

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**RESPUESTA DE LA VID AL RÉGIMEN HÍDRICO SOBRE EL
RENDIMIENTO, LA EXPRESIÓN VEGETATIVA Y LA
COMPOSICIÓN DE LA UVA EN EL CV TANNAT**

por

Álvaro MONTAÑA CHARLE

**TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
Título de Ingeniero Agrónomo.**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2008**

Tesis aprobada por:

Director: -----
Ing. Agr. Phd. Milka Ferrer.

Ing. Agr. Alfredo Silva.

Ing. Agr. MSc. Gerardo Echeverría.

Fecha: -----

Autor: -----
Bach. Alvaro Montaña.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia que me han apoyado incondicionalmente a lo largo de mi carrera y en especial a quienes hoy no nos acompañan.

A mis compañeros Milka Ferrer, Alfredo Silva, Gerardo Echeverria y Gianfranca Camussi, por su constante aporte de ideas y críticas.

Al Ing. Agr. Ricardo Varela por conceder su establecimiento para los fines de este trabajo final.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PAGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
2.1 PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL SUELO Y EL FUNCIONAMIENTO DE LA VID.....	2
2.1.1 <u>Introducción</u>	2
2.1.2 <u>Propiedades físicas del suelo</u>	3
2.1.2.1 Almacenaje y disponibilidad de agua.....	3
2.1.2.2 Aireación y anegamiento.....	6
2.1.2.3 Dureza y densidad.....	7
2.1.3 <u>Temperatura del suelo</u>	8
2.1.4 <u>Nutrición</u>	9
2.2 ALIMENTACION HIDRICA DE LA VIÑA.....	9
2.2.1 <u>Introducción</u>	9
2.2.2 <u>Evaluación del estado hídrico de la viña</u>	11
2.2.3 <u>El sistema suelo-planta-atmósfera</u>	12
2.2.4 <u>Resistencias hidráulicas</u>	12
2.2.4.1 Regulación estomática.....	12
2.2.4.2 La viña: planta iso-hídrica.....	13
2.2.5 <u>Restricción hídrica y procesos fisiológicos</u>	13
2.2.6 <u>Definición del potencial hídrico (Ψ)</u>	14
2.2.7 <u>Aplicaciones de las medidas hídricas</u>	15
2.2.7.1 Potencial hídrico foliar de base (Ψ_{Fb}).....	15
2.2.7.2 Modelo de balance hídrico.....	16
2.2.7.3 Definición de un itinerario hídrico.....	17
2.2.7.4 Potencial hídrico foliar (Ψ_F).....	18
2.3 INFLUENCIA DEL ESTADO HIDRICO DEL SUELO SOBRE EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO VEGETO-PRODUCTIVO DE LA VID.....	19
2.3.1 <u>Crecimiento y desarrollo de los brotes</u>	19
2.3.2 <u>Desarrollo del fruto</u>	21
2.3.2.1 Inducción y cuajado.....	21
2.3.2.2 Crecimiento y desarrollo de la baya.....	22
2.3.2.3 Efecto del estrés hídrico sobre la multiplicación y la elongación de las células del pericarpio de la baya.....	24
2.3.3 <u>Rendimiento</u>	25
2.3.4 <u>Maduración de la baya</u>	27
2.3.4.1 Sólidos solubles.....	28
2.3.4.2 Acidez y pH.....	29

2.3.4.3 Polifenoles	30
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	33
3.1 CARACTERIZACION DEL ECOSISTEMA VITICOLA.....	33
3.1.1 <u>Geología</u>	33
3.1.2 <u>Tipos de suelos</u>	33
3.1.3 <u>Relieve</u>	33
3.1.4 <u>Vegetación</u>	33
3.1.5 <u>Información climática</u>	34
3.2 INSTALACION DEL ENSAYO.....	35
3.2.1 <u>Ubicación del ensayo</u>	35
3.2.2 <u>Características del viñedo y del material vegetal</u>	35
3.2.3 <u>Elección de parcelas y diseño del ensayo</u>	35
3.2.4 <u>Análisis estadístico</u>	35
3.3 EVALUACIONES SOBRE EL SUELO.....	36
3.3.1 <u>Descripción del perfil del suelo</u>	36
3.3.2 <u>Propiedades físicas</u>	36
3.3.3 <u>Propiedades hídricas</u>	36
3.3.4 <u>Evolución del contenido hídrico del suelo</u>	37
3.3.5 <u>Evolución de la temperatura del suelo</u>	38
3.4 MEDICIONES MESOCLIMATICAS.....	38
3.4.1 <u>Seguimiento de la temperatura a nivel de los racimos</u>	38
3.5 DETERMINACIÓN DEL ESTADO HÍDRICO DEL CULTIVO.....	38
3.5.1 <u>Medida del potencial hídrico foliar de base</u>	38
3.5.2 <u>Medida del potencial hídrico foliar al mediodía</u>	39
3.6 MEDICIONES SOBRE EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO VEGETATIVO	39
3.6.1 <u>Seguimiento del crecimiento de pámpanos y feminelas</u>	39
3.6.2 <u>Cálculo de la superficie foliar expuesta potencial</u>	39
3.6.3 <u>Fenograma del cultivo</u>	40
3.6.4 <u>Distribución del sistema radicular</u>	40
3.7 DETERMINACION DEL RENDIMIENTO Y DEL EQUILIBRIO VEGETO- PRODUCTIVO	40
3.7.1 <u>Peso de cosecha</u>	40
3.7.2 <u>Peso de madera de poda</u>	40
3.7.3 <u>Índice de Ravaz</u>	41
3.8 SEGUIMIENTO DE LA COMPOSICION DE LAS UVAS DURANTE LA MADURACION	41
3.8.1 <u>Técnica de muestreo</u>	41
3.8.2 <u>Peso y calibre de las bayas</u>	41
3.8.3 <u>Sólidos solubles, acidez total y pH</u>	41
3.8.4 <u>Proporción de pulpa, semillas y hollejo en las bayas</u>	42
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	43
4.1 DESCRIPCION Y CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS	43

4.1.1	<u>Descripción del perfil del suelo</u>	43
4.1.2	<u>Análisis físico del suelo</u>	44
4.1.3	<u>Densidad aparente</u>	46
4.1.4	<u>Resistencia del suelo a la penetración</u>	46
4.1.5	<u>Tasa de infiltración mínima del suelo</u>	47
4.1.6	<u>Curvas de tensión de humedad</u>	48
4.2	CONTENIDO HIDRICO Y TEMPERATURA DEL SUELO.	51
4.2.1	<u>Evolución del contenido hídrico del suelo</u>	51
4.2.2	<u>Evolución de la temperatura del suelo</u>	54
4.3	SEGUIMIENTO DEL ESTADO HIDRICO DE LA PLANTA Y SU RELACION CON EL CONTENIDO HIDRICO DEL SUELO.	55
4.4	CRECIMIENTO Y DESARROLLO VEGETATIVO.	56
4.4.1	<u>Distribución del sistema radicular</u>	56
4.4.2	<u>Crecimiento de pámpanos</u>	58
4.4.3	<u>Fenograma del cultivo</u>	59
4.4.4	<u>Superficie foliar</u>	60
4.4.5	<u>Peso de poda</u>	61
4.5	CRECIMIENTO Y DESARROLLO REPRODUCTIVO.	62
4.5.1	<u>Fertilidad de yemas y cuajado</u>	62
4.5.2	<u>Crecimiento de las bayas</u>	63
4.5.3	<u>Temperatura de los racimos</u>	64
4.5.4	<u>Rendimiento</u>	64
4.5.5	<u>Composición de las bayas</u>	65
4.6	EQUILIBRIO VEGETO-PRODUCTIVO.	66
4.6.1	<u>Índice de Ravaz</u>	66
5.	<u>CONCLUSIONES</u>	68
6.	<u>RESUMEN</u>	69
7.	<u>SUMMARY</u>	70
8.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	71

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Umbrales de potencial hídrico foliar de base (Ψ_{Fb}).....	16
2. Notas de estrés en relación al potencial hídrico foliar de base.....	18
3. Temperatura media.....	34
4. Heladas.....	34
5. Precipitaciones y evapotranspiración mensual para la zona sur.....	34
6. Análisis granulométrico de los suelos.....	44
7. Densidad aparente para los suelos.....	46
8. Resistencia mecánica a la penetración para los suelos.....	46
9. Tasa de infiltración mínima del suelo.....	47
10. Contenido volumétrico de agua según tensión y horizontes.....	49
11. Balance hídrico decádico para la estación de crecimiento, adaptado de Riou, 2000.....	52
12. Peso de madera de poda según posición topográfica.....	61
13. Rendimiento por planta.....	64
14. Índice de Ravaz.....	66
 Figura No.	
1. Composición granulométrica según horizontes para la Ladera Alta..	45
2. Composición granulométrica según horizontes para la Ladera baja.	45
3. Resistencia mecánica a la penetración del suelo según	47

profundidad para la Ladera alta y baja.....	
4. Tasa de infiltración del horizonte Bt para Ladera alta y Ladera baja.	48
5. Curvas de tensión según horizonte para Ladera alta.....	50
6. Curvas de tensión según horizonte para Ladera baja.....	50
7. Precipitaciones registradas en la estación de crecimiento.....	51
8. Evolución del contenido hídrico en los suelos.....	53
9. Relación entre contenido hídrico del suelo (% vol) y FTSW.....	53
10. Evolución de la temperatura en el suelo según profundidad, en el día más cálido de Enero (07/01/05).....	54
11. Evolución del contenido de agua en el suelo y estado el hídrico de la planta.....	55
12. Detalle de los sistemas radiculares según posición topográfica.....	56
13. Mapeo y cuantificación del sistema radicular en ladera alta.....	57
14. Mapeo y cuantificación del sistema radicular en ladera alta.....	57
15. Crecimiento de los brotes principales.....	58
16. Fenograma del cultivo.....	59
17. Superficie foliar expuesta potencial.....	60
18. Detalle del interior de la canopia en ladera baja.....	61
19. Rango de fertilidad de yemas.....	62
20. Evolución del diámetro de bayas luego del envero.....	63
21. Evolución de la temperatura a nivel de los racimos y el follaje.....	64

22. Evolución de la maduración expresada como Alcohol prob. y Acidez de las bayas.....	65
23. Evolución de la maduración expresada en pH.....	66

1. INTRODUCCIÓN

Las características climáticas observadas en gran parte de Uruguay constituyen uno de los pilares fundamentales para el éxito de la actividad vitivinícola y se han convertido en poderosas aliadas para el desarrollo de un producto de reconocido prestigio y calidad.

