

## NOTA BREVE

# CRITERIOS PARA LA SISTEMATIZACIÓN DE MONTES FRUTALES Y VIÑEDOS EN URUGUAY. PENDIENTE MÁXIMA ADMISIBLE EN LAS FILAS

García Petillo, M.<sup>1</sup>

Recibido: 22/07/04 Aceptado: 29/12/04

## RESUMEN

A partir de un análisis hidrológico e hidráulico se generaron criterios para fijar la máxima pendiente admisible que no cause erosión en montes frutales y viñedos, en diferentes situaciones de localización geográfica, tipo de suelo, cobertura vegetal de la entrefila, largo y espaciamiento de filas.

**PALABRAS CLAVE:** análisis hidráulico, análisis hidrológico, drenaje superficial, erosión, excesos de agua, fruticultura.

## SUMMARY

# CRITERIA FOR THE SYSTEMATIZATION OF FRUIT GROVES AND VINEYARDS IN URUGUAY. PERMISSIBLE MAXIMUM SLOPE IN THE ROWS

Using a hydrologic and hydraulic analysis, criteria were generated to establish the permissible maximum non erosive slope in fruit groves and vineyards. It applies in different geographic location, soil type, ground cover, length and spacing of rows situations.

**KEY WORDS:** erosion, fruit horticulture, hydraulic analysis, hydrologic analysis, superficial drainage, water excess.

## INTRODUCCIÓN

La sistematización de un monte frutal o un viñedo en el momento de su implantación es una decisión que va a afectar el manejo y la respuesta del mismo durante toda su vida útil.

Una de las decisiones de mayor importancia es la pendiente a darle a las filas. Esta definición se hace tomando en consideración el compromiso entre dos extremos: cuanto menor sea la pendiente, menor será el riesgo de erosión, pero también será mayor la dificultad para eliminar los excesos de agua. (Un tercer factor, que menor pendiente favorece la acumulación de agua de lluvia en el perfil, era

importante en los antiguos montes de secano, pero pierde peso en los nuevos montes que se implantan casi todos con riego artificial).

La tendencia hasta ahora de la mayoría de los técnicos era utilizar pendientes relativamente bajas (0,5 a 0,8%), pues se considera inaceptable causar erosión en un monte que tiene que seguir produciendo por muchos años.

Sin embargo, en los últimos años han hecho eclosión problemas vinculados a los excesos de agua en superficie y en el perfil.

Trocme y Gras (1979) señalan que los árboles frutales muestran enormes diferencias en su resistencia a la as-

<sup>1</sup>Grupo Disciplinario de Ingeniería Agrícola, Unidad de Hidrología - Departamento de Suelos y Aguas - Facultad de Agronomía - Avda. E. Garzón 780 - 12900 Montevideo - Uruguay.

fixia, según la especie de que se trate, y clasifican al membrillero, peral, manzano, ciruelo y duraznero como extremadamente tolerante, muy tolerante, tolerante, bastante tolerante y sensible, respectivamente.

La confirmación más dramática de la sensibilidad del duraznero fue la disminución de la producción de duraznos en Uruguay de 28.380 toneladas en el año 2000 a 13.682 toneladas en el año 2001, como consecuencia de la disminución del número de plantas a causa de la muerte por asfixia radicular producida por el exceso de agua en el suelo, a lo que se agrega el bajo rendimiento de la mayoría de las plantas restantes (MGAP-DIEA, 2002).

En el mismo sentido, la producción vitícola para la obtención de vinos de alta calidad, exige la eliminación de los excesos de agua.

Durante una visita al Uruguay, el profesor Boubals (1978), identifica como uno de los principales problemas para la obtención de vinos de calidad, los excesos de agua.

Más recientemente Galet (1993) y Reynier (1997), recomiendan para viñedos la utilización de drenes.

En la mayoría de los casos, los vinos tintos sometidos a una restricción hídrica controlada, son preferidos por los degustadores. Esto es consecuencia de una mayor riqueza en taninos y de una muy fuerte intensidad colorante (Ojeda, 2001).

En Uruguay se demostró el efecto beneficioso en el drenaje de los suelos mediante tuberías perforadas (García, 2003), aunque los actuales costos de instalación hacen dudosa la adopción de esta técnica. Blumetto (2003) encontró que el cambio cualitativo más importante al drenar un viñedo es el aumento de la intensidad colorante del vino obtenido.

