

UN NUEVO METODO CONDUCTIMETRICO PARA MEDIR LA VELOCIDAD DE SAVIA EN EL XILEMA DE RAMAS AISLADAS

S. BARA TEMES

Centro de Investigaciones Forestales de
Lourizán. Pontevedra. Xunta de Galicia

RESUMEN

Usando como detector una sonda con dos agujas y un conductímetro portátil es posible medir la velocidad de savia en ramas aisladas, sumergiendo el extremo cortado en una disolución de cloruro potásico y situando en el xilema la sonda, que va conectada al conductímetro. La concentración óptima de la disolución de ClK varía para cada especie, siendo necesario determinarla en cada caso. La llegada de la disolución salina es indicada por un aumento de la conductividad.

La velocidad se obtiene por tres mediciones a tres distancias determinadas de la sonda del punto de corte y ajustando los valores obtenidos a un polinomio de segundo grado del tipo $V = A \cdot D^2 + B \cdot D + C$, siendo V la velocidad en cm/min y D la distancia en cm. Extrapolando la velocidad a distancia 0 se obtiene el término independiente C que es el resultado. Esto es necesario ya que la velocidad aparente depende de la distancia de la sonda al punto de corte debido a la retención que la sal experimenta en su trayectoria por la rama.

Excepto para las coníferas, en donde hay coincidencia, las velocidades obtenidas sobrepasan las indicadas, para árboles, en la bibliografía con el método del impulso de calor.

PALABRAS CLAVE: Velocidad
Flujo
Savia

INTRODUCCION

La determinación de la velocidad de savia, en las plantas, ha preocupado, desde hace tiempo, a los especialistas en fisiología vegetal. El flujo de savia (que es función de la velocidad y la superficie transversal del xilema) no sólo guarda relación con la absorción y transporte de nutrientes, sino también con la transpiración que, en el caso de los árboles, es un problema cuyo conocimiento plantea una serie de difíciles problemas a resolver.

La velocidad de savia se ha medido de diferentes maneras. Así, se han empleado sales radiactivas, cuya trayectoria en la planta puede seguirse por autorradiografía o por detectores Geiger. Este método es considerado como referencia por Granier (1977). Heine y Farr (1973) comparan el método del impulso de calor con otro en el que emplean trazadores radiactivos, encontrando que existe una relación lineal entre las dos técnicas. Consideran

Recibido: 26-3-91

Aceptado para su publicación: 16-12-91

que si se tiene en cuenta el porcentaje de los vasos que intervienen en el flujo, el método de impulso de calor da buenos resultados en los casos de baja velocidad. Wang (1983) usa bromo radiactivo, en forma de bromuro amónico, introducido en la albura, para medir la velocidad de savia en *Picea abies* (L.) Karst sanas y en otras atacadas por insectos de la corteza.

También se han empleado colorantes, estableciendo su distribución a lo largo de la planta después de cortarla en secciones y viendo hasta donde se ha transportado. Greenidge (1958) utiliza el método del colorante en varias especies forestales, como *Populus balsamifera* L., *Ulmus americana* L., *Acer saccharum* Marsch, etc. Se ensayó también un método magnetohidrodinámico, que consiste en aplicar un campo magnético perpendicularmente al flujo de savia, lo que provoca un gradiente de potencial proporcional a la velocidad (Roa, Pickard, 1975). Este método es de uso limitado a ramas finas, por los intensos campos que se necesitan y que requieren mucha energía. Los métodos actuales que gozan de más favor se basan en comunicar un impulso de calor y recogerlo a cierta distancia por medio de un termopar, termistor, etc. Revisiones generales que incluyen estos métodos se pueden encontrar en Leyton (1970), Denmead (1984), Granier (1977), Jones *et al.* (1988).

Miller *et al.* (1980) utilizan esta técnica para medir el flujo de savia y la transpiración en *Quercus velutina* Lam y *Quercus alba* L. Doley y Grieve (1966) miden la velocidad en *Eucalyptus marginata* Sm., encontrando diferencias de 1:3 entre uno dominado y otro dominante.

A pesar de su amplio uso y difusión, el método del impulso de calor tiene sus limitaciones, y numeroso autores continuamente aportan modificaciones para mejorar su eficacia. Así, Cohen *et al.* (1985), Granier (1985, 1987), Walker y Bikaunieks (1988) y Hösl *et al.* (1987) exponen modificaciones a las distintas etapas de medición.

La calibración de este método tampoco está libre de inconvenientes y Cohen (1985, 1989) realiza mediciones a distintas velocidades forzadas para verificar su validez.

Si bien es cierto que la velocidad de la savia puede no ser la misma en una rama cuando está aislada y sumergida en agua, que cuando forma parte del vegetal, los valores obtenidos, de este modo, guardan relación con la capacidad de transporte que la planta tiene en ese momento, y el registro de valores, a lo largo del tiempo, podrá servir para mostrar las variaciones que sufre esta velocidad en función de una serie de parámetros naturales o inducidos.

Tratando de buscar otro método alternativo para la medición de la velocidad de la savia, se consideró que si con una sal radiactiva, introducida en la planta, podía marcarse su ruta por medio de una autorradiografía o un detector Geiger, significaba que el movimiento de una sal era adecuado para este fin. Con el mismo fundamento, la técnica que se propone utiliza el movimiento de una sal, dentro de la planta, usando como medio de detección el aumento de la conductividad que experimenta la savia al transportar una sal conductora.

MATERIAL Y METODOS

Como material de partida, en los ensayos preliminares se utilizaron ramas de *Eucalyptus globulus* Labill. con hojas juveniles, que tenían una longitud de unos 60 cm y unos 5 mm de diámetro. La única razón de usar este material fue su disponibilidad y la facilidad para situar la sonda, ya que al no estar estas ramas lignificadas permitían penetrar fácilmente las agujas de la sonda. La recogida de las ramas se realiza disponiendo de un vaso de adecuado tamaño, mediado de agua destilada, y de una cuchilla de buen filo. Las ramas se cortan bajo agua, cuando es factible.

