daños, si exceptuamos que en el grupo IV está incluido un árbol, cuyos daños se han clasificado como del grupo I. Estos resultados son de interés, puesto que, a los dos meses de quemar (observaciones del 28-9-88), el aspecto visual de los árboles no permitía predecir su estado posterior (observaciones del 7-5-90).

Se podría simplificar más la clasificación, haciendo solamente dos grupos: en el primero estarían los árboles con conductividad mayor que 400 µS, que abarcaría las clases de la I a la III, estando solamante desplazado el árbol n.° 2, y los que presentan una conductividad menor, que comprendería los grupos IV y V, con la excepción del árbol n.° 1 que no le corresponde ese puesto.

De ese modo, en el primer grupo estarían incluidos los árboles con un tipo de daño ligero o medio y en el segundo aquellos que presentan un daño más acusado, sirviendo estos valores de la conductividad como guía para clasificar el tipo de daño en rodales afectados.

CONCLUSIONES

La conductividad diferencia, muy significativamente, los árboles testigo de los dañados y también el gradiente de los daños. Su valor es menor en los árbo-

les quemados, excepto en los primeros días después de la quema en el que son superiores.

Los valores de biocorriente son más bajos en los árboles dañados que en los testigo, siendo menos significativos que los de conductividad. Con el *P. radiata* ocurría lo contrario, tal vez debido a los mayores daños sufridos por estos árboles.

El empleo de ondas cuadradas, con el método de una sonda, produce tensiones de salida más elevadas en los árboles quemados que en los testigos, siendo los resultados muy significativos. Lo mismo sucede con la razón V_{50}/V_{50K}. Con el método de tres sondas, la media general también es mayor en los árboles quemados que en los testigos, siendo los resultados muy significativos. Las posiciones de sonda más favorables son P1 y P3 y las frecuencias de 50 Hz y 1 KHz se muestran como las más significativas. La relación V_{50}/V_{50K}, que es mayor en los quemados, no es significativa.

Las lecturas individuales, en función de la posición de la sonda, que mejor detectan los daños son P1L1, y P3L1.

Los futuros daños que van a presentar los árboles quemados, podrían ser estimados a partir de las mediciones de conductividad realizadas a los diez días de la quema. Este resultado puede quedar restringido a un tipo de daño que no conduzca a la muerte de los árboles.

SUMMARY

Bioelectric methods to detect tree damage caused by fire. II. *Eucalyptus globulus*

Tree stem electric conductivity, biocurrents and square waves voltage attenuation and change of shape were periodically measured for eighteen months to detect chantes originated by an experimental moderately intense fire (480 Kw · m^{-1}) on *E. globulus* trees.

Lethal temperatures at the inner bark of the most part of trees were recorded for several minutes during the fire. Two months after fire epicormic shoots, on more than the half of trees, were observed and one year after fire, leaves decolorization in the half of them was conspicuous. There was no evidence of root damage by the heat pulse.

Conductivity significantly decreased for the burnt trees when compared to the control trees along the period of study. Ten days post-fire measurements gave an useful information to estimate the recovery or deterioration trend of individual trees in the next months following the fire.

Biocurrents values were significantly lower for burnt trees than for control, but with a lower signification than conductivity.

Square waves transmission (one probe method) showed, in the burnt trees, output voltages significantly higher than in control ones, and also higher V_{50}/V_{50K} ratio.

Three probe method also gave output voltages significantly higher in burnt trees than in controls. 50 Hz and 1 KHz were the best frecuencies of characterize the damage, and P1 and P3 the best positions of probes.

KEY WORDS: Bioelectric methods
Conductivity
Electrical resistance
Square waves
Fire damage
E. globulus

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BARA S., ALONSO M., VEGA J. A., 1990. Métodos biofísicos para establecer el estado fisiológico de las especies forestales. Comunicaciones INIA. Serie: Rec. Nat. n.° 56.