El objetivo del presente trabajo es realizar aportes, no desde el campo de la agronomía sino desde la hidrología y la hidráulica, que permitan tomar decisiones sobre cuál es la máxima pendiente que se le puede dar a las filas de un monte frutal o un viñedo para mejorar la eliminación de los excesos de agua, sin generar problemas de erosión.

## METODOLOGÍA

El análisis se dividió en dos aspectos. Primero se hizo un análisis hidrológico de los caudales que recogerían las "cuencas" formadas por las filas de un monte.

Luego se analizó que pendiente máxima se le debería dar al "canal" formado por la entrefila, para que el caudal previamente calculado no supere una velocidad prefijada que se considera erosiva (Chow, 1994).

A fin de lograr la generalización de los resultados, se modeliza para un amplio rango de situaciones: ubicación

geográfica, tipo de suelo, cobertura de la entrefila, largo y separación de filas.

De forma tal que cualquier interesado pueda realizar el análisis para una situación particular, se presenta el desarrollo detallado de la metodología utilizada.

## Análisis hidrológico

Este análisis busca determinar el caudal pico de escurrimiento que deberá ser evacuado.

De las diversas formas de estimarlo, hemos elegido la Fórmula Racional, que se basa en dos supuestos que le dan validez:

i. Llueve simultáneamente en toda la cuenca y ii. Llueve a una intensidad constante durante todo el Tiempo de Concentración.

Dado el tamaño de cuenca aquí considerado, estos supuestos se cumplen a entera satisfacción, según los criterios expuestos en Chow *et al.* (1994).

$$Q = C * I * A / 3600 \quad (1)$$

Siendo:

Q - Caudal pico de escurrimiento ( $m^3s^{-1}$ )

C - Coeficiente de escurrimiento (adimensional)

I - Intensidad máxima de lluvia para una duración igual al Tiempo de Concentración de la cuenca y un determinado período de retorno ( $mh^{-1}$ )

A - Área de la cuenca ( $m^2$ )

## Cuenca

La "cuenca" considerada para este análisis está delimitada en su ancho por el espacio entre dos filas contiguas de árboles, y su longitud por la distancia desde la cabecera hasta el pie de las filas. En todos los casos se considera que el caudal se forma con la lluvia caída en la propia cuenca, y que no existe aporte desde otros puntos del predio. Es decir, que la cabecera de las filas está en la divisoria de aguas, o que existe algún drenaje (camino rebajado, cuneta, terraza, etc.) que impide dicho ingreso.

A los efectos del análisis se consideraron largos de fila de 50, 75, 100, 125, 150, 175 y 200 m, y separaciones de 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 5,0; 6,0 y 7,0m, lo que determina tamaños que varían entre un mínimo de 100 y un máximo de 1400  $m^2$ .

## Tiempo de Concentración

Es el tiempo que demora en llegar una gota de lluvia desde el punto más lejano de la cuenca (cabecera) hasta la salida (pie). En ese momento toda la cuenca está aportando agua y por lo tanto el caudal de descarga es máximo.

El Tiempo de Concentración se estima como:

$$TC = D / V \quad (2)$$

Siendo:

TC - Tiempo de Concentración de la cuenca (s)

D - Distancia máxima - igual a largo de fila (m)

V - Velocidad del agua (ms<sup>-1</sup>)

Las velocidades se fijaron, como se discutirá más adelante, en 0,6; 0,3; 0,2 y 0,1 ms<sup>-1</sup>, lo que determinó T de C variables entre 1,39 y 33,33 minutos.

**Período de Retorno**

El Período de Retorno a considerar depende de la Vida Útil de la obra de conducción de los excedentes de lluvia y del Riesgo que se acepte de que dicha obra falle, según la siguiente relación:

$$Tr = \frac{1}{1 - (1 - r)^{(1/vu)}} \quad (3)$$

Tr - Período de retorno (años)

vu - Vida útil (años)

r - Riesgo asumido (unitario)

Para el presente análisis se considera una Vida Útil de la obra de 10 años, y un Riesgo del 25%, lo que determina un Período de Retorno de 35 años.

Es decir, se seleccionó un Período de Retorno tal que existe una probabilidad del 75% de que la obra no falle durante su vida útil de 10 años.

**Intensidad Máxima**

Se partió de la información nacional de curvas Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) para una precipitación de 3 horas de duración y 10 años de Período de Retorno (Genta *et al.*, 1998).