No obstante, aún queda mucho por explorar sobre las interacciones y características climáticas de una temporada y región y los atributos cualitativos de los vinos que ahí se producen. Si las condiciones meteorológicas son efectivamente una ventaja que nos confiere una posición privilegiada, debemos ser capaces de sacar el mayor provecho al “Capital Climático” de nuestras localidades. Es así, como el Terroir Vitícola cobra protagonismo. Éste se caracteriza por la asociación “clima-suelo-planta” al cual se suman las ciencias enológicas y el hombre. El principal objetivo de agrupar estos elementos y darles un carácter unitario, es comunicar la naturaleza del paisaje geográfico y cultural en el que el vino es producido, de manera que el consumidor pueda establecer un vínculo más profundo con el producto. Por ello existe un interés creciente en comprender a cabalidad las interacciones que el medio ambiente físico establece con el viñedo a escala parcelaria, de manera que tanto el manejo agronómico como la estrategia comercial se orienten a potenciar aquellos elementos que impriman un sello cualitativo sobre el vino.

Para asegurar que la descripción del Terroir se base sobre elementos objetivos, se debe contar con herramientas de análisis que permitan identificar la influencia de las características mesoclimáticas, las del territorio (pendiente, exposición) y las propiedades del suelo sobre la composición de las bayas.

Es por tal razón que el presente trabajo tiene el interés de incrementar la resolución espacial de las variables topoclimatológicas que inciden sobre el comportamiento de la variedad Tannat, esta vez a escala parcelaria, en las condiciones del sur del Uruguay.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL SUELO Y EL FUNCIONAMIENTO DE VID

2.1.1. Introducción

El crecimiento y desarrollo de los vegetales es debido a su aprovisionamiento en agua y en elementos minerales. Éste se realiza desde el suelo gracias al sistema radicular. El conocimiento de la distribución de las raíces en el suelo y de sus condiciones de crecimiento es indispensable para el estudio de la economía del agua, la nutrición mineral y sus aplicaciones agronómicas (Champagnol, 1984).

Según Jackson y Lombard (1993), los posibles efectos del suelo sobre la composición y calidad de las uvas son probablemente más difíciles de evaluar que los efectos del mesoclima. El suelo puede:

- a) Afectar la disponibilidad de agua para la planta debido a su capacidad de retención.
- b) Afectar la disponibilidad de nutrientes.
- c) Afectar el microclima por su capacidad de retención de calor y reflexión de luz.
- d) Afectar el desarrollo radicular debido a su penetrabilidad.

La parte de la vid más afectada por las propiedades físico-químicas del suelo es el sistema radicular. Las raíces absorben y conducen la mayor parte del agua y nutrientes exigidos por la parte aérea de la planta. Varios fitoreguladores, sintetizados en las raíces, son necesarios para el desarrollo adecuado del follaje (Richards, 1983). Por consiguiente esencialmente el tamaño y la sanidad del sistema radicular de la vid gobiernan el vigor y el funcionamiento de la canopia (Smart y Robison, 1991).

El vigor de la planta tiene un impacto importante sobre la calidad de baya, y ésta raras veces alcanza un nivel óptimo si las vides poseen un exceso de vigor. Por otro lado, las vides con un sistema radicular y canopia poco vigorosos no necesariamente producen racimos de alta calidad (Huglin, 1984).

De acuerdo con Jackson y Lombard (1993), para la producción de racimos de alta calidad, es necesario apuntar a un nivel óptimo, a diferencia del máximo o del mínimo crecimiento y desarrollo radicular.

2.1.2. Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas esencialmente gobiernan el volumen potencial de suelo que puede ser explorado por raíces. Este volumen es controlado principalmente por la estructura de suelo. El arreglo y la organización de las partículas y los poros asociados entre ellas es llamada estructura del suelo (Hillel, 1982) y afecta, tanto directa como indirectamente, muchos aspectos físicos, químicos y biológicos del suelo (Ribéreau-Gayon, 1982). Estos incluyen la consistencia (dureza, friabilidad, etc.) del suelo, el movimiento de agua y nutrientes, la aireación del suelo, propiedades hidráulicas, la aptitud para el laboreo, y el riesgo de erosión (Hillel 1982, Oades 1984). Los aspectos funcionales de estructura de suelo, llamados suministro de agua y aireación son las dos características más importantes del suelo que determinan la aptitud de un suelo para la viticultura (White, 2003).

2.1.2.1. Almacenaje y disponibilidad de agua

El efecto del almacenaje y disponibilidad de agua sobre el funcionamiento de la vid es un asunto que recibe mucha atención en la producción y literatura vitícola. Una restricción obvia del suelo al funcionamiento de la vid en varios climas del mundo, es la carencia de agua almacenada en el suelo. Aunque la carencia del agua principalmente sea asociada con el clima, el almacenaje del agua en el suelo y el acceso de las raíces a la reserva de agua son dependientes de las propiedades físicas del suelo. El área de la entrefila puede ser una fuente de reserva hídrica, pero esta agua a menudo no es utilizada por la vid debido a la pobre penetración de las raíces en esa zona. Una variedad de factores puede ser responsable de esto, incluyendo zonas de tráfico compactas (Lanyon et al., 2004). Otras limitaciones para extraer agua, pueden asociarse a las características texturales como un alto contenido de arena de grano grueso o por impenetrabilidad de las raíces en horizontes compactos (White 2003, Lanyon et al. 2004).

Wang et al. (2001) demostraron que, aún en situaciones donde la disponibilidad de agua y nutrientes no es restrictiva, el tamaño del sistema radicular tiene un efecto directo sobre el crecimiento de los brotes y, por tanto, en el equilibrio de la planta. Lebon et al. (2001), han descrito esto como una respuesta anticipada, por la cual las raíces detectan condiciones hídricas restrictivas en el suelo y envían señales a la parte aérea de la planta que reduce o detiene el crecimiento de los brotes, aún antes de que el abastecimiento de agua sea agotado completamente. En principio, el mismo mecanismo es usado para reducir la tasa de crecimiento de los brotes, aplicando la técnica de desecamiento parcial de la zona explorada por las

raíces, como es descrito por Dry y Loveys, citados por Deloire (2003), Dry y Loveys, citados por White (2003).

La distribución del agua en el suelo tiene una fuerte influencia sobre la distribución de las raíces (Seguin, citado por Champagnol, 1984). Hay también una relación entre el agua y la distribución de aire en el suelo. Por ejemplo, Freeman y Smart (1976) encontraron que cuando el riego fue aplicado en una dosis equivalente al 100 % de la evapotranspiración real, el crecimiento de raíz fue estimulado comparado con una irrigación igual al 300 % de la evapotranspiración real.

Los sistemas de irrigación y regímenes de agua de suelo también tienen un impacto significativo sobre la distribución del sistema radicular de la vid. Se ha observado una densidad mayor de raíces en el bulbo húmedo debajo de los emisores en riego localizado, pero son más dispersas bajo otros sistemas de riego. Bajo la irrigación por goteo las vides se harán más dependientes de la irrigación debido a un más pequeño volumen de arraigo. Asimismo fueron encontradas altas concentraciones de raíces en la entrefila, en relación a la fila de vid, bajo riego por surcos. La distribución del sistema radicular en vides en secano o en sistemas de micro aspersion superficial es bastante uniforme entre las filas, debido que el agotamiento del agua en el suelo en profundidad emparejó la distribución de raíces (Carbonneau, 1998).

Los conceptos relacionados con la medida y manejo del almacenaje de agua en el suelo y su suministro al viñedo son bien conocidos (Deloire et al., 2003). La disponibilidad de agua afecta el rendimiento y la calidad de las uvas tanto directamente como indirectamente. Los efectos principales son indirectos y actúan por vía del crecimiento vegetativo debido a los efectos en el potencial hídrico foliar, turgencia, traslocación de sustancias orgánicas e inorgánicas, y la fotosíntesis de la canopia.