BARA S., VEGA J. A., ALONSO M., 1992. Estudio de los daños producidos por el fuego en árboles, utilizando métodos bioeléctricos. I. *Pino radiata.* Invest. Agrar., Sist. Recur. For. Vol. 1 (1): 21-40.

BYRAM G. M., 1959. Combustion of forest fuels. En Forest Fires-Control and use. Chap. 3. Editada por K. P. Davis. McGraw-Hill. NY.

FAHANESTOCK G. R., HARE R. C., 1964. Heating of tree trunks in surface fires. J. For. 62: 799-805.

GILL A. M., 1974. Towards on understanding of fire scar formation: Field observation and laboratory simulation. For. Sci., 20: 198-205.

STOUT D. G., 1988. Plant Physiol., 86: 283-287, pág. 286.

THOMAS P. M., 1963. The size of flames from natural fires. Ninth. Symp. Int. Combust. Proc. 1962: 844-859. Academic Press, Inc. NY.

TUNSTALL B. R., WALKER J., GILL A. M., 1976. Temperature distribution around synthetic trees during grass-fires. For. Sci., 22: 269-276.

VEGA J. A., BARA S., GIL M. DEL C., 1983. Prescribed burning in fire stands for fire prevention in NW of Spain: some results and effects. DFG Symposium «Feueökologie», Band 4: 49-74.