Estas curvas son crecientes de SE a NW, y sus valores varían casi linealmente de 74 mm en Rocha a 100 mm en Artigas. Estos dos valores extremos son los que se tomaron para hacer los cálculos para las zonas sur y norte, respectivamente.

Los valores de las curvas IDF se corrigen por coeficientes según la siguiente relación:

$$P_{(d, Tr)} = P_{(3, 10)} * CT_{(Tr)} * CD_{(d)} \quad (4)$$

$$CT_{(Tr)} = 0,5786 - 0,4312 \log \left[ \text{Ln} \left( \frac{Tr}{Tr - 1} \right) \right] \quad (5)$$

$$CD_{(d)} = \frac{0,6208d}{(d + 0,0137)^{0,5639}} \quad (6)$$

$$I = P_{(d, Tr)} / d \quad (7)$$

P<sub>(d, Tr)</sub> - Precipitación para la duración y Tr considerado (mm).

P<sub>(3, 10)</sub> - Precipitación para d = 3 horas y Tr = 10 años (mm).

CT<sub>(Tr)</sub> - Coeficiente de corrección por el Período de Retorno.

CD<sub>(d)</sub> - Coeficiente de corrección por la duración.

d - duración de la tormenta considerada (horas).

I - Intensidad (mm hora<sup>-1</sup>).

El CT para 35 años de Período de Retorno es 1,2417

El CD para las duraciones ya mencionadas (1,39 y 33,33 minutos), varía entre 0,09 y 0,47.

Las intensidades máximas calculadas variaron entre 78 y 496 mm hora<sup>-1</sup> para filas de 200 m con suelo arenoso descubierto en el sur, y filas de 50 m con suelo empastado en el norte, respectivamente.

**Coeficiente de escurrimiento**

A partir de los datos de Chow *et al.* (1994), se interpolaron los coeficientes para 35 años de Período de Retorno. Dado que se trata de determinar las pendientes máximas admisibles de las filas, se seleccionaron los valores para pendientes del 2 al 7%.

Se obtuvieron los siguientes valores:

Suelo con pastura C=0,43

Suelo cultivado C=0,46

**Caudal Pico de escurrimiento**

Finalmente, los caudales obtenidos a partir de la metodología reseñada, variaron entre 2,11s<sup>-1</sup> en filas de 50 m, suelos livianos y desnudos en el sur y 45,61s<sup>-1</sup> en filas de 200 m, suelos empastados en el norte.

**Análisis hidráulico**

Una vez calculado el Caudal Pico, se deberá calcular cuál es la máxima pendiente que se le puede dar al "canal", para que conduzca el agua a una velocidad no erosiva.

**Conformación del canal**

A fin de posibilitar los cálculos suponemos que cada fila es un canal trapezoidal, cuyos taludes están formados por los camellones y su plantilla es la entrefila, de acuerdo a la figura 1.

Asumimos que los camellones tienen una relación de taludes de 1:4. En el caso de filas separadas a 2 m, suponemos camellones de 1,20 m (0,60 m a cada lado de la fila). En las filas a 2,50 m el camellón es de 1,60 m y en las filas a 3 m o más el camellón es de 2 m. Esto significa que los anchos de entrefila considerados (plantilla o fondo del canal) son de 0,8; 0,9, 1,0, 1,5, 2,0, 3,0, 4,0 y 5,0 m para todas las separaciones entre filas consideradas.

**Determinación de la velocidad máxima**

De acuerdo a Chow (1994), las siguientes son las velocidades medias recomendadas en canales de tierra:

Suelos livianos	0,20ms <sup>-1</sup>
Suelos medios	0,30ms <sup>-1</sup>
Suelos pesados	0,50ms <sup>-1</sup>
Suelos empastados	1,20ms <sup>-1</sup>

Sin embargo, entendemos que no es lícito trasladar directamente estos valores a la solución del problema aquí planteado.

En efecto, en un canal de riego la vena líquida es más o menos importante, dependiendo del caudal y la sección y forma del canal. Esto determina que las velocidades señaladas sean medias, pero la velocidad real contra las paredes del canal sea significativamente menor que en el centro del cauce.

En el caso del canal formado por la entrefila, por el contrario, es mínima la distancia entre el centro de la vena líquida y el fondo, por lo que la velocidad de roce será muy similar a la velocidad media.