METODO PARA MEDIR LA VELOCIDAD DE SAVIA EN EL XILEMA

Para hacer la medición, se retira la rama del recipiente y se introduce en un pocillo con agua destilada. Esquemáticamente puede verse en la Figura 1. La rama se sujeta, por medio de una pinza regulable, a un soporte de laboratorio. Se introduce la sonda profundamente en el tallo, a una distancia de 10 cm del punto de corte, atravesándolo por completo, y se conecta al conductímetro.

La sonda consta de dos alfileres, separados 3 mm, que van introducidos en un trozo de tubo de plástico de pequeño diámetro y afianzados con un adhesivo tipo Araldit. Estos alfileres van soldados al extremo de un trozo de cable coaxial RG 174U, de 1 metro de longitud, y el otro extremo a dos clavijas.

El conductímetro empleado es de tipo portátil, siendo un aparato de poco peso y muy manejable. Se utiliza la escala 0-200 microsiemens. Es posible aumentar su alcance poniendo el mando de corrección de temperatura al máximo.

En los primeros momentos la conductividad tiende a subir, pero pronto comienza a disminuir. Este período de disminución puede prolongarse durante horas. Después de dos o tres minutos de que la conductividad comienza a disminuir, se sustituye el pocillo con agua por otro que contiene disolución 2,65 M de cloruro potásico. En este instante se pone en marcha un cronómetro. En los primeros momentos la conductividad sigue disminuyendo, hasta que en un determinado instante comienza a aumentar, al alcanzar la sal la sonda; se anota el tiempo transcurrido y se sigue observando la evolución de la conductividad, sin parar el cronómetro, ya que podría tratarse de un falso punto final, aunque este hecho es muy poco frecuente. Este aumento de conductividad es continuo y se ha seguido en nume-

DISPOSITIVO DE MEDIDA

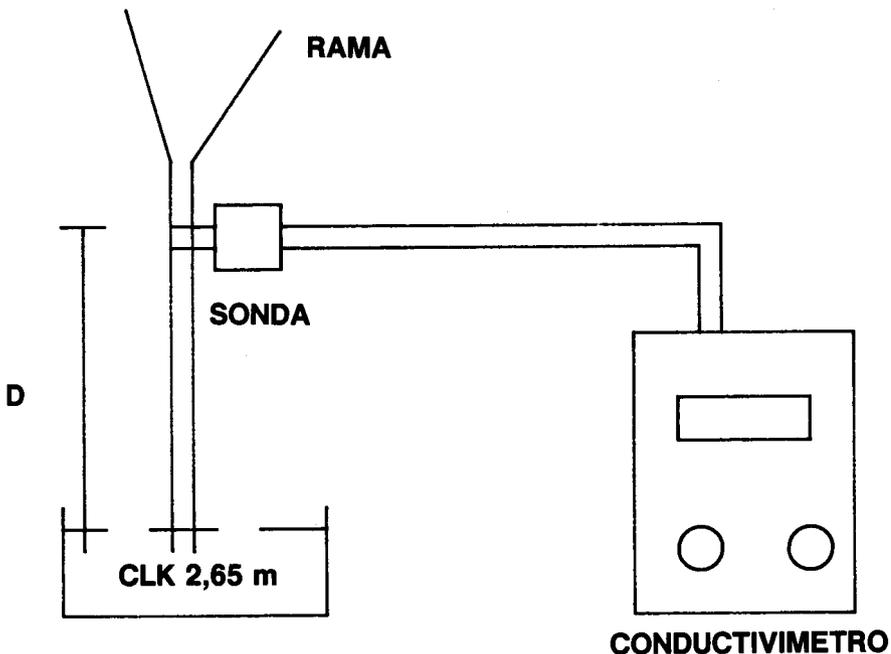
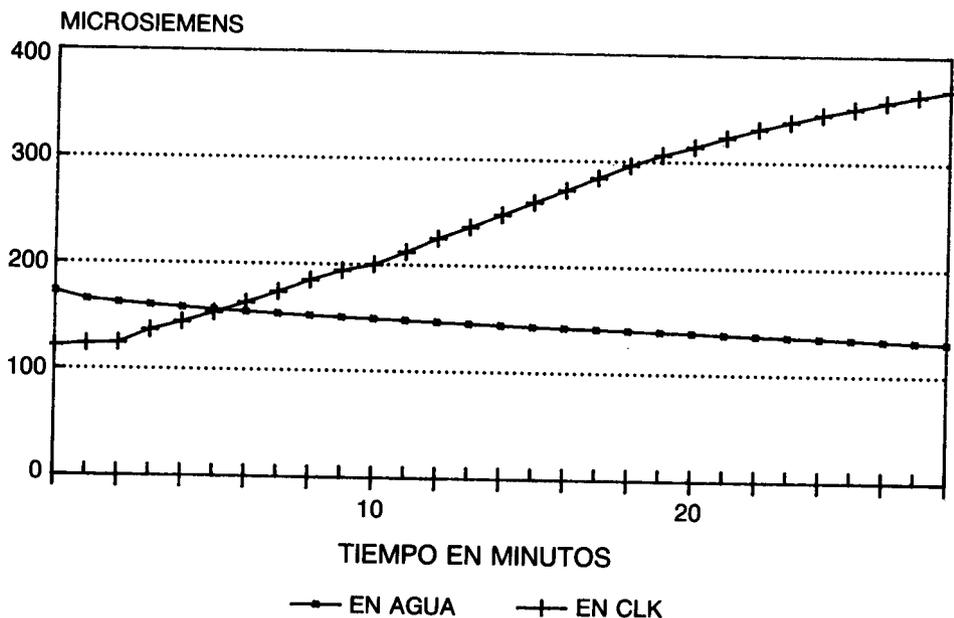


Fig. 1.—Disposición de los elementos de medida.

rosas determinaciones hasta 1 hora. Desde un punto de vista práctico, a partir del primer aumento de la conductividad, sólo es necesario controlar la subida durante tres o cuatro cambios de lectura.

La evolución de la conductividad en agua y en disolución de ClK, después de que comienza a aumentar, puede verse en la Figura 2.



SONDA A 10 cm E. globulus

Fig. 2.—Variación de la conductividad en una rama introducida en agua y en cloruro potásico.