ANEXO

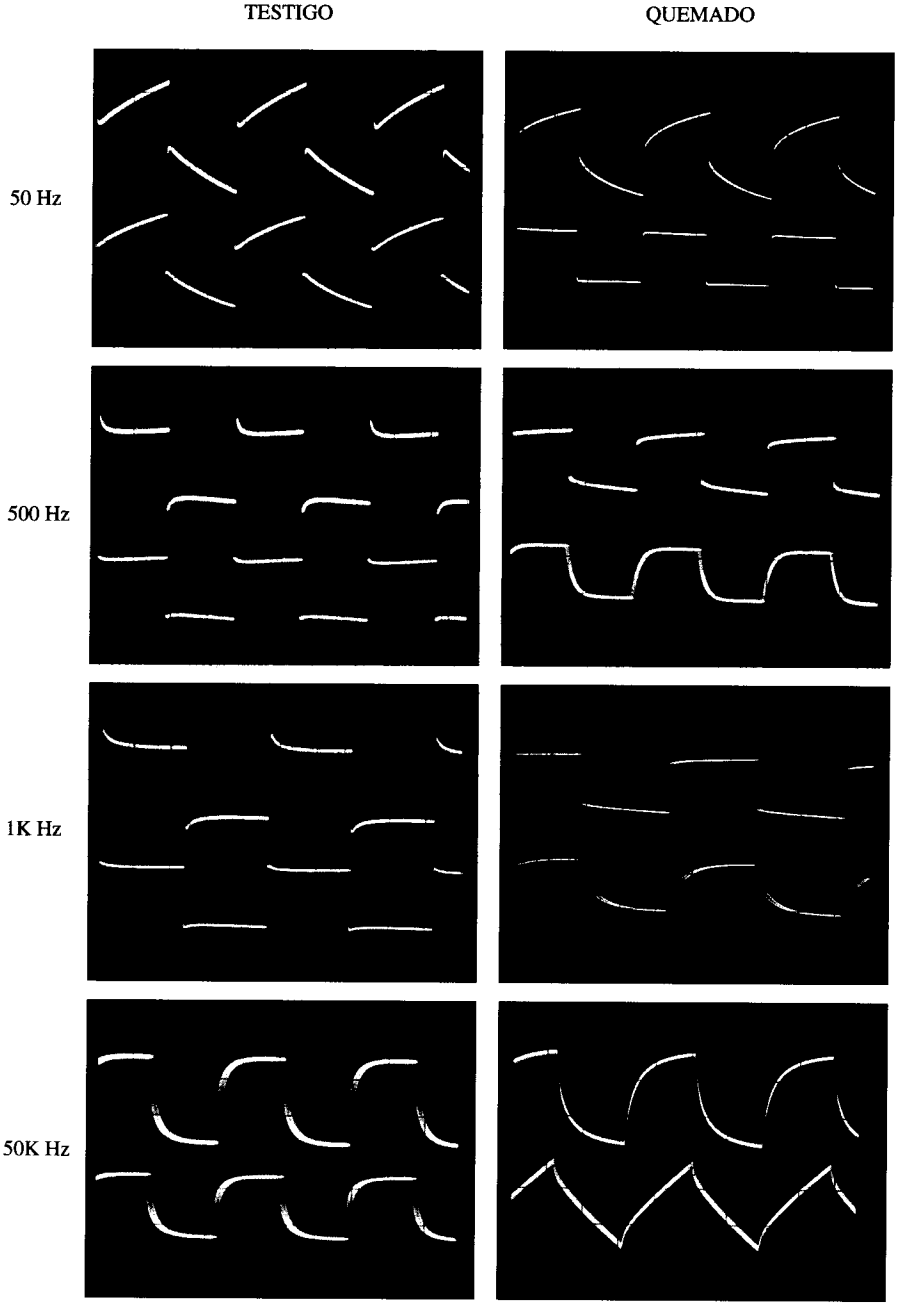
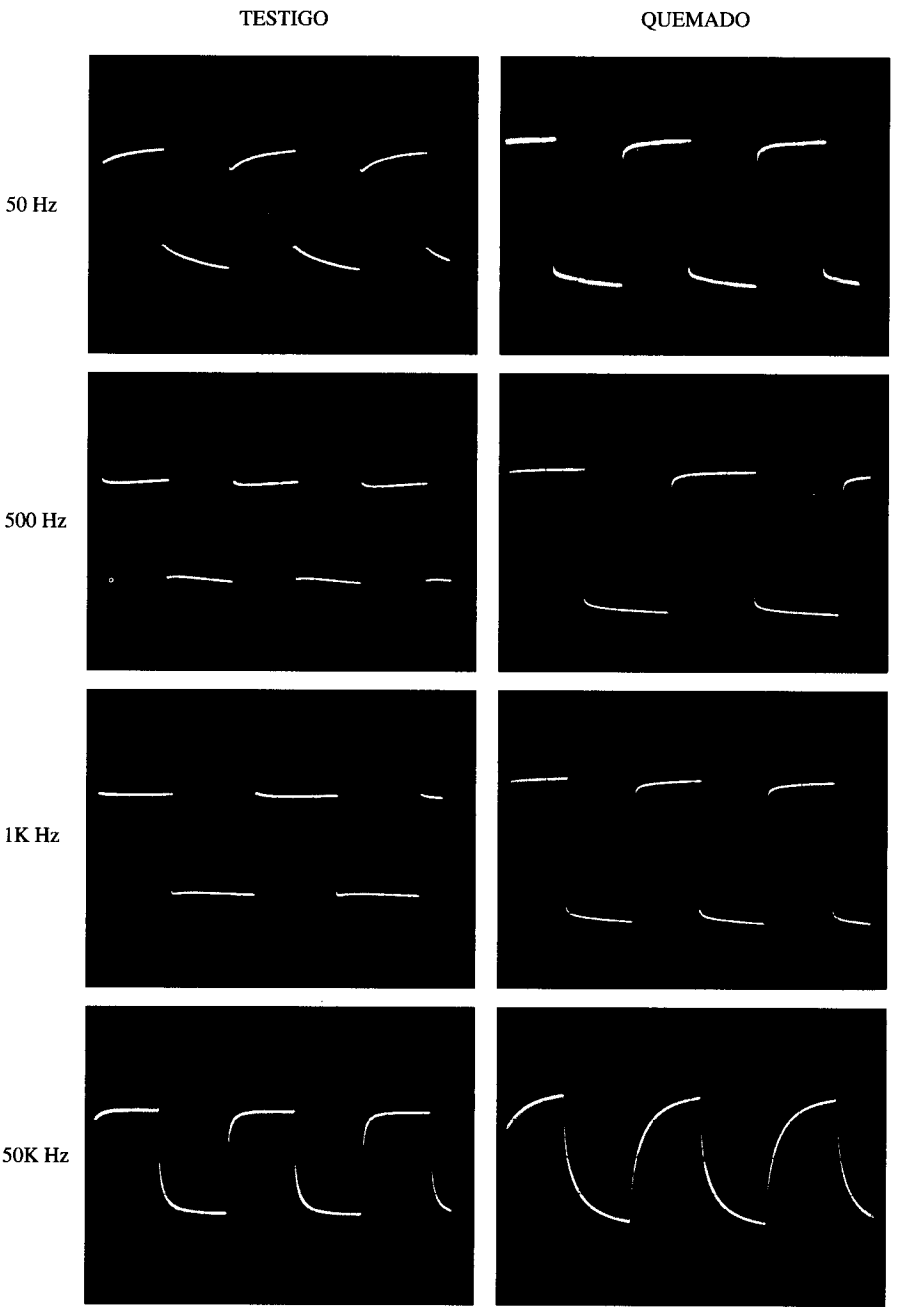
La forma de la onda ayuda en la determinación del nivel de daños. En las fotografías adjuntas, tomadas con cámara Polaroid (fotos 1 y 2), se reproducen los oscilogramas, a varias frecuencias, utilizando los métodos de una y tres sondas. Los correspondientes al árbol quemado proceden del árbol n.° 4, que representaba un nivel medio de daño (nivel 3 según apreciación visual y 2 según el valor de la conductividad) y se realizaron el 16-6-1989, es decir, casi un año después de quemar.