La tasa de crecimiento vegetativo durante cada etapa fisiológica de desarrollo afecta las relaciones fuente-fosa y, por consiguiente, procesos fundamentales, como la inducción de las yemas, el cuajado, el tamaño de la baya y del racimo, la proporción hollejo-pulpa, la acumulación y degradación de azúcares, ácidos y varios compuestos colorantes y aromáticos (Jackson y Lombard, 1993).

Los excesos de agua disponible en la zona de la raíz invariablemente conducen a canopias grandes y densas, fotosintéticamente ineficientes (Smart, 1974). Este exceso de vigor produce una superposición del follaje, desfavorable al microclima de los racimos, a la maduración de la baya (dilución de los compuestos en relación al volumen de la baya) y a la penetración de los

productos fitosanitarios (Deloire et al., 2003). Por lo tanto aumenta la sensibilidad de la vid a enfermedades como la *Botrytis cinerea Pers.* (Smart y Robinson, 1991). El excesivo crecimiento vegetativo luego del envero también ha sido mostrado como desfavorable al afectar la coloración y composición de las bayas (expresado en términos de azúcares, sabor y compuestos del aroma) debido a la competencia por asimilados entre la fruta que madura y desarrollo de los brotes (Bravdo et al., 1985) y causando retrasos en la maduración (Wildman et al., 1976).

El déficit hídrico leve por otra parte, causado por una reducida cantidad de agua disponible dentro de la zona radicular, puede mejorar la acumulación de azúcar por la supresión del crecimiento de los brotes o la reducción de la densidad de la canopia (Ojeda et al., 2004), permitiendo así tasas fotosintéticas más altas en las hojas interiores. Los déficit hídricos leves también son conocidos por tener efectos positivos al reducir el tamaño de baya (Smart, 1974) y al aumentar el contenido de antocianos y taninos de las bayas en variedades de uvas tintas (Hardie y Considine 1976, Matthews y Anderson 1988).

Por otra parte, existe amplia documentación de los efectos negativos que la restricción hídrica puede tener, en diferentes etapas del desarrollo, en términos de producción y calidad de uvas. Por ejemplo, el estrés hídrico durante la floración puede conducir a la abscisión y el desecamiento de flores (Hardie y Considine, 1976), mientras que el estrés hídrico en las semanas después de la floración puede tener un impacto negativo sobre la producción por una disminución de la división celular y del crecimiento en las bayas jóvenes (Ollat et al., 2002). La restricción hídrica durante el desarrollo de la canopia también puede causar insuficiente área foliar después del envero, reduciendo la tasa de síntesis de azúcar y causar daño a los racimos por quemado de sol (Payan y Salançon, 2003). Restricciones hídricas extremas pueden causar la prematura senectud de la hoja y la maduración incompleta de la baya (Hardie y Considine 1976, Payan y Salançon 2003).

La cantidad de agua que está potencialmente disponible para la planta es determinada por la cantidad de precipitación o riego, la capacidad de almacenaje del suelo y, la profundidad y distribución del sistema radicular. Como la vid es una planta perenne capaz de vivir más de 100 años, puede desarrollar raíces profundas, especialmente en los suelos más permeables. Aunque la mayoría de las raíces (> 70%) ocurre en el primer metro de profundidad desde la superficie, lo que define la profundidad efectiva de exploración (White, 2003).

2.1.2.2. Aireación y anegamiento

La saturación hídrica del suelo afecta el crecimiento de los brotes y a la supervivencia de las raíces (Fregoni, 1998). La sensibilidad de un suelo al anegamiento es función de la precipitación, la frecuencia de riego, la permeabilidad del perfil de suelo y la profundidad de la napa freática. El anegamiento transitorio puede ocurrir en suelos diferenciados texturalmente como resultado de la saturación de los horizontes que se encuentran por encima de un horizonte Bt impermeable, especialmente durante algunos períodos en inviernos húmedos. Un problema más serio para el viñedo ocurre cuando el anegamiento se presenta en un área extensa y la napa freática se encuentra cerca de la zona explorada por las raíces. Un predominio de precipitaciones, junto a bajas tasas de evapotranspiración resulta en un exceso hídrico. En suelos con baja permeabilidad, el agua penetra lentamente y el suelo permanecerá saturado por un período mayor de tiempo (White, 2003). Un suelo con buen drenaje a menudo se asocia con el vino de la más alta calidad (Seguin, citado por Ribéreau-Gayon 1982, Champagnol 1984).

Las vides son más sensibles al exceso hídrico durante principios de la primavera y en los períodos de crecimiento activo del sistema radicular (Fregoni, 1998). Los suelos son considerados anegados cuando el 93 % o más de la porosidad total del suelo esta ocupada por agua, privando el acceso del oxígeno a las raíces de la planta. Un valor crítico del 10 a 15 % de la porosidad total ocupada por aire es considerada como la porosidad de aire mínima para permitir la respiración de las raíces y mantener el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono del suelo con fuentes atmosféricas (Hillel, 1982).

La saturación temprana del suelo puede tener un serio impacto sobre el crecimiento de los brotes, porque el nuevo crecimiento de raíces puede ser retrasado hasta 10 semanas luego del desborre (Freeman y Smart, 1976).

Según White (2003), una condición de crecimiento restringido en primavera (RSG), evidenciada por un pobre crecimiento de brotes, es más común en suelos de textura pesada. Claramente, el crecimiento de las raíces y su función son restringidos por condiciones anaerobias del suelo.

La acumulación de etileno en las condiciones de anegamiento prolongado del suelo es la causa del crecimiento anormal de la planta.¹ De acuerdo a Petegolli (1992), el daño en la parte aérea aparece ligado a la alteración del transporte de elementos nutritivos y a la absorción de compuestos tóxicos. El nivel de síntesis de reguladores de crecimiento de la raíz (citoquinina y

¹ Peña, A. 2006. Com. personal.

giberelinas) se reduce, mientras que aumenta la síntesis de ácido abscísico así como de etileno. Esto afecta a la parte aérea con una reducción de la superficie foliar y menor tasa de cuajado, provocando además un limitado desarrollo del fruto.

2.1.2.3. Dureza y densidad

El crecimiento general de las plantas depende en muy alto grado de su desarrollo radicular. No existiendo limitantes atmosféricas, biológicas, de nutrición mineral ni de suministro de agua, es la macroporosidad del suelo y su mayor o menor rigidez, quien regula el crecimiento de las raíces y a través de éste el de toda la planta (Rucks et al., 2004).

La dureza del suelo es la medida de la capacidad del suelo para resistir deformación y se refiere a la cantidad de energía que es requerida para romper los agregados o mover implementos a través del suelo. La unidad de medida es MPa (Megapascal) que indica la resistencia a la penetración (Cooperative Research Centre for Viticulture, 2006).

Se pueden ubicar zonas compactadas en el suelo que son importantes en la restricción del crecimiento de las raíces de la viña, dentro de las cuales se puede mencionar suelas de aradas o aquellas que se ubican bajo la línea de rodadura de maquinaria (Gabovic, citado por Richards, 1983). Varios investigadores han determinado el grado de dureza del suelo midiendo la resistencia a la penetración de una delgada varilla de metal (penetrómetro de aguja). Se ha probado la utilidad del método, a pesar de las diferencias obvias entre la penetración de la varilla de metal y de las raíces de la planta (Hillel, 1982).

Cockroft et al. (1983), Withe (2003) encontraron que una resistencia de penetración crítica de 3 Mpa, medida en el suelo a capacidad de campo, describió la zona efectivamente explorada por las raíces. Sin embargo, para Cockroft et al. (1983), la lectura tomada por el penetrómetro no debería ser tomada como la resistencia absoluta encontrada por raíces; en cambio, si debería ser usada como un indicador de consistencia dentro de la matriz de suelo. Grietas estructurales comunes en suelos arcillosos que se expanden, y macroporos continuos, permiten seguir creciendo a la raíz, pero con la capacidad funcional reducida en lo que respecta a la absorción de agua y nutrientes (Champagnol, 1986).

La consecuencia de una alta densidad y dureza del suelo sobre el funcionamiento de vid, es debido al efecto directo que ellos tienen sobre la

distribución y la capacidad funcional del sistema radicular para extraer el agua y sustancias nutritivas. El efecto relativo en la determinación de la calidad de uvas, de la interacción del clima con la distribución del sistema radicular es menos claro (White, 2003).

2.1.3. Temperatura del suelo

Fluctuaciones de temperaturas en el suelo afectan el crecimiento de los vegetales (Rucks, 2000). White (2003), comprobó que el crecimiento de la raíz de vid en zonas frías comienza cuando la temperatura de suelo alcanza los 6° C, siendo su óptimo cercano a los 30° C. Para Branas (1974), el crecimiento de raíces es óptimo a 25° C y lento por debajo de 10° C y por encima de 30° C, con una disminución aguda en la elongación encima de 32° C.

La temperatura de suelo no sólo afecta la tasa de elongación de raíces, sino también a la absorción pasiva como activa de agua, por la creciente permeabilidad de la membrana y la actividad metabólica de la célula (Azcon-Bieto y Talón, 2000).