RESULTADOS Y DISCUSION

El empleo del cloruro potásico se hizo teniendo en cuenta que es una sal fácilmente ionizable, y también por el hecho de ser el ion potasio muy móvil dentro de la planta y no ser fijado formando compuestos poco solubles, como podría ocurrir, por ejemplo, con el calcio. La concentración se estableció después de estudiar su influencia en la velocidad obtenida, tal como se indica en la Figura 3. Esta gráfica se obtuvo en una sola rama de *E. globulus*. Después de que la conductividad comienza a subir, en la disolución de ClK, y se ha anotado el tiempo empleado, se pasa a agua destilada y se mantiene hasta que las mediciones comienzan a descender, quedando la rama en posición de realizar un nuevo ensayo con otra concentración de ClK. Se observa que la velocidad crece, en función de la concentración, hasta alcanzar un máximo a 2,50 molar, para luego disminuir. Esta gráfica sólo tiene significación física hasta una concentración de 3,95 molar, que corresponde a una disolución saturada de ClK. Se ha trazado con cinco puntos y por medio de un ajuste polinómico, con la ecuación $V = 9.35163 \times 10^{-3} + 11.6985 \times C - 2.37197 \times C^2$, con un

METODO PARA MEDIR LA VELOCIDAD DE SAVIA EN EL XILEMA

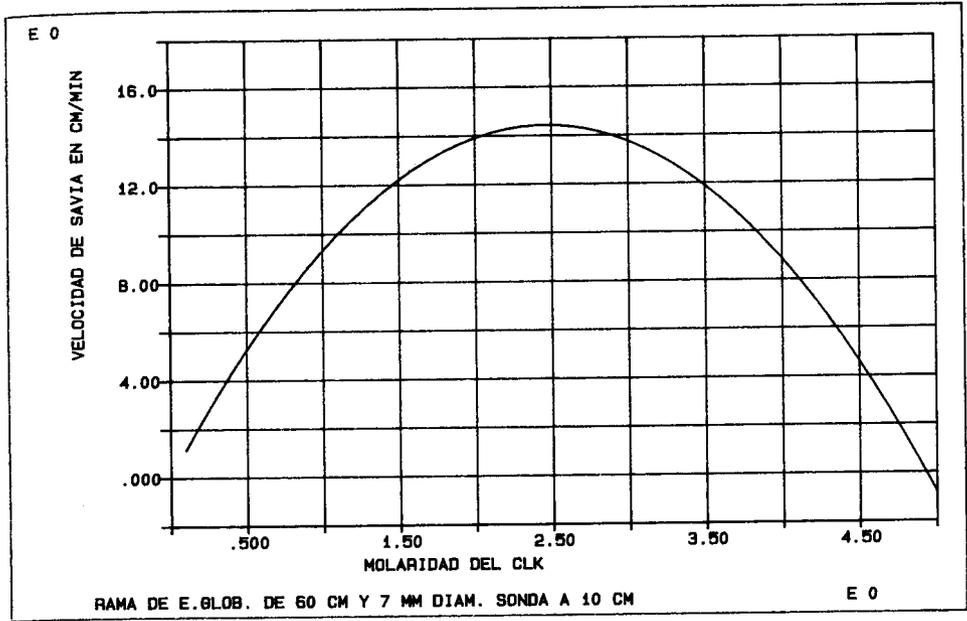


Fig. 3.—Relación entre la velocidad de savia y la concentración del cloruro potásico en una rama de eucalipto.

$R^2 = 0,99$, siendo C la concentración. El máximo correspondiente a una concentración de 2,5 M y una velocidad de 14,43 cm/min.

Este ensayo se repitió varias veces, en ramas de *E. globulus*, obteniendo valores máximos de velocidad para concentraciones de ClK comprendidas entre 2,5 y 2,9 molar, adoptando un valor medio de 2,65 M.

Repetiendo este ensayo con una rama de *Acer pseudoplatanus* L., los resultados cambian algo, como puede verse en la Figura 4. El máximo se produce para una concentración de ClK de 1,4 molar. La gráfica se ha trazado con cinco puntos y un ajuste polinómico de cuarto grado, con $R^2 = 1,00$. Este ensayo se realizó, también, en una rama de *Pinus radiata* D. Don. Se obtienen los resultados que se indican en la Figura 5. Esta curva se obtuvo con un ajuste polinómico de tercer grado y un $R^2 = 1,00$. Tiene la particularidad, con respecto a las otras gráficas, de presentar un máximo para $x = 0,4$ molar y un mínimo para $x = 1,8$ molar. Esta circunstancia lleva a determinar, para cada especie, la concentración de ClK que produce la velocidad máxima, lo que en este trabajo no se ha hecho y se ha conservado, por razones de comodidad, la concentración de referencia de 2,65 molar en todas las determinaciones.

Como más adelante se indicará, la velocidad que se mide disminuye al aumentar la distancia entre el punto de corte de la rama (por donde entra la disolución salina) y el lugar donde se sitúa la sonda, sugiriendo que se produce una eliminación del ClK, antes de llegar al punto de detección, por fijación en los tejidos adyacentes. Por tanto, al aumentar la concentración se puede compensar parte de este fenómeno, explicándose que la velocidad media aumente en el primer tramo de la gráfica. El hecho de que alcance un máximo, para luego disminuir, podría deberse a que el aumento de la presión osmótica de la disolución de