El método de una sonda (1S) muestra que a 50 Hz los tramos horizontales de la onda del árbol quemado tiene menos inclinación que en el testigo; a 500 Hz el oscilograma del árbol quemado pierde la ligera subida que hacia la izquierda tienen los tramos horizontales del testigo; esta tendencia, menos acusada se presenta en los oscilogramas a 1K Hz. 50K Hz es la frecuencia que más claramente diferencia el testigo del quemado. En todos los casos, los voltajes de salida son algo más elevados en el árbol quemado. En todos los casos, los voltajes de salida son algo más elevados en el árbol quemado, por lo que la forma de onda no puede ser interpretada como signo de muerte futura.

En el método de tres sondas se eligió la posición 1, que según este estudio es la más definitoria, en unión de la 3. En cada fotografía, el oscilograma superior corresponde a la sonda situada en la posición más elevada (L2 o canal B del osciloscopio) mientras que el inferior corresponde a la sonda que queda por debajo de la anterior (L1 o canal A) y en la zona que está más dañada por el fuego.

En general, aquí las formas de onda diferencian mejor el testigo del dañado que con el método de 1S. A 50 Hz el testigo muestra dos ondas idénticas, independientemente de la posición de la sonda, mientras que el quemado modifica mucho la forma de la onda inferior y menos la superior; a 500 Hz se puede apreciar en el testigo que la onda superior tiene un pico en el lado horizontal izquierdo más intenso que en la onda inferior. Este pico está en relación directa con la actividad vital de los tejidos, que se va haciendo más intensa a medida que se sube hacia la copa; el quemado modifica ambas ondas, siendo más marcada esta modificación en la onda inferior, como corresponde a una zona más dañada. A 1K Hz la situación es semejante a la anterior y a 50K Hz es muy notable la modificación de la onda inferior del árbol quemado. En todos los casos los voltajes de salida del árbol dañado están por encima de los del testigo, por lo que este tipo de onda no puede asociarse a un daño irreversible.

METODO DE 3S POS. 1. E. GLOBULUS



METODO DE 1 SONDA E. GLOBULUS