Zelleke y Kliewer (1979) coinciden con investigaciones anteriores llevadas a cabo por Woodham y Alexander (1966), Kliewer (1975), en que hay mayor tasa de desborre de yemas y mayor tasa de crecimiento de brotes en vides creciendo con la temperatura radicular óptima (25 a 30° C) que con temperaturas sub-óptimas (10 a 15° C). Sin embargo, la consecuencia de altas temperaturas de la superficie del suelo sobre el funcionamiento de la vid, dependerá de la distribución en profundidad de las raíces y de la dependencia del crecimiento de la planta sobre el agua y sustancias nutritivas almacenadas en algún intervalo de profundidad en particular (Lanyon, 2004).

La temperatura de suelo puede tener un efecto sobre la calidad de uvas por su conexión termodinámica con el clima alrededor del follaje de viña (De Candolle y Ravaz, citados por Ribéreau-Gayon 1982). El régimen de temperatura del aire alrededor de la planta ha sido vinculado a la composición de las bayas por los efectos sobre pH, color, sabor y componentes de aroma (Jackson y Lombard, 1993). La concentración de rocas en la superficie y el color del suelo influyen en el flujo de térmico de la atmósfera desde y hacia el suelo, por lo tanto, la temperatura de suelo tiene un papel importante en la determinación de la calidad de baya (White, 2003).

2.1.4. Nutrición

La fertilidad del suelo afecta a todos los órganos de la vid, desde el crecimiento y distribución del sistema radicular hasta el crecimiento de los brotes y la composición de las bayas (Fregoni 1998, White 2003).

Algunos elementos minerales deben estar siempre presentes en las proximidades de las raíces para permitir su continuo crecimiento. En particular, un continuo aporte de Calcio y Boro es esencial para (Haynes y Robbins, citados por Richards, 1983). Para la vid, la deficiencia de boro resulta en una distorsión de las raíces y la muerte de los ápices, pero con el aporte del elemento, el crecimiento retoma la normalidad (Bode, 1939).

La ramificación de las raíces parece ser muy dependiente de los niveles de Nitrógeno y Fósforo disponible (Duncan y Ohlrogge, citados por Richards 1983, Drew y Saker, citados por Richards 1983).

A diferencia del Calcio y el Boro, la provisión de altos niveles de Nitrógeno y Fósforo a sólo una parte del sistema radicular, puede compensar, en gran parte, un suministro limitado al resto. La respuesta al agregado de Fósforo puede ser limitada cuando el contenido de humedad de suelo se acerca al punto de marchitez permanente. Así, en situaciones donde el suelo enriquecido superficialmente en Fósforo está sujeto a desecamientos periódicos, la absorción del elemento por las raíces superficiales puede ser insuficiente para sostener el crecimiento de raíces más profundas (Eck y Fanning, citados por Richards 1983, Lipps y Fox, citados por Richards 1983).

El cultivo de la vid se desarrolla en regiones con suelos muy contrastantes, es así que ubicamos viñas comerciales sobre suelos con pH entre 4,5 y 8,5. Por supuesto que estos son extremos, pero dan una idea de la gran plasticidad de la vid en materia de suelos. Se sabe que en una zona con suelos muy ácidos los riesgos de inmovilización de Fósforo y de liberación del aluminio son grandes, lo mismo en zonas de pH elevado (> 7,5), y en especial en suelos muy calcáreos, donde existe riesgo de clorosis férrica (Fregoni 1998, Delmas, citado por Ribéreau-Gayon 1982).

2.2 ALIMENTACIÓN HÍDRICA DE LA VIÑA

2.2.1 Introducción

De acuerdo a Conradie (2002), varios factores pedológicos tienen efecto sobre el comportamiento de la vid y por lo tanto sobre la calidad del vino, mencionándose entre ellos la composición química y la profundidad del suelo.

Sin embargo, este mismo autor, citando a Seguin (1986), indica que es ampliamente aceptado que la reserva hídrica del suelo es el factor pedológico más importante en relación a la calidad. Coincidentemente con esto, Champagnol (1984), Carbonneau (1998), sostienen que la alimentación hídrica de la viña durante la maduración de los racimos constituye uno de los factores claves de la calidad de la cosecha.

Según Van Leuween y Seguin (1994), la alimentación hídrica de la vid tiene su mayor efecto sobre el balance entre el crecimiento vegetativo y reproductivo de la viña.

Lebon et al. (2003), sostienen que el mantenimiento del equilibrio entre el crecimiento de los brotes (vigor), y la producción y maduración de los racimos es uno de los principales desafíos de la gestión de viñedos.

El estrés hídrico es el principal elemento regulador del balance de carbono de la planta entera (Carbonneau, 2001).

El estrés hídrico condiciona un grupo de respuestas fisiológicas de la planta frente a una limitación en el suministro de agua. Algunas de estas respuestas en vides incluyen: cierre estomático, reducción de la fotosíntesis, reducción de la división celular y reducción de la expansión celular. Un estrés hídrico reducido determina un potencial productivo menor, reduciendo la expansión vegetativa y aumentando la concentración de algunos compuestos de los frutos (fenoles, taninos, sólidos solubles, etc.), repercutiendo sobre la calidad de estos (Champagnol, 1984).

Un estrés hídrico intenso provoca un debilitamiento de los intercambios gaseosos (fotosíntesis y transpiración foliar), afecta el desarrollo vegetativo (superficie foliar disminuida) y reduce la duración del ciclo vegetativo (detención del crecimiento) (Ojeda et al., 2004). Su efecto sobre los componentes del rendimiento está en función del estado de desarrollo en que aparece el estrés, de su duración y de su intensidad: un estrés precoz reduce el número de bayas por racimo, si el estrés se desarrolla entre el cuajado y el envero disminuye el peso unitario de la baya y aumenta la heterogeneidad del tamaño de las bayas (Ollat 1997, Ojeda 1999, 2004). Por el contrario, si el estrés ocurre durante la maduración, tendrá solo poco efecto sobre el peso de la cosecha (Smart et al., 1974). Una sequía excesiva provoca igualmente una reducción de la acumulación de azúcar en las bayas y la detención de la maduración. El estrés permite en una cierta medida la concentración de los polifenoles en la uva por una disminución del calibre de las bayas y una acción directa sobre su biosíntesis (Ojeda et al. 1999, 2002, Deloire et al. 2003).

Los excesos como las carencias de agua son generalmente nefastos para la obtención de una cosecha de calidad. Una alimentación hídrica no limitante a lo largo de toda la estación induce un exceso de vigor que altera la calidad de la cosecha: aumenta los rendimientos, alta competencia por la repartición de los azúcares entre la parte vegetativa y reproductiva, fenómenos de dilución, reducción de la coloración de las bayas, alteración del microclima en la zona de los racimos y desarrollo de parásitos... (Champagnol, 1984).

Una restricción hídrica progresiva y moderada (desde floración) conduce a una disminución de la velocidad o un detenimiento del crecimiento vegetativo en la fase de envero (Carbonneau, 1998) y favorece así la producción de uvas más ricas en azúcares reductores, en antocianos, en compuestos fenólicos y menos ácidos (Ojeda et al., 2004). En el envero, el aporte en agua debe ser suficiente para compensar la evapotranspiración, pero insuficiente para mantener el crecimiento vegetativo (Gurovich, 2002). Este estado se traduce al nivel edáfico por un agotamiento casi completo de las reservas útiles durante el curso de la maduración (Payan y Salançon, 2003).

2.2.2. Evaluación del estado hídrico de la viña

Son numerosos los factores que influyen sobre el estado hídrico de la viña. La oferta natural (sin riego) está asegurada esencialmente por la reserva de agua del suelo (RU) que depende entre otras del volumen de suelo explorado por las raíces, de su textura y de su estructura, y por el mesoclima (pluviometría de la parcela) (Seguin, citado por Ribéreau-Gayon 1982, Withe 2003, Lakso y Pool 2005). La demanda depende principalmente de la evapotranspiración de la planta y el suelo que está en estrecha dependencia de la dimensión de la cubierta vegetal (densidad de plantación, arquitectura de la canopia, superficie foliar, estado fenológico, rendimiento...), de las características del cepaje y del portainjerto, de la cobertura del suelo, de las resistencias internas de la planta (gradiente de potencial y cobertura hidráulica) y la demanda evaporativa de la atmósfera (temperatura, humedad del aire y radiación) (Riou y Lebon 2000, Lakso y Pool 2005).

Existen numerosas técnicas para evaluar el régimen hídrico de la viña (Deloire et al., 2003). Estas se basan sobre la medida de la cantidad de agua en el suelo (gravimetría o sonda de neutrones) o su disponibilidad para la planta (tensiometría) (White, 2003). Los indicadores fisiológicos constituyen otro acercamiento en la evaluación del estado hídrico de la planta. Estos indicadores fisiológicos son diversos: potencial hídrico foliar, potencial de base o potencial de tallo (Scholander et al. 1965, Chone et al. 2001). Técnicas a partir de los parámetros meso o microclimáticos: balance hídrico teórico (Lebon et al. 1995,

2003, Riou y Lebon 2000, Riou y Payan 2001) índice de estrés hídrico de cosecha (crop water stress index, CWSI) (Riou y Lebon, 2000). Finalmente, la evaluación del régimen hídrico de la viña a partir de la relación isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ en los azúcares de los mostos (Tardáguila et al. 1997, Van Leeuwen et al. 2001, Gaudillère et al. 2002).