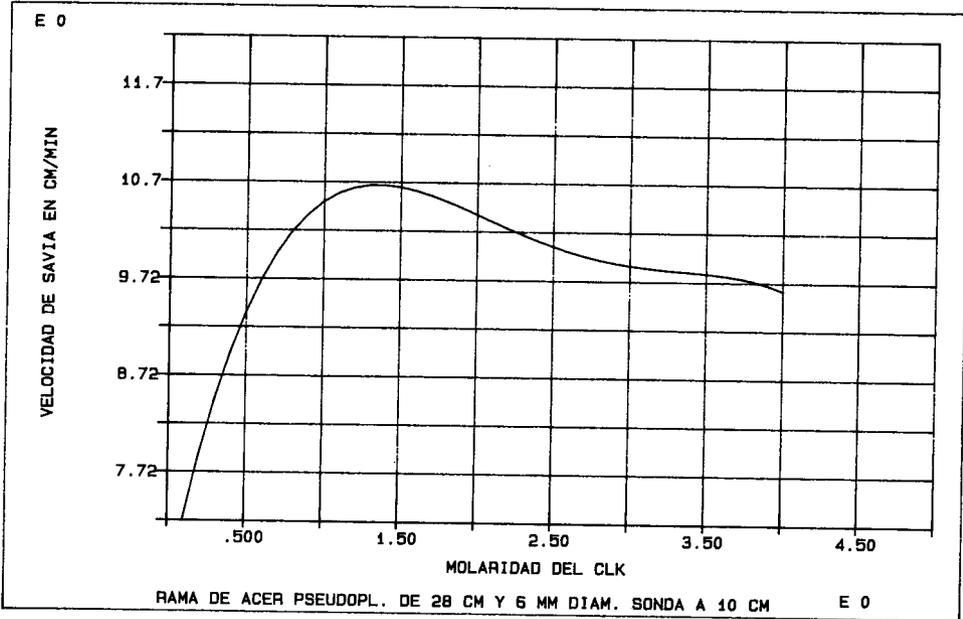


Fig. 4.—Relación entre la velocidad de savia y la concentración del cloruro potásico en una rama de acer.

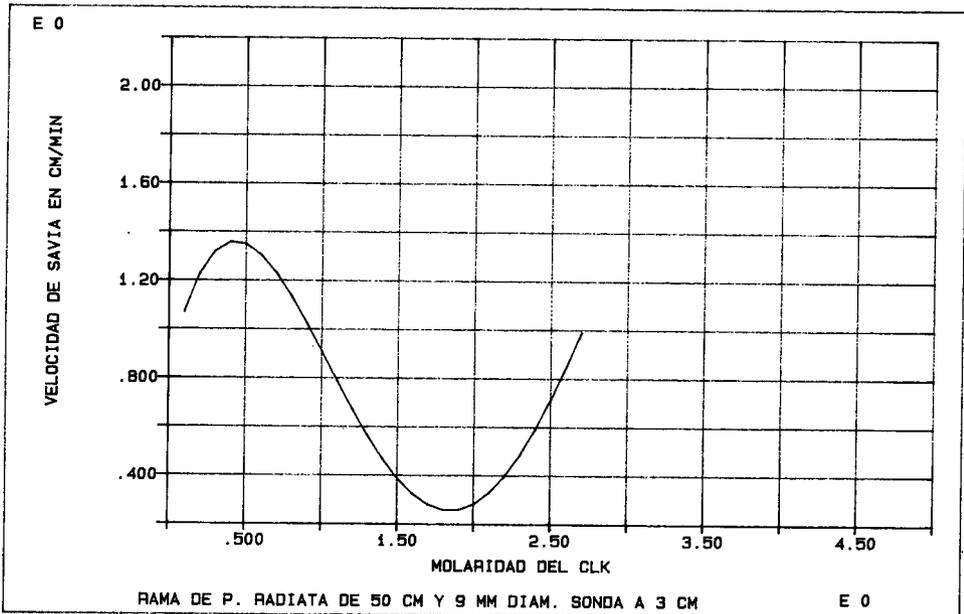


Fig. 5.—Relación entre la velocidad de savia y la concentración de cloruro potásico en una rama de pino.

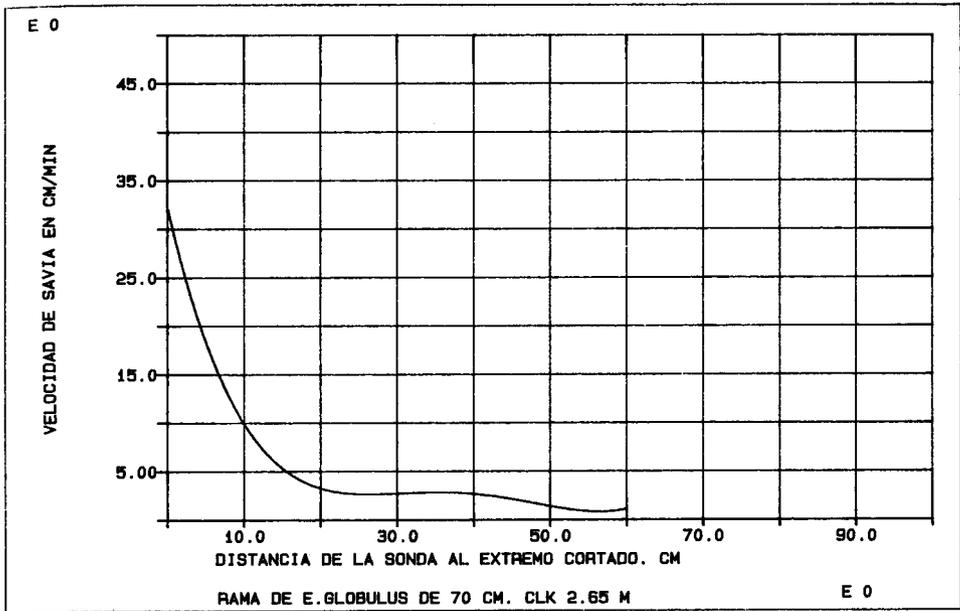


Fig. 6.—Relación entre la posición de la sonda y la velocidad de savia.

CIK provoca, a partir de este punto, una cierta plasmólisis que tiende a hacer más lenta la circulación.

En el caso de *P. radiata* no se encuentra causa para que presente un mínimo, subiendo posteriormente, circunstancia que no se acomoda a la explicación anterior. Es posible que, debido a que se usa una única rama para estos ensayos, el CIK inevitablemente absorbido por la rama influya en esta conducta. Será interesante profundizar en estos aspectos.

Al aumentar la distancia entre el extremo cortado de la rama, por donde entra la disolución de CIK y el punto en donde se halla situada la sonda, las velocidades que se obtienen son decrecientes, como puede verse en la Figura 6. Esta gráfica se obtuvo con 6 puntos, ajustándose a la ecuación: $V = 32,3671 - 3,44308 \times D + 0,144372 \times D^2 - 2,5756 \times 10^{-3} \times D^3 + 1,63542 \times 10^{-5} \times D^4$, con un $R^2 = 0,99$, siendo D la distancia en cm. Se observa que para una distancia 0 la velocidad corresponde al valor del término independiente del polinomio, que es de 32 cm/min. En este punto no llegan a producirse pérdidas de CIK, por lo que consideramos que debe representar la verdadera velocidad de savia.