En base a estas consideraciones, y a los efectos de ser conservadores en los cálculos, se optó por fijar las siguientes velocidades máximas de diseño:

Suelos livianos	0,10ms <sup>-1</sup>
Suelos medios	0,20ms <sup>-1</sup>
Suelos pesados	0,30ms <sup>-1</sup>
Suelos empastados	0,60ms <sup>-1</sup>

**Sección del canal**

Se calculó el área necesaria para que, en cada caso, el caudal pico de escurrimiento no supere la velocidad máxima fijada, partiendo de la ecuación de continuidad  $Q = S \cdot V$ , de donde:

$$S = Q / V \tag{8}$$

- S - Sección del canal (m<sup>2</sup>)
- Q - Caudal pico de escurrimiento (m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>)
- V - Velocidad máxima prefijada (ms<sup>-1</sup>)

**Forma del canal**

Conocida la sección, la plantilla y la inclinación de taludes, se puede calcular por geometría de un trapecio todas sus dimensiones:

$$S = (a + Zh)h \tag{9}$$

$$t = h (Z + 1)0,5 \tag{10}$$

$$P = a + 2t \tag{11}$$

$$R = S / P \tag{12}$$

- Siendo:
- a - Plantilla del canal (m)
  - Z - Inclinación de taludes (4 en este caso)
  - h - Tirante o altura de agua en el canal (m)
  - t - Longitud del talud (m)
  - P - Perímetro mojado (m)
  - R - Radio hidráulico (m)

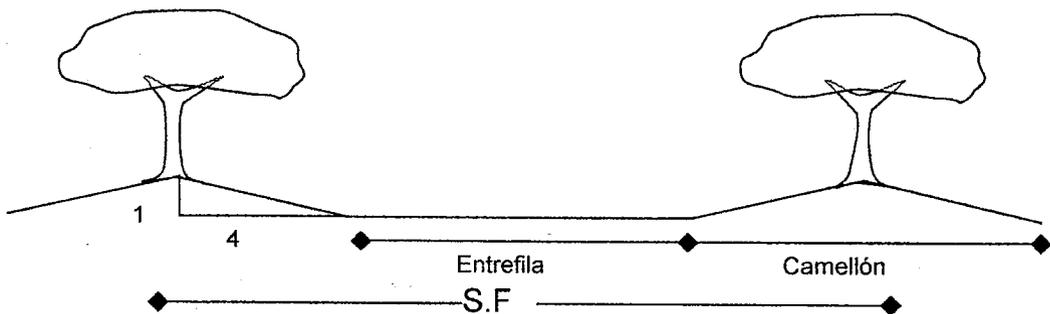


Figura 1. Conformación del canal.

El tirante calculado vari3 entre un m3nimo de 0,5 cm para el caso de la zona Sur, con entrefila empastada y filas de 50 m separadas a 7 m, hasta 6,5 cm en la zona norte, con suelo liviano desnudo, filas de 200 m separadas 3 m.

Estas magnitudes est3n asegurando que no puede haber pasaje de agua de una entrefila a otra por encima del camell3n.

*Determinaci3n de la pendiente m3xima*

La velocidad del agua en un canal est3 regulada por la f3rmula de Manning (Chow, 1994):

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2} \tag{13}$$

Siendo:

V - Velocidad (ms<sup>-1</sup>)

n - Coeficiente de rugosidad (adimensional)

R - Radio hidr3ulico (m)

s - Pendiente (mm<sup>-1</sup>)

Para este an3lisis se fij3 n = 0,033 que es el recomendado por Chow (1994) para canales de tierra y taludes 3speros.

De la ecuaci3n (13) se despeja:

$$S = \left[ \frac{V * n}{R^{2/3}} \right]^2 \tag{14}$$

Esta pendiente calculada es la m3xima que se le puede dar a un canal de tierra, con determinada forma variable para cada situaci3n planteada, con diferentes condiciones de suelo y cobertura, distintas longitudes y separaciones de filas, para que el caudal transportado no supere la velocidad m3xima prefijada y por lo tanto no se produzca erosi3n.

En la Figura 2 se grafican las pendientes m3ximas admisibles para todas las situaciones analizadas. Este rango, es ampl3simo y va desde 45% en la zona Sur, con entrefilas empastadas y filas de 50m separadas a 7 m, hasta 0,05% en la zona norte, con suelos livianos desnudos y filas de 200 m separadas a 3 m.