En todos los casos, los diversos conocimientos y observaciones coinciden en la necesidad de conocer el régimen hídrico de la parcela durante toda la temporada, a fin de ajustar los manejos sobre el cultivo para obtener una cosecha de alta calidad. Es necesario, entonces, disponer de métodos que permitan conocer el estado hídrico de la planta y de las reservas de agua en el suelo (Payan y Salançon, 2003).

2.2.3. El sistema suelo-planta atmósfera

En una planta en crecimiento activo, existe una fase de agua líquida continua que se extiende desde la epidermis de la raíz hasta las paredes celulares del parénquima foliar. Generalmente, se acepta que el movimiento de agua desde el suelo al aire, a través de toda la planta, se puede explicar por la existencia de gradientes de potencial hídrico. Debido a que el aire en los espacios intercelulares del parénquima lagunar en el mesófilo foliar está prácticamente a presión de vapor de saturación, mientras que el aire exterior rara vez está saturado de agua, el vapor de agua se mueve desde el interior de la hoja a la atmósfera exterior, siguiendo un gradiente decreciente de potencial hídrico. Este proceso denominado transpiración, es la fuerza motriz más importante para el movimiento del agua a través de la planta.

Para mantener la turgencia de la parte aérea, así como para posibilitar las actividades bioquímicas hasta un nivel que asegure la supervivencia, el agua perdida en la planta mediante transpiración ha de reponerse continuamente. Muchas plantas pueden absorber la humedad atmosférica de forma de niebla o rocío, pero la absorción foliar es insignificante comparada con la absorción a través de las raíces. El agua entra en las raíces en respuesta a un gradiente de potencial hídrico en el xilema, establecido por la transpiración (Azcon-Bieto, 2000).

2.2.4 Resistencias hidráulicas

2.2.4.1. Regulación estomática

Los estomas juegan un rol clave en la regulación de los flujos de agua y CO_2 de las hojas. Ellos constituyen el medio de control de las pérdidas de agua por la transpiración y la absorción de CO_2 necesario para la fotosíntesis. Los

movimientos estomáticos (apertura y cierre) dependen de las variaciones de turgencia de las células “de guarda” y de las células epidérmicas vecinas. Las variaciones de turgencia resultantes debidas a un cambio del potencial hídrico de las células “de guarda” se deben a una variación activa del potencial osmótico de ellas mismas (Champagnol 1986, Azcon-Bieto y Talón 2000, Schultz 2003).

De numerosos factores externos (luz, CO₂, temperatura, humedad, estado hídrico del suelo, etc...) e internos (sustancias de crecimiento, edad de las hojas, órganos fosa, ritmos endógenos) influyen sobre el funcionamiento de los estomas (Azcon-Bieto y Talón, 2000).

De manera general, el efecto de un déficit hídrico sobre el comportamiento estomático debe ser analizado separadamente de los efectos algunas variables ambientales (Naor et al., 1994). El estado hídrico del aire y la energía luminosa incidente (estas dos variables anteriores están estrechamente asociadas al déficit hídrico) tienen un efecto neto sobre la apertura estomática. El estado hídrico del suelo actúa sobre la conductancia estomática a través del estado hídrico de la planta, que induce un cierre estomático en caso de desecamiento excesivo (retroalimentación, “feed back”). Contrariamente, la luz y el estado hídrico del aire tienen gran influencia sobre la conductancia estomática independientemente del estado hídrico de la planta (“feed forward”). Influyen a través de dos modos de control diferentes (Schultz, 2003).

2.2.4.2. La viña: planta iso-hídrica

Muchas especies vegetales, llamadas “iso-hídricas” como el maíz (Tardieu y Davies, 1992), el guisante y la viña, no ven disminuir su potencial hídrico foliar cuando el suelo se seca. El desecamiento del suelo provoca el cierre de los estomas, sin que la turgencia o el potencial hídrico foliar sean afectados.

El cierre estomático está entre los primeros procesos que ocurren en las hojas en respuesta a la sequía. La buena relación entre la conductancia estomática (gs) y el potencial hídrico foliar y/o el contenido de agua de la hoja ha sido observado en algunas condiciones y genotipos de vid (Naor et al., 1994), pero no en muchos otros (Naor y Wample 1994, Poni et al. 1994, Schultz 2003). Esto último representa un comportamiento casi-isohídrico, que implica que el potencial hídrico foliar mínimo puede ser alcanzado en el mediodía independientemente del estado hídrico del suelo. Este hecho hace que el potencial hídrico foliar medido al mediodía sea un indicador pobre del estrés hídrico, en contraste con el potencial hídrico foliar de base o el potencial de tallo que pueden servir como buenos indicadores (Choné et al., 2001). Las diferencias entre cultivares casi-isohídricos y anisohídricos en *Vitis vinifera* L.

parecen estar relacionadas con diferencias en la arquitectura hidráulica del sistema vascular de las plantas (Schultz, 2003).

2.2.5. Restricción hídrica y procesos fisiológicos

El déficit hídrico impone el cierre progresivo de los estomas, que reduce a su vez los intercambios gaseosos (fotosíntesis, transpiración). Una estrecha correlación curvilínea ($r^2 = 0.89$) entre la conductancia estomática y la fotosíntesis neta ha sido descrita en la vid, como en otras especies (Naor y Wample, 1994).

Existe un nivel de alimentación hídrica para el cual el crecimiento, más sensible que la fotosíntesis, es interrumpido mientras que la asimilación puede mantenerse (Carbonneau, 2001).

Por otro lado, Tardieu y Davies (1992), mostraron que el cierre estomático y la inhibición del crecimiento vegetativo no eran únicamente la consecuencia de una modificación del estatus hídrico de la planta, sino también del estado hídrico del suelo. Estos procesos fisiológicos responden a variaciones del equilibrio fito-hormonal en la planta. Según Azcon-Bieto y Talón (2000), entre las diferentes hormonas conocidas, el ácido abscísico o ABA ha sido identificado como implicado en la respuesta de las plantas sometidas a estreses diversos (salinos, hídricos o térmicos).

El estado hídrico de la planta también interviene en los procesos respiratorios (Carbonneau, 2001). En general, la restricción hídrica influye más fuertemente sobre la actividad fotosintética que sobre la respiración (Boyer, 1970).

2.2.6. Definición del potencial hídrico (Ψ)

Existen al menos dos tipos de definición del estado hídrico de una muestra vegetal. Uno se apoya en la masa de agua (ex: la humedad ponderal), el otro sobre " el estado energético del agua " en la muestra. La medida del potencial hídrico (Ψ) permite estimar este estado energético del agua (Ojeda, 1999). Sólo esta magnitud termodinámica permite deducir los movimientos del agua líquida entre dos puntos del conjunto formado por el suelo, el vegetal y la atmósfera bajo ciertas condiciones (Azcon-Bieto y Talón, 2000).

El potencial hídrico foliar se constituyó, por un tiempo, en el concepto de moda. Representa una medida de la energía libre disponible para un trabajo y una medida de la fuerza motriz necesaria para el desplazamiento del agua (Azcon-Bieto y Talón, 2000). Corresponde a la energía que hay que aplicar a

un centímetro cúbico de agua para vencer fuerzas de orígenes diversos (osmóticos, capilares, de presión) que vinculan esta agua en un tejido vegetal o en el suelo, en relación al estado de referencia. Este estado de referencia equivale al agua pura a la temperatura de 20°C, cuyo valor de potencial es igual a cero (= 0, agua libre). Para otros estados energéticos, es positivo si el agua cede la energía volviendo al estado de referencia (ex: empuje radicular, savia bajo presión), y negativo si hay que suministrarla para volverla a este estado (savia bajo tensión), (Salisbury y Ross, 1978).

En las plantas, el Ψ es a menudo muy negativo y varía de un punto al otro en la planta. Las transferencias de agua se realizan en el sentido de Ψ decrecientes, es decir del potencial hídrico menos negativo hacia el más negativo. Se lo expresa en unidad de presión (KPa, bar). Él (Ψ) es igual para una célula vegetal (o una planta) a la suma de los tres componentes siguientes:

$$\Psi = \Psi_S + \Psi_P + \Psi_m$$

Con: Ψ_S : potencial osmótico, Ψ_P : potencial de turgencia, Ψ_m : potencial de matriz. Ψ_m , representa la contribución de las fuerzas desarrolladas en la superficie de las partículas o las fuerzas de matriz. Estas últimas son despreciables en la planta, pero pueden ser muy elevadas en el suelo. El potencial hídrico celular o de una planta tiene pues dos componentes principales, una osmótica, y otra de turgencia (Azcon-Bieto y Talón, 2000).

El potencial osmótico (Ψ_S) resulta de la presencia de soluciones disueltas (azúcar, ácidos orgánicos, aminos y iones) que lleva una disminución del potencial químico del agua (estado energético). Es siempre negativo y proporcional a la concentración de las soluciones disueltas. Una de las particularidades de las células vivas reside en la posibilidad de acumular moléculas o iones contra el gradiente de difusión mediante un gasto energético (Salisbury y Ross 1978, Azcon-Bieto y Talón 2000).

2.2.7. Aplicaciones de las medidas hídricas

El agua es un factor determinante en el rendimiento y en la calidad de las uvas y, por consecuencia, de los vinos. El conocimiento del estado hídrico del viñedo es importante para entender su comportamiento vegetativo / reproductivo (Ojeda et al., 2004).