No se ha encontrado ninguna relación que pueda predecir, de modo general, la velocidad a la distancia 0 cm en función de la determinada a otra distancia, por lo que se estima necesario hacer, al menos, tres determinaciones a distintas distancias, en cada rama, para conocer por extrapolación la velocidad real. Se presentan los resultados obtenidos, en ramas de *E. globulus*, para ajustes de curva con tres y cuatro puntos.

Para tres puntos, en cada rama se mide la velocidad a 5-10-20 cm. Con cuatro, se hace a 5-10-20-30- cm.

Las diferencias obtenidas, según se usen tres o cuatro puntos, no parecen ser importantes. Utilizando tres puntos se ahorra un cierto tiempo.

TABLA 1
RESULTADOS, EN RAMAS DE *E. GLOBULUS*, DE LAS MEDIDAS DE VELOCIDAD
EXTRAPOLADAS A LA DISTANCIA, ENTRE LA Sonda Y EL CORTE, DE 0 cm

Rama	Realizadas al mediodía T = 25 ° C		Velocidad extrapolada	
	Longitud cm	Diam. mm	cm/min	
			3 puntos	4 puntos
1	65	5	32,4	34,8
2	65	6	37,1	34,1
3	57	5	33,0	35,8
4	50	4	73,4	75,0
5	45	4	14,9	16,7
7	55	4	11,2	12,7
8	58	6	15,0	16,7

Para realizar las mediciones anteriores, a varias distancias en una misma rama, se parte de la rama introducida en agua, con la sonda a 5 cm, observando cuando las lecturas comienzan a disminuir. En ese momento, se cambia el pocillo con agua destilada por otro con disolución 2,65 M de ClK y se pone el cronómetro en marcha. Cuando las lecturas comienzan a subir, se anota el tiempo y sin parar el cronómetro se cambia la sonda a la distancia de 10 cm, que previamente se había marcado con un rotulador, lo mismo que las otras distancias a que haya de situarse. Mientras la disolución salina no alcanza este punto, las lecturas continúan disminuyendo, hasta que vuelven a subir, anotando ese tiempo otra vez y sin parar el cronómetro se cambia la sonda a 20 cm, ocurriendo también que las lecturas son decrecientes hasta que vuelven a subir. Puede suceder que al cambiar la sonda de 5 a 10 cm las lecturas iniciales suban, lo que no indica forzosamente que la sal hubiera llegado a ese punto. Es necesario esperar unos segundos para que comience a bajar.

Un ejemplo del tipo de mediciones obtenidas a una distancia fija se muestra a continuación:

TABLA 2
VARIACION DE LAS LECTURAS DE CONDUCTIVIDAD EN FUNCION DEL TIEMPO
RAMA DE *E. GLOBULUS* JUVENIL DE 60 cm. SONDA SITUADA A 10 cm
DEL CORTE. T = 25° C

	En agua							
	Medidas en microSiemens							
Minutos	0	0,2	0,3	1,2	2,0	10	20	30
μS	166	168	166	163	160	143	131	122
	En ClK 2,65 M							
Minutos	0	1	2	2,18	2,38	3,4	10	30
μS	143	140	136,6	136,7	137	142	187	416

El tiempo de referencia lo marca la primera subida relativa de conductividad, que en este caso son dos minutos once segundos. Lo que da una velocidad de $10/2,18 = 4,5$ cm/min.

El conductímetro permite apreciar décimas de microsiemens, por lo que en el intervalo que va de 2,18 a 2,38 se leen también las mediciones 136,8 y 136,9. Lo mismo se puede decir de las demás lecturas. La subida de la conductividad es continua durante un largo periodo de tiempo, hecho que se ha establecido por experimentación con más de un centenar de ramas.

Después de que la rama muestra lecturas crecientes, en disolución de CIK, si se vuelve a sumergir en agua, al principio las lecturas siguen aumentando, hasta que ha sido desplazado el CIK por el agua, comenzando entonces a descender. La velocidad obtenida de esta manera es menor que la determinada directamente:

Rama juvenil de <i>E. globulus</i> de 35 cm	
Velocidad en CIK	2,9 cm/min
Velocidad en agua	2,1 cm/min

Estas velocidades no están extrapoladas a distancia 0 cm.

Los resultados sugieren que después que el frente salino ha sido desplazado, hay un aporte posterior de sal que había sido absorbida por los tejidos circundantes.

Es posible repetir la medición en una misma rama varias veces, dejándola en agua destilada para que la sal absorbida se desplace.

Con ramas de *Robinia pseudacacia* L. se encontraron los siguientes resultados iniciales, cuando el valor de la velocidad se obtenía directamente, con una sola medición, situando la sonda a 10 cm:

<u>Longitud de la rama, cm</u>	<u>Velocidad de savia, cm/min</u>
50	20,8
50	20,8
50	12,0
50	15,4

Estos valores se apartan de los que se indican en la bibliografía, que le atribuyen a la robinia, por el método del calor, una velocidad de 48 cm/min.

Con el método de extrapolación se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA 3

VELOCIDAD DE SAVIA EN RAMAS DE *R. PSEUDACACIA* EXTRAPOLANDO A 0 cm, MIDRIENDO A 10, 20, Y 30 cm. OBTENIDAS AL MEDIODIA CON CIK 2,65 M. T = 25° C MES DE SEPTIEMBRE

Rama	Longitud cm	Diam. mm	Velocidad cm/min
1	50	4	53,4
2	40	4	91,9
3	50	4	57,2
4	60	4	102
5	50	4	44,0
6	50	4	19,6

Los valores no sólo cubren el rango de velocidad obtenido con el método del calor, sino que lo sobrepasan ampliamente en dos de ellos. En este punto es necesario referirse al método del impulso de calor, comparativamente con determinaciones de velocidad usando trazadores radioactivos.