**DISCUSI3N Y CONCLUSIONES**

Es importante recordar los supuestos involucrados, para que los resultados tengan validez: no hay ingreso de escurrimiento de otras zonas fuera de la fila calculada, y la entrefila funciona como el fondo de un canal que no tiene pendiente transversal, lo que de otro modo determinaría velocidades diferentes. Asimismo se considera que no hay canalizaciones, especialmente las huellas de tractor que de existir pueden ser el origen de erosiones graves.

En todos los c3lculos se fue muy conservador, diseñando una tormenta extrema que se repite s3lo una vez cada diez años.

A su vez, en la determinaci3n de la velocidad m3xima admisible se eligieron valores de aproximadamente la mitad que la velocidad media recomendada para canales en tierra.

Los valores obtenidos muestran que, en el caso de mantener las entrefilas empastadas, tanto en la zona Sur como Norte, se puede ir a pendientes much3simo mayores que las actualmente utilizadas, sin generar riesgos de erosi3n.

En el caso del norte (la zona con precipitaciones de mayor intensidad), para filas de un largo "normal" de 100 m, se les podr3a dar pendientes mayores al 7%. Por supuesto que 3sta no es una recomendaci3n de manejo a hacer, pero s3 es una clara indicaci3n de que se pueden aumentar las pendientes actualmente utilizadas hasta 2 y 3% sin riesgos de erosi3n.

Con la introducci3n del riego artificial en los montes frutales, la pr3ctica de mantener las entrefilas empastadas se ha extendido, por lo que esta recomendaci3n se podr3a aplicar en la mayor3a de los casos.

Una situaci3n intermedia la representa mantener las entrefilas limpias, en el caso de tener suelos pesados. En esta condici3n, y para la misma longitud de 100 m, en el sur se podr3an admitir sin riesgo pendientes del 1,6%, y en el norte del 1,2%.

La situaci3n m3s cr3tica desde el punto de vista de la erosi3n es, por supuesto, el caso de tener suelos desnudos, francos o livianos. En este 3ltimo caso, las pendientes m3ximas tolerables estar3an en el entorno de s3lo 0,1%. Por cierto que, m3s all3 de lo dicho en la introducci3n, desde un punto de vista agron3mico no se puede aceptar la existencia de 3stos tipos de suelo sin una adecuada cobertura vegetal.

Se debe enfatizar que las conclusiones anteriores se extraen, como ya fue dicho, de un an3lisis te3rico, pero no hay una validaci3n experimental de las mismas.