2.2.7.1. Potencial hídrico de base (Ψ_{Fb})

La medida de Ψ_{Fb} indica el estado hídrico de la planta al final de noche, cuando los flujos de savia a través de la planta son prácticamente inexistentes.

La transpiración foliar es muy débil y la única fuerza que subsiste es el empuje radicular, lo que hace a la planta reequilibrar su estado hídrico en relación con agua del suelo. En estas condiciones, en efecto, el estado hídrico de la planta es considerado en equilibrio con estado hídrico del suelo explorado por el sistema radicular (Katerji y Hallaire, 1984).

La medida del Ψ_{Fb} , es efectuado por medio de la cámara de presión, que permite estimar la fuerza con la cual el agua es retenida en los tejidos vegetales, cuando la transpiración foliar es muy reducida. Cuantos más bajos son los valores registrados (o negativos), más fuertemente el agua es retenida dentro de la planta, lo que indica un abastecimiento de agua limitado (Scholander et al., 1965).

Umbrales de Ψ_{Fb} han sido propuestos por diversos autores (Carbonneau 1998, Riou y Payan 2001, Deloire et al. 2003) que permiten apreciar el grado de la restricción hídrica sufrida por la planta, (Cuadro1).

Cuadro1. Umbrales de potencial hídrico foliar de base (Ψ_{Fb}).

Valor de Ψ_{Fb}	Estado de la planta.
de 0 à -1.5 bar	Ausencia de estrés hídrico
de -1.5 à -3.0 bars	Estrés hídrico leve
de -3.0 à -5.0 bars	Estrés hídrico moderado
< à -5.0 bars	Estrés hídrico fuerte (síntomas de sequía)

2.2.7.2. Modelo de balance hídrico

Un modelo de balance hídrico, propuesto por (Riou y Lebon 2000, Riou y Payan 2001) permite seguir el estado hídrico de la vid y la disponibilidad de agua ofrecida por el suelo. Este balance se basa en un funcionamiento simple de tipo "depósito" y refleja una estimación de la fracción de agua del suelo utilizable por la planta que fluctúa con las ganancias provenientes de las precipitaciones y las pérdidas por transpiración de la cubierta vegetal y evaporación directa del suelo. Más tarde, la cuantificación de la disponibilidad en agua en el suelo (FTSW, fracción de agua del suelo utilizable por la planta) permite una evaluación directa de la intensidad de la restricción sufrida por la vid por medio de relaciones establecidas con la medida de Ψ_{Fb} (Lebon et al., 2003).

El parametraje del modelo de balance hídrico utiliza así, a la vid como el indicador del estado hídrico del medio, a través de la medida del potencial hídrico foliar de base. Este enfoque tiene en cuenta las principales

características de las parcelas, que son los parámetros edáficos, climáticos y fisiológicos (Riou y Payan, 2001).

En este momento, los límites de utilización del modelo de balance hídrico son las siguientes: el modelo no toma en consideración a las pérdidas en agua vinculadas al escurrimiento superficial, a la percolación en profundidad o lateral del agua y a la transpiración del empastado de la entrefila, este último por considerarse equivalente en las dos situaciones topográficas².

2.2.7.3. Definición de un itinerario hídrico

Un método actualmente utilizado para graficar un itinerario hídrico transcurrido de una parcela vitícola en el curso de la temporada ha sido propuesto por Riou y Payan (2001). Presenta la ventaja de discriminar las condiciones del abastecimiento de agua a dos niveles: por la fecha de aparición y por la intensidad de la restricción. Para este fin, el ciclo vegetativo es subdividido en cinco fases representativas de los principales estadios fenológicos de la vid:

Al relacionar estos umbrales (Notas) con los estados de desarrollo de la vid, los autores definen un "itinerario hídrico de la parcela".

Desborre - Floración,
Floración,
Floración - Envero,
Envero,
Maduración.

A cada fase le atribuye una nota de restricción hídrica o " nota de estrés " en relación a las reservas en agua sobre el período considerado (balance hídrico) o umbrales de Ψ_{Fb} del cuadro siguiente, Cuadro N° 2

Un " itinerario hídrico " es definido por un grupo de cinco valores para cada parcela y año de cosecha. Este quinteto es la imagen del régimen hídrico que prevaleció sobre una parcela en el transcurso del año. Por ejemplo, una parcela con un itinerario hídrico siguiente: [0-1-1-1-2], indica que una restricción débil apareció en la floración y se mantuvo hasta el principio de la maduración para luego intensificarse durante la maduración de la uva.

² García, M. 2007. Com. personal.

Los autores de este método resaltan que hay que ponderar la incidencia de la nota obtenida por su fecha de aparición y por su duración. En efecto, un déficit hídrico correspondiente a una nota media a máxima (notas = 2 a 3) es deseable durante la maduración de la uva por sus consecuencias benéficas sobre la interrupción del crecimiento vegetativo, pero puede revelarse perjudicial a principios de temporada (antes de la floración) para el desarrollo del aparato foliar y su actividad fotosintética (Riou y Payan, 2001), (Cuadro 2).

Cuadro 2. Notas de estrés en relación al potencial hídrico foliar de base.

Nivel de restricción	FTSW (%)	Ψ_{Fb}	Notas de Estrés
Ausencia de estrés	> 40	0 à -1.5 bar	0
Estrés leve	21-40	-1.5 à -3.0 bars	1
Estrés moderado	7-21	-3.0 à -5.0 bars	2
Estrés fuerte	< 7	< à -5.0 bars	3

Definición de los niveles de restricción hídrica y de las notas de estrés según Riou y Payan (2001), Lebon et al. (2003) en función del Potencial Hídrico Foliar de Base (Ψ_{Fb}) y de la FTSW (fracción del agua del suelo transpirable por la planta).

2.2.7.4. Potencial hídrico foliar (Ψ_F)

El potencial hídrico foliar es medido en el transcurso de día sobre hojas en regulación estomática, que transpiran y realizan intercambios gaseosos producto de la fotosíntesis (Ojeda et al., 2004). El microclima luminoso y térmico de la hoja así como la humedad del aire circundante a la cubierta vegetal, determinan ampliamente el valor del Ψ_F del órgano considerado. En el transcurso del día, la cubierta vegetal está constituida, por hojas que transpiran más o menos intensamente según el grado de regulación estomática y su medio ambiente. Las hojas sombreadas presentan un Ψ_F superior del orden de 1 a 2 bares al de las hojas bien soleadas, en ausencia de restricción hídrica. La constitución de una muestra representativa y homogénea de hojas frente a las condiciones del medio es a menudo explicada por esta razón (Liu et al., 1978).

Una disminución marcada en la conductancia estomática y en la fotosíntesis de las hojas de vid ha sido observada cuando el Ψ_F se volvía inferior a -11 o -15 bares en diferentes variedades de *Vitis vinifera* (Liu et al. 1978, Naor et al. 1994).

2.3. INFLUENCIA DEL ESTADO HÍDRICO DEL SUELO SOBRE EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO VEGETO-PRODUCTIVO DE LA VID Y LA COMPOSICIÓN DE LA BAYA

2.3.1. Crecimiento y desarrollo de los brotes

El estrés hídrico moderado induce la reducción o bloqueo del crecimiento del tejido vegetal; para producirse una expansión celular normalmente necesita de una presión de turgencia óptima (Fregoni, 1998).

Las precipitaciones estacionales son altamente variables entre sitios y entre años. En las condiciones de Hawke`s Bay (Nueva Zelandia), donde el aporte hídrico en la mayoría de los viñedos proviene de las precipitaciones, esta variable es particularmente relevante para la definición de las condiciones ambientales del sitio. En temporadas extremadamente secas y en sitios donde el suelo es extremadamente permeable, el estrés hídrico de las vides puede ser excesivo, esto deteriora el comportamiento del viñedo. Sin embargo, un exceso de precipitaciones generalmente tiene un efecto negativo en la calidad de la producción por inducir un crecimiento vegetativo excesivo, causando baja tasa de cuajado, retraso en la fenología, e incremento en la presión de enfermedades (Jackson y Lombard, 1993).

Tesic et al. (2001), encontró un coeficiente de correlación de $-0,76$ entre la precocidad del ciclo vegetativo y el peso de poda, indicando que sitios que promueven el crecimiento vigoroso retrasan las etapas fenológicas. Existe una correlación similar entre la precocidad del envero y el peso de poda. La humedad del suelo tiene un efecto significativo en el crecimiento vegetativo.

Según Carbonneau (1998, 2001), Deloire (2004), Ojeda (2004) el crecimiento vegetativo es lo primero que se ve afectado cuando la vid comienza a verse sometida a una restricción hídrica; el crecimiento de los brotes disminuye o, incluso, se detiene a niveles de restricción más bajos que los que afectan el crecimiento vegetativo o la fotosíntesis.

Gómez-del-Campo et al. (2002), trabajando con los cvs. Chardonay y Airén, encontraron que bajo condiciones de estrés hídrico, el desarrollo de área foliar máxima ocurre más temprano en el ciclo de crecimiento, en relación a plantas no estresadas.

El crecimiento de los brotes primarios y secundarios está relacionado estrechamente con el estado hídrico de la planta (Lebon et al. 2001, Hardie y Martin, citados por Deloire et al. 2003) y con su nivel de nitrógeno (Conradie, citado por Deloire et al. 2003). Contrariamente a estos autores, Gómez-del-Campo et al. (2002), encontraron que, la distribución del área foliar entre

feminelas y brotes principales no se modifica significativamente bajo condiciones de estrés hídrico. Según Champagnol (1984), esta distribución parece estar bajo control genético.