Heine y Farr (1973) realizaron un estudio en secciones de tallo de *Populus nigra* var. *italica* Du Roi, introducidos en una disolución de fosfato de sodio, marcado con fósforo radiactivo. La disolución era muy diluida (0,05 mM). La disolución era forzada a fluir por medio del vacío ejercido en el otro extremo de la sección de tallo. La velocidad se determinó simultáneamente por medio del impulso de calor y con detectores Geiger que marcaban la llegada del compuesto radiactivo. Los resultados obtenidos por calor eran veinte veces menores que los correspondientes al movimiento de la sal radiactiva. Como dato a resaltar, estos autores dicen que la velocidad media con el fosfato es independiente de la distancia que se considere, por lo que hay que admitir que no observaron ninguna absorción de la sal por los tejidos circundantes.

Teniendo en cuenta que las determinaciones realizadas por nosotros, con disolución de ClK, manifestaban una marcada retención de los iones por los tejidos adyacentes (excepto para las coníferas), como lo demuestra el que la velocidad disminuya al aumentar la distancia entre la sonda y el punto de entrada de la sal, se realizó una prueba, en una rama de *E. globulus*, empleando disolución 0,25 M de fosfato diácido de sodio, y también cloruro potásico 0,5 M, que tiene una conductividad específica muy parecida a la de la disolución de fosfato. Los resultados se muestran en la Figura 7. Se puede deducir que la disolución de fosfato se comporta de modo análogo a la de cloruro, dando a 5 cm una velocidad algo

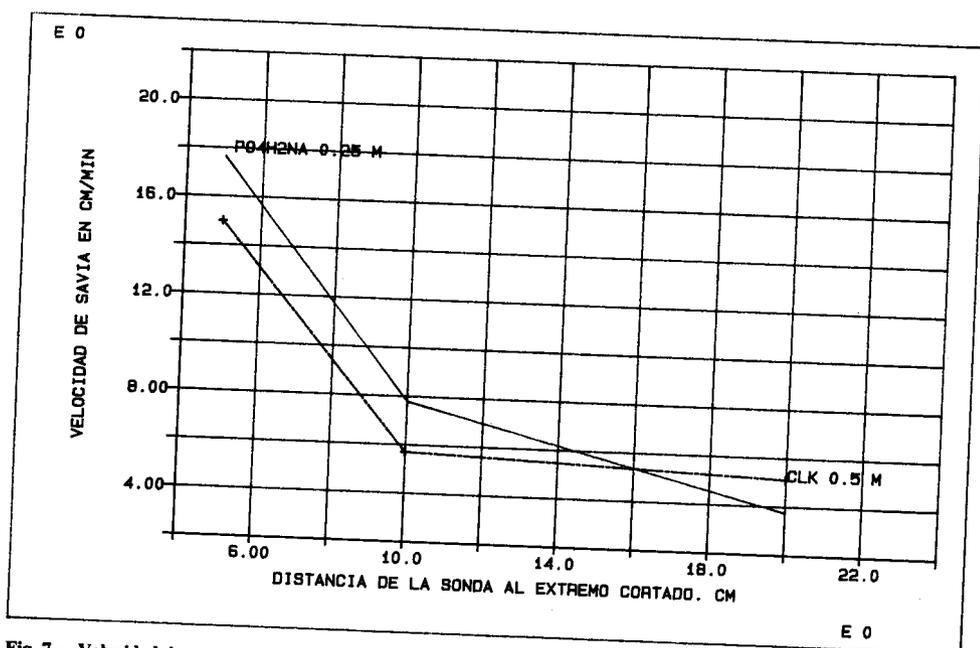


Fig. 7.—Velocidad de savia, en una rama de eucalipto con fosfato de sodio y cloruro potásico.

METODO PARA MEDIR LA VELOCIDAD DE SAVIA EN EL XILEMA

mayor, cambiando la situación a la distancia de 20 cm, en donde la del ClK supera a la del fosfato.

De estos hechos se deduce que el fosfato también es absorbido por los tejidos del tallo y que, en condiciones de transporte a la velocidad normal de la savia, una parte es retenida por el camino.

Los autores más arriba mencionados no se decantan claramente a considerar que la velocidad obtenida con la sal radiactiva es la verdadera, aunque no encuentran razón para que los valores estén sobreestimados.

En septiembre de 1991, se realizaron las mediciones que a continuación se indican.

TABLA 4
VELOCIDAD DE SAVIA EN RAMAS AISLADAS DE LAS ESPECIES QUE SE INDICAN.
SEPTIEMBRE DE 1991. VALORES EXTRAPOLADOS A 0 cm DETERMINADOS
AL MEDIODIA. T = 25° C
Velocidad en metros/hora

Especie	V. media	Rango	Datos de Huber*
1 <i>Tilia tomentosa</i> Moench	21,9	12-37	3,4
2 <i>Aesculus hippocastanum</i> L.	4,05	3-6	0,96
3 <i>Liriodendron tulipifera</i> L.	24,6	14-41	2,6
4 <i>Acer pseudoplatanus</i>	5,8	2-10	2,4
5 <i>Betula verrucosa</i> Ehrh.	4,0	3-6	1,6
6 <i>Fagus sylvatica</i> L.	12,5	12-13	1,07
7 <i>Robinia pseudacacia</i>	36,6	12-61	28,8
8 <i>Picea pungens</i> Engelm.	0,66	0,5-0,7	1,2 (1)
9 <i>Pinus radiata</i>	1,15	0,8-1,7	1,7 (2)
10 <i>Pinus pinaster</i> Aiton	0,80	0,4-1,3	

* En Granier, 1975.

(1) Para *Picea excelsa* (Lam.) Link.

(2) Para *Pinus strobus* L.

CARACTERISTICAS DE LOS ARBOLES DE LOS QUE SE SACARON LAS RAMAS ANTERIORES

Especie	Altura m	Diámetro cm
1	5	17
2	3,5	12
3	5	10
4	5	15
5	2,5	10
6	5,5	12
7	2	7
8	3,5	8
9	6	20
10	7	40

Nuestros resultados, en ramas, están muy por encima de los obtenidos por el método del impulso de calor en árboles, aunque no llegan a ser veinte veces mayores, tal como obtuvieron Heine y Farr (1973).