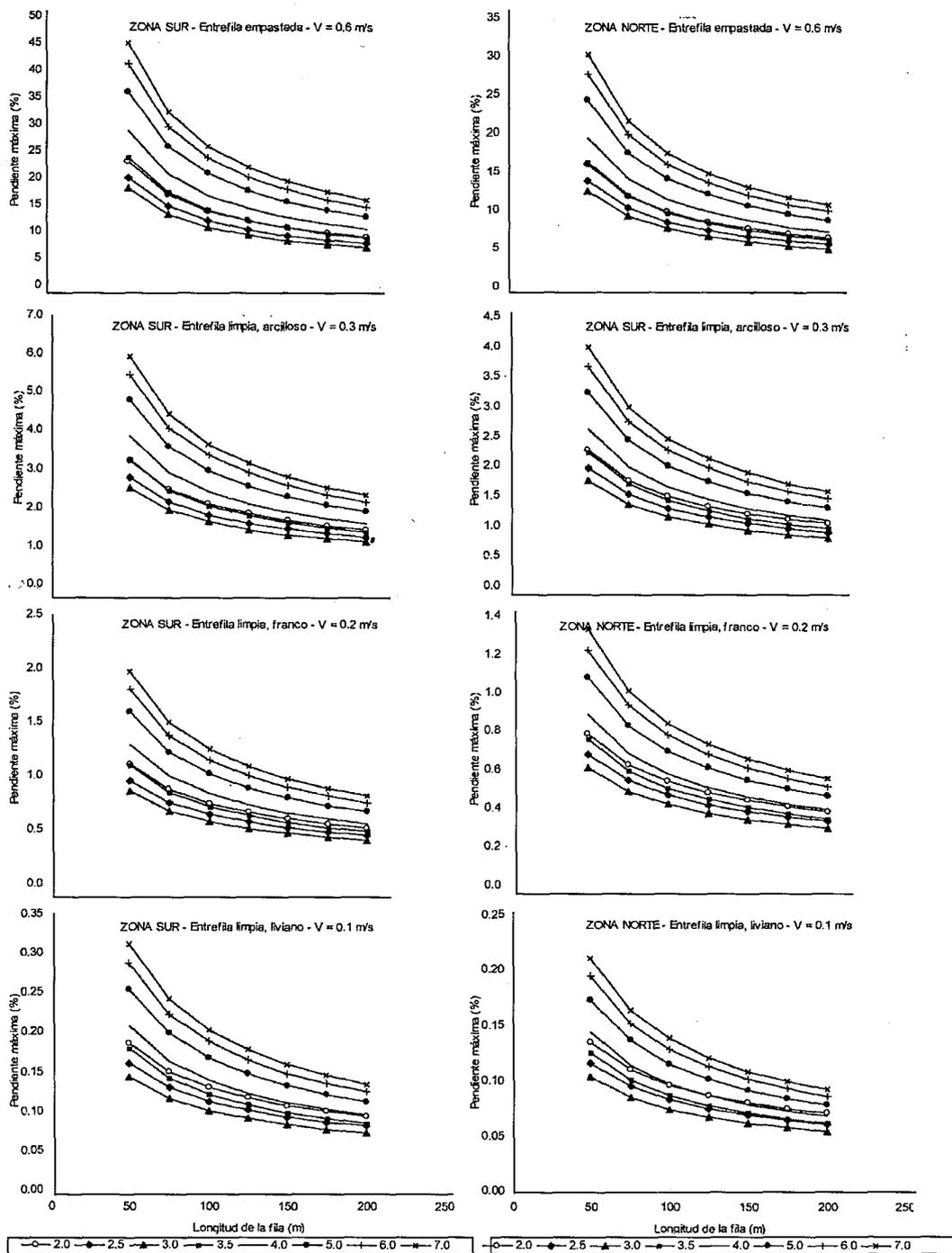


Figura 2. Pendientes (%) máximas admisibles, para no superar la velocidad máxima señalada, en diferentes situaciones de tipo de suelo y cobertura vegetal, en dos regiones contrastantes del país, y para diferentes longitudes y separación de filas.

**BIBLIOGRAFÍA**

- BLUMETTO, G. 2003. "Drenaje del perfil en viñedos de la zona sur del Uruguay; evaluación del efecto sobre la napa freática y los parámetros vegetativos, productivos y enológicos del cv. Cabernet - Sauvignon". Tesis de Maestría. Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay - École Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, France. 57 pp.
- BOUBALS, D. 1978. Reflexiones sobre la viña del Uruguay. Informe técnico sobre visita al Uruguay. 17 pp.
- CHOW, V.T. 1994. Hidráulica de canales abiertos. McGraw-Hill. 666 pp.
- CHOW, V.T.; MAIDMENT, D.R. & MAYS, L.W. 1994. Hidrología aplicada. McGraw-Hill. 584 pp.
- GALET, P. 1993. Précis de viticulture. Impr. Déhan, 6<sup>a</sup> edition. Francia. 582 pp.
- GARCIA, M. & CHAMORRO, A. 2003. Drenaje del perfil en viñedos en la zona sur del Uruguay. I. Evaluación del efecto de la napa freática - Resultados preliminares. Actas de las XIII Jornadas del Groupe d'Étude des Systèmes de Conduite de la Vigne (GESCO), Montevideo, Uruguay, 3-8 de febrero de 2003, 244-247.
- GENTA, J.L.; CHARBONIER, F. & RODRIGUEZ, A. 1998. Precipitaciones máximas en el Uruguay. Congreso Nacional de Vialidad Uruguaya (2<sup>o</sup> Montevideo, 1998) pp.301-310.
- MGAP-DIEA. 2002. Censo General Agropecuario de Uruguay.
- OJEDA, H. 2001. Bases écophysiológicas et choix techniques dans la gestion de l'eau dans les vignobles d'Argentine. Progrès Agricole et Viticole. 118 (17): 363-371
- REYNIER, A. 1997. Manuel de viticulture. Impr. Technique y documentación, 7<sup>a</sup> edition. 499 p.
- TROCME, S. & GRAS, R. (1979) Suelo y fertilización en fruticultura. 2<sup>a</sup> Ed. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 388 pp.