Un exceso de vigor debido a un exceso de agua o de nitrógeno, produce un follaje denso, desfavorable al microclima de los racimos, a la maduración de la uva y a la penetración de los productos fitosanitarios (Ojeda et al, 2004).

Cuando la restricción hídrica pasa un determinado umbral, la fotosíntesis neta está afectada y esta reducción es proporcional a la restricción. Lo mismo ocurre con otros parámetros fisiológicos como la conductividad estomática y la transpiración. Todos estos parámetros están además estrechamente vinculados a la arquitectura de la planta, determinada por el sistema de conducción, que influye significativamente sobre la relación entre la superficie foliar expuesta y la producción de uva (SFE/p; m²/Kg), consecuentemente, sobre la calidad de la vendimia y la acumulación de azúcares de reserva (Carbonneau, 1995).

Las medidas de vigor y expresión vegetativa son de particular importancia para la comparación de diferentes situaciones, incluso para comparar viñedos con diferentes situaciones, viñedos con diferentes régimen hídrico y/o diferente estado nutricional o simplemente para comparar, para una situación con el mismo vigor, diferentes sistemas de conducción (Deloire et al., 2003).

El crecimiento vegetativo de la vid es más sensible a la condición hídrica que el desarrollo y crecimiento de los racimos. Un ejemplo de esto se observa en un estudio realizado por Kliewer et al. (1983), en el cual el crecimiento vegetativo se incrementa aproximadamente el doble de lo que aumenta el rendimiento en el tratamiento con riego. En etapas tempranas el crecimiento vegetativo y el área foliar aumentan cuando se producen condiciones óptimas de disponibilidad de agua en el suelo. Asimismo, la disponibilidad hídrica irrestricta en etapas tardías puede causar un continuo crecimiento de brotes laterales (Hepner et al., 1985). De acuerdo con Matthews et al. (1987), el crecimiento de brotes laterales fue un 25 % mayor en el tratamiento con riego continuo comparado con el crecimiento de plantas sometidas a déficit hídrico temprano. Según este mismo autor un déficit hídrico temprano inhibe la tasa máxima de crecimiento de brotes y nudos cerca de 10 %.

La sensibilidad del crecimiento vegetativo al déficit hídrico se expresa a través de un acortamiento de los entrenudos, menor número de brotes, menor área foliar y menor peso de poda en el siguiente invierno, como consecuencia de una inhibición total del crecimiento de las hojas, así como de la reducción de la elasticidad y plasticidad de la pared celular. Como resultado de lo anterior, se aumenta la cantidad de luz que llega a la fruta (Smart et al., 1974).

Es evidente que en los primeros estados de crecimiento una situación de estrés hídrico impide una correcta evolución vegetativa de la cepa y una parada de la traslocación de azúcares en estados más avanzados (Portabella, 1996).

Desde el punto de vista del vigor de las plantas, las cepas regadas hasta fechas próximas a la vendimia, alcanzaron un vigor superior al de las plantas cultivadas con limitación del estrés hídrico entre el cuajado y el envero, que presentaron valores más reducidos de peso de madera de poda. Este hecho indicaría una prolongación del proceso de edificación vegetal como consecuencia del mantenimiento de la disponibilidad de agua durante la maduración (García-Escudero et al., 1997).

2.3.2. Desarrollo del fruto

2.3.2.1. Inducción y cuajado

Los procesos reproductivos de la planta son altamente sensibles al déficit hídrico (Mathews et al, 1989). Cualquier fenómeno que provoque estrés en la planta durante este período va a causar un cuajado anormal que traerá como consecuencia un corrimiento o millerandage del racimo (Champagnol, 1984).

La fertilidad de yemas se ve influida por el potencial hídrico de las plantas, lo que se refleja en los rendimientos futuros. Un potencial hídrico bajo al inicio de la temporada puede afectar el rendimiento del año en curso y reducir el número y tamaño de bayas de la siguiente temporada, debido a que el crecimiento vegetativo reduce el desarrollo de las yemas florales (Bravdo, 1985). En el caso de un déficit hídrico severo por tres semanas después de la floración, se afecta negativamente la fructificación e, incluso, induce a la abscisión de racimos (Hardie y Considine 1976, Hepner et al. 1985, Ojeda 2002). La cantidad de racimos se reduce más por un déficit hídrico antes del envero en comparación con un déficit hídrico que ocurra después de éste (Mathews y Anderson, 1989), según estos mismos autores, tanto un déficit hídrico temprano como tardío disminuyen la productividad.

En forma contraria a estas ideas, Smart et al. (1974), señalan que existe mayor apertura de yemas y mayor número de racimos para los tratamientos con déficit hídrico. Este aumento en la fructificación de se debe probablemente a una disminución en la densidad del follaje, lo que aumenta la iluminación de las yemas basales y, por consiguiente, su fructificación, efecto que se manifiesta en la siguiente temporada (Huglin, 1986). Entonces si el déficit hídrico es regulado para que coincida con el período de la inducción, la fertilidad de las yemas podría mejorarse por desviación de fotosintatos desde el ápice del brote hacia primordio floral en desarrollo. Lo anteriormente señalado por Smart (1974), es

confirmado, en cierta medida, por una investigación realizada por Mathews y Anderson (1989), donde un tratamiento con déficit hídrico temprano tuvo aproximadamente 27% de flores, lo que fue levemente mayor que 22,1 y 19,7% en tratamientos de riego continuo y con déficit hídrico tardío respectivamente, sin embargo, el autor indica que el porcentaje de cuaja no difiere estadísticamente entre los distintos tratamientos de riego.

2.3.2.2. Crecimiento y desarrollo de la baya

El tamaño de la baya es un importante factor de calidad en uvas para la elaboración de vinos tintos, dado que la fermentación alcohólica se realiza en conjunto con los orujos. Bayas que presenten una alta relación cutícula / pulpa son preferidas para mejorar la intensidad de coloración del vino, dado que la película contiene la mayoría de los compuestos responsables del color, sabor y aroma (Gurovich, 2002). El tamaño de la baya se reduce frente a un déficit hídrico, lo que puede disminuir la dilución de los solutos en el mosto (Mathews y Anderson, 1988). El volumen de bayas, según este mismo autor, fue mayor en un 31% en el tratamiento con riego continuo comparado con el déficit hídrico tardío y en un 39% con respecto a un déficit hídrico temprano.

Las bayas pasan por varias etapas o períodos de desarrollo, siguiendo una curva típica de crecimiento doble sigmoidea (Mathews et al., 1987). De acuerdo con Van Zyl, citado por Ojeda et al. (2004), es importante realizar aportes de agua ajustados a los distintos estados fenológicos, para obtener un crecimiento, rendimiento y calidad óptima de uvas.

Etapa I: corresponde al período herbáceo y está comprendida entre la formación de las bayas y la pinta. Durante esta etapa se produce una fuerte competencia entre los frutos en formación, las yemas en inducción y los brotes vegetativos que no han detenido su crecimiento. El principal cambio que ocurre en la baya es un rápido aumento del tamaño (52% de su peso máximo), tanto por multiplicación celular del pericarpio como también por elongación celular. En cuanto a la concentración de azúcares, ésta permanece casi constante y la acidez se mantiene alta (Winkler 1980, Ojeda et al. 1999). La acumulación de azúcares en esta fase determinará la existencia de materias primas para la posterior síntesis de moléculas complejas responsables de aromas, colores y sabor (Huglin, 1986). De acuerdo con Champagnol (1984), esta fase dura 25 a 45 días, (5 a 6 semanas para bayas con semillas; 3 a 4 semanas para sultaninas apirenas).

- Etapa II: corresponde a la pinta o envero (Ribéreau-Gayon, 1982). En esta etapa, el crecimiento es muy lento o se detiene (Mathews et al.,

1987a). Se caracteriza por un cambio de color en los cultivares tintos o una apariencia translúcida de las bayas en los cultivares blancos (Ribéreau-Gayon, 1982). El cambio fundamental que se produce en esta etapa es un rápido aumento de la concentración de azúcar. Además, se inicia la acumulación de compuestos fenólicos en la película y la degradación de ácidos. Este período dura aproximadamente 10 a 15 días (Peynaud, 1989).