Se puede, en este punto, reconsiderar los resultados obtenidos en ramas de eucalipto, acer y pino al variar la concentración de la disolución de CIK.

La rama de *E. globulus*, cuya velocidad puede llegar a 75 cm/min, presenta un máximo para una concentración de 2,5 molar, decreciendo la velocidad uniformemente a la derecha e izquierda de ese punto. Los tejidos de estas ramas están poco lignificados.

La velocidad en acer tiene un rango de 2-10 cm/min y presenta un máximo para una concentración de 1,4 molar, decreciendo la rama derecha de la gráfica más suavemente que en el caso anterior. Los tejidos de la rama están más lignificados que en el caso del eucalipto.

Con el *P. radiata*, cuyo rango de velocidad va de 0,8 a 1,7 cm/min, presenta un máximo para una concentración de 0,4 molar, apareciendo un mínimo muy definido. Los tejidos de las ramas están muy lignificados.

Se puede deducir que la tendencia es que a menor lignificación, mayor velocidad de savia y mayor concentración óptima de la disolución de CIK. También resulta que los tejidos menos lignificados retienen más el CIK, haciendo depender la velocidad de la distancia de la sonda al punto de corte de la rama. Las ramas con tejidos muy lignificados presentan una conducta opuesta.

Se ha obtenido un curioso resultado al realizar la siguiente experiencia: En una rama de *E. globulus* de 65 cm de longitud y 4 mm de diámetro se sitúa la sonda a 10 cm y se mide la velocidad en CIK 2,65 M. Se cortan los 10 cm inferiores de la rama y se vuelve a determinar la velocidad con la sonda a 10 cm. Se repite la acción hasta que quedan de la rama los últimos 15 cm. Estos resultados se muestran en la Figura 8, en donde se puede observar que la velocidad obtenida va creciendo hasta obtener un máximo cuando quedan de la rama unos 40 cm.

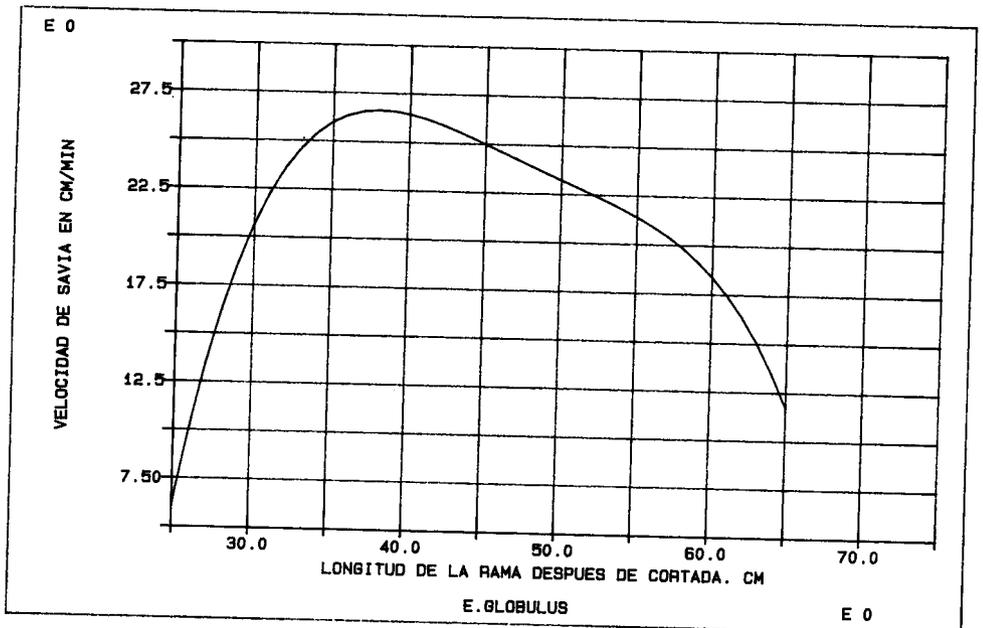


Fig. 8.—Relación entre la velocidad de la savia y el acortamiento de la rama.

METODO QUE SE PROPONE PARA DETERMINAR LA VELOCIDAD DE SAVIA EN EL XILEMA DE RAMAS AISLADAS:

Materiales

Un conductímetro. Una sonda con dos agujas separadas 3 mm, con unos 100 cm de cable coaxial RG 174U, terminando en dos clavijas, o en el tipo de conector que corresponda. Disolución 2,65 molar de cloruro potásico. Soporte de laboratorio con pinzas. Un cronómetro. Un vaso de un litro. Dos cristalizadores de 5 cm de diámetro. Una cuchilla de buen filo.

Método

Se cortan las ramas, de ser posible, sumergiendo la parte a cortar bajo agua.

Se retira, con rapidez, la rama del vaso y se introduce el extremo cortado en un pequeño cristizador de 5 cm de diámetro mediado de agua destilada. La rama se sujeta, unos 15 cm por encima del extremo cortado, por medio de la pinza situada en un soporte de laboratorio. Con un rotulador se marcan en el tallo las distancias de 5, 10 y 20 cm. En el caso de ramas con elevada velocidad de savia, como la *R. pseudacacia*, es necesario usar las distancias 10, 20 y 30 cm. Por el contrario, en ramas de baja velocidad, como en el caso de las coníferas, es más conveniente usar las distancias 3, 5 y 7 cm o similares. Se introduce la sonda en el punto marcado a 5 cm, de modo que las agujas queden en un plano vertical y que atraviesen el tallo (en el caso de que esto no sea posible, se introducen profundamente) teniendo en cuenta que la distancia la marca la aguja superior. Se conecta la sonda al conductímetro, que se pone en la escala de 200 microsiemens y se comienza a observar la evolución de la conductividad. Cuando las medidas bajan de modo uniforme durante unos minutos, se retira el cristizador con agua y se sustituye por otro con disolución 2,65 molar de cloruro potásico, poniendo en marcha de inmediato el cronómetro que debe estar funcionando hasta el final de la determinación. Se anota el tiempo que tarda en aparecer la primera lectura creciente y se sigue observando la evolución de la conductividad. Después de unos segundos de observar lecturas crecientes, sin parar el cronómetro se pasa la sonda al siguiente punto marcado a 10 cm, anotando también el tiempo que tardan las lecturas en empezar a crecer. Unos segundos después de que las lecturas crezcan, se vuelve a cambiar la sonda al punto marcado a 20 cm, anotando el tiempo que tardan las lecturas en volver a aumentar.

La concentración 2,65 molar de ClK es sólo una referencia. Para cada especie ensayada se deberán probar distintas concentraciones para encontrar la que produce la velocidad más elevada.

A las velocidades obtenidas, en función de las distancias, se le aplica un ajuste para un polinomio de segundo grado. El término independiente da la velocidad real extrapolada.

Hemos desarrollado un dispositivo que consta de un conmutador y tres sondas, que permiten situarlas al mismo tiempo. Girando el conmutador se van conectando sucesivamente, al conductímetro, lo que simplifica un poco la tarea.

CONCLUSIONES

Es posible medir la velocidad de savia en ramas aisladas, sumergiendo la parte cortada en disolución de cloruro potásico, detectando la llegada de la sal por medio de una sonda conectada a un conductímetro.

La concentración de 2,65 molar ha resultado ser la más favorable para la medida de la velocidad, en el caso del *E. globulus*, siendo necesario ensayar la más adecuada, según la especie.

La velocidad depende del tramo que tenga que recorrer la disolución salina, por lo que ésta se mide a tres distancias (5, 10 y 20 cm o distintas, según la especie de que se trate), ajustando estos tres puntos a un polinomio de segundo grado y extrapolando el resultado a distancia 0 cm, que es el término independiente.

Los resultados obtenidos por nosotros, en ramas aisladas, son más elevados que los que se indican en la bibliografía para el método del impulso de calor, en árboles. Con las coníferas, los valores obtenidos son del mismo orden en ambos casos y la velocidad varía muy poco en función de las distancias.

SUMMARY

New conductometric method for measure sap velocity in the xylem of isolated branches

By using a portable conductimeter detector equipped with a two needle probe, it is possible to measure the sap velocity in the xylem of isolated branches by submerging the cut end in a solution of potassium chloride, of adequate concentration. Saline solution contact with the probe causes an increase in conductivity.

The velocity is determined from three measurements at three predetermined distances from the probe and by adjusting velocity value readings according to a second degree polynomial. Extrapolation of velocity to zero distance then gives the independent value, corresponding to the result. This is necessary since the apparent velocity depends on the distance of the probe from the cut point, which in turn is correlated to salt retention in branch transport.

Velocities obtained by our method exceed those quoted in the bibliography for trees, by the heat impulse method, with the exception of conifers for which there is correlation.

KEY WORDS: Velocity
Flux
Sap

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- COHEN Y., FUCHS M., 1989. Problems in calibrating the heat pulse method for measuring sap flow. using a heat pulse technique. Canadian Jour. of For. Res., 15 (2): 422-428.
- COHEN Y., FUCHS M., 1989. Problems in calibrating the heat pulse method for measuring sap flow in the stem of trees and herbaceous plants. Agronomie, 9 (4):321-325.
- DENMEAD O. T., 1984. Plant physiological method for studying evapotranspiration: Problems of telling the forest from the trees. En Evapotranspiration from plant communities. Ed. M. L. Sharma, 167-189. Elsevier.
- DOLEY D., GRIEVE B. J., 1966. Measurement of sap flow in eucalypt by thermo-electric methods. Aust. For. Res. 2 (1): 3-27.
- GRANIER A., 1975. Flux de sève brute dans le tronc des arbres. Methodes d'étude et conséquences. Document n.º 75/BF/02.INRA.
- GRANIER A., 1977. Transfert de sève brute dans le tronc des arbres. Aspects méthodologiques et physiologiques. Ann. Sci. Forest., 34 (1): 17-45.
- GRANIER A., 1985. Une nouvelle méthode pour mesure de flux de sève brute dans le tronc des arbres. Ann. des Sci. For., 42 (2): 193-200.
- GRANIER A., 1987. Mesure du flux de sève brute dans le tronc du Douglas par une nouvelle méthode thermique. Ann. des Sci. For., 44 (1): 1-14.
- GREENIDGE K., 1958. Rates and patterns of moisture movement in trees. The physiology of forest trees, ed. K. W. Thimann, 19-41. Ronald press C.

METODO PARA MEDIR LA VELOCIDAD DE SAVIA EN EL XILEMA

- HEINE R. W., FARR D. S., 1973. Comparison of heat pulse and radioisotope tracer methods for determining sap flow velocity on stem segments of poplar. *Jour. of Experimental Botany*, 24 (81): 649-654.
- HÖSL J. P., LAROCHE D., GAGNON R., 1987. Présentation d'une nouvelle méthode pour évaluer la vitesse d'écoulement de la sève dans le xilème des arbres. *Schweizerische Zeits. für Forstwesen*. 138 (3): 229-237.
- JONES H. G., HAMER P. J. C., HIGGS K. H., 1988. Evaluation of various heat-pulse methods for estimation of sap flow in orchard trees: Comparison with micrometeorological estimates of evaporation. Tress (RF).
- LEYTON L., 1970. Problems and techniques in measuring transpiration from trees. *Physiology of tree crops*, ed. L. C. Luckwill, C. V. Cutting, 101-112. Academic Press.
- MILLER D. R., VAVRINA C. A., CHRISTENSEN T. W., 1980. Measurement of sap flow and transpiration in ring-porous oaks using a heat pulse velocity technique. *For. Sci.*, 26 (3): 485-494.
- ROA R. L., PICKARD W. F., 1975. The applicability of the magnetohydrodynamic technique to water flux measurements in forest trees. *Jour. of Experimental Botany*, 26 (92): 469-465.
- WALKER C. D., BIKAUWIEKS P., 1988. A simple manually operated heat pulse unit. Technical memorandum. CSIRO. Australia, n.º 88/9.
- WANG S., 1983. Transpiration stream velocity in Norway spruce trees attacked by bark beetles. *Meddeleser fra Norsk Institut Skogforskning*. 38 (10): 1-8.