- Etapa III: corresponde a la madurez. En este período las bayas se ablandan y adelgazan sus paredes dermales; asimismo, los cambios en concentración de azúcar y acidez ocurren con mucha mayor rapidez, aumentando la concentración de los sólidos solubles de 4 a 22° Brix, dependiendo del cultivar. En condiciones de clima mediterráneo, este aumento se compensa con una entrada de agua a la baya, disminuyendo la acidez total, de 38 a 42 g/L hasta 4 a 7 g/L en equivalentes de ácido tartárico. Esta disminución es debida a dilución, neutralización de ácidos con cationes, aumento de la movilización de bases, especialmente potasio, y combustión respiratoria. Además, los niveles de nitrógeno también presentan un aumento de 2 a 5 veces, en relación a su concentración antes de envero (Champagnol, 1984). Para mantener un buen equilibrio acidez / sólidos solubles, la planta debe continuar produciendo azúcares, los cuales abastecerán con energía a los procesos metabólicos de síntesis de compuestos responsables de las propiedades organolépticas del fruto. Por esta razón, este período requiere aún de aceptables niveles de radiación solar y de temperaturas nocturnas frescas, que tienden a frenar el crecimiento vegetativo, permitiendo la translocación de los glúcidos hacia los frutos. La continuación del crecimiento vegetativo en esta etapa retarda la madurez y disminuye los aromas y colores de la baya (Huglin, 1986). En esta etapa, el crecimiento de la baya ocurre principalmente por elongación celular (Winkler 1980, Champagnol 1984, Ojeda et al. 1999), fenómeno posible por la extensibilidad plástica de la pared, que disminuye al final de esta etapa, pudiendo deberse al endurecimiento de la pared celular dermal. La duración de esta fase es aproximadamente 5 a 6 semanas (Champagnol, 1984).
- Sobremadurez: en esta etapa ocurre una disminución en la calidad de la baya, produciéndose un aumento de la concentración de azúcar por deshidratación y hay una desaparición progresiva del ácido málico, al aumentar la combustión respiratoria. En una etapa más avanzada de sobre - madurez, se produce una pérdida de antocianinas y aparecen hongos en las bayas (Peynaud, 1989).

El déficit hídrico reduce el crecimiento de la baya, sin influir en la curva de crecimiento doble sigmoidea (Smart et al. 1974, Matthews et al. 1987, Matthews et al. 1988, Gurovich 2002), pero sí influye en el comienzo y la duración de cada una de las fases de desarrollo o etapas fenológicas (Ojeda et al., 1999). En caso de que el déficit hídrico ocurra durante la etapa I de la curva de crecimiento, se reduce el tamaño final de la baya de una forma más intensa que si un déficit de la misma intensidad ocurre en las etapas II y III de crecimiento. El déficit durante la etapa I no altera el momento de iniciación de la segunda etapa y su efecto sobre el tamaño final de la baya es irreversible (Smart et al. 1974, Matthews et al. 1988, Gurovich 2002, Ojeda et al. 2002). Según Puyo (1992), esto se puede demostrar al comparar un tratamiento sin riego entre floración y pinta y otro sin riego entre floración y cosecha, donde el diámetro de bayas no cambia. Sin embargo, otros autores indican que el déficit hídrico precoz modifica el inicio y la duración de la etapa II decrecimiento (Ojeda et al., 1999a). Debido a que en la etapa III se produce la acumulación de azúcar en forma paralela a la entrada de agua a la baya, no es conveniente una restricción hídrica severa durante este proceso (Gurovich, 2002). Un déficit hídrico después de la pinta, no provoca una disminución en el tamaño final de las bayas y sus efectos pueden ser reversibles (Ojeda et al., 1999a). Además, Carbonneau (2001), propone reducir el riego en esta etapa con el fin de evitar una nueva brotación de la planta en ese momento.

2.3.2.3. Efecto del estrés hídrico sobre la multiplicación y la elongación de las células del pericarpio de la baya

La cantidad de ADN total del pericarpio de las bayas permite cuantificar en forma indirecta la cantidad de células y el período de actividad mitótica. La evolución del ADN indica que la reducción en el número y tamaño de las células del pericarpio como efecto de un déficit hídrico, se debe a una disminución en el volumen de éstas y no, a efectos debidos a la multiplicación celular (Ojeda et al, 1999a). La cantidad de ADN total y la multiplicación celular no son afectadas con el déficit hídrico precoz, ya que la mayor actividad mitótica ocurre antes del día cinco después de la antesis, en el cultivar Syrah. El aumento del ADN total comienza treinta y cinco días después de antesis, en forma no lineal, acumulándose el 75% antes del día veinte. A partir de este estado, la cantidad de ADN se mantiene constante hasta el fin del crecimiento (Ojeda et al., 1999a). Sin embargo, otros autores señalan que con un déficit hídrico temprano, el potencial de la baya para crecer es limitado, debido a una disminución tanto en el número de células como en su expansión, ya que la división celular ocurre antes de floración y es completada al final de la primera etapa de crecimiento (Matthews et al. 1987, Matthews et al. 1989). Esto se demuestra en un estudio realizado por Ojeda (1999), donde el volumen celular es reducido 46,7% con un déficit hídrico severo entre floración y envero, un 27,8% con un déficit hídrico

medio durante este mismo período y un 11,4% con un déficit hídrico severo entre envero y cosecha.

Sin embargo, otros autores como Ojeda et al. (2004), indican que es recomendable mantener el nivel hídrico lo más alto posible en la fase I, para asegurar el máximo de formación de bayas y de división celular. Es importante destacar que existen diferencias varietales ante la sensibilidad al déficit hídrico temprano, por ejemplo, en el cultivar Cabernet franc el 75% del crecimiento está determinado al finalizar la etapa I, a diferencia del cultivar Colombard, que es menos sensible ya que el crecimiento se distribuye por igual a lo largo de las tres etapas (Matthews et al., 1989).

El efecto del déficit hídrico precoz sobre el volumen celular es irreversible. Esto se explica por un cambio en el metabolismo, que modifica la estructura de la pared celular y conduce a la pérdida de su extensibilidad (Ojeda et al., 1999a). Las estructuras básicas responsables de la extensibilidad se elaboran en la fase I, por lo que un déficit durante esta etapa, altera la organización de las estructuras de la pared y, por este motivo, la elongación en la fase III, ya que ésta depende de las estructuras básicas sintetizadas previamente. El incremento de la extensibilidad de la pared está asociado con la actividad de las enzimas degradadoras, como la poligalacturonasa, que disminuyen su actividad en condiciones de déficit hídrico (Matthews et al. 1987, Ojeda et al. 1999a). Sin embargo, el efecto del déficit hídrico en la elongación y división celular del pericarpio es un proceso que aún no es bien conocido (Ojeda et al., 1999a).

2.3.3. Rendimiento

Existen diferencias en el rendimiento debido al déficit hídrico, dada su influencia en el crecimiento y desarrollo reproductivo; generalmente, estos efectos son más acentuados en las siguientes temporadas de producción (Matthews et al., 1989). El rendimiento está directamente relacionado con la severidad y duración del déficit hídrico (Matthews et al. 1987, Ginestar et al. 1998) y se ve disminuido en forma más acentuada, por déficits antes del envero, especialmente entre los períodos de floración y envero, que por restricciones posteriores, debido a que la iniciación y el desarrollo floral son altamente sensibles al déficit hídrico (Ginestar et al, 1998).

Respecto a este tema Gurovich (2002), indica que con restricciones entre brotación y floración se obtienen los mayores rendimientos, postulando que la eficiencia de sumidero de los brotes es inhibida (sink), lo que permite que el racimo pueda competir en forma más favorable por fotosintatos. Matthews et al. (1989), indica que frente a un déficit hídrico temprano, el rendimiento disminuye 20% y en condiciones de déficit hídrico tardío disminuye en un 10%, en

comparación con un testigo regado sin restricciones hídricas. En caso de comparar un tratamiento con riego y otro sin riego a lo largo de la temporada, el rendimiento en este último se ve disminuido en aproximadamente un 57%, de acuerdo con Bravdo (1985) y en un 75,6% de acuerdo con Gurovich (2002).

Según Naor et al. (1994), los mayores efectos del régimen hídrico en el rendimiento y la composición de la uva son indirectos y están más relacionados a alteraciones en el crecimiento vegetativo, en la arquitectura del follaje y en la carga. La razón más probable para esta variabilidad en la respuesta del régimen hídrico para distintos estudios, es el grado de déficit hídrico experimentado por las viñas, ya que éste es desuniforme para los distintos ambientes y es dependiente de la relación área foliar/ peso de fruta (carga) (Ginestar et al., 1998).

Existe una interacción entre la carga y la disponibilidad hídrica, viéndose deteriorada la calidad de la uva tinta en condición de sobrecarga y beneficiada con carga baja sin restricción hídrica, pero óptima con carga moderada y riego ligeramente deficitario (75% ETC real) (Gurovich, 2002). Respecto a la carga, es importante señalar que existe un nivel específico que una parra puede mantener, sin retrasar su maduración o afectar su calidad.

La carga frutal resulta afectada por el déficit hídrico, a través de una reducción en la diferenciación de las yemas frutales que sólo se hará presente en la siguiente temporada de producción, por el crecimiento vegetativo y por el tamaño de la baya (Bravdo et al. 1985, Matthews et al. 1988, Gurovich 2002). Se observó un comportamiento similar con aplicación de riego excesivo (Bravdo et al., 1985). Sin embargo, con la alta disponibilidad de agua, sin alcanzar la saturación del suelo, se obtienen los mayores rendimientos (Smart et al. 1974, Nadal et al. 1995, Gurovich, 2002).

Según Smart et al. (1974), en viñas con alta disponibilidad hídrica el peso de racimos es significativamente mayor, a diferencia de parras sometidas a condiciones de déficit hídrico, situación en la que la disminución en el tamaño de los racimos se debe a una reducción tanto en el peso como en el número de bayas. Matthews et al. (1989), en relación al peso de bayas en el momento de la cosecha, señala que éste se ve reducido en aproximadamente un 20% con déficit hídrico temprano y en 16% con un déficit hídrico tardío, respecto a un viñedo regado. No obstante Ojeda et al. (1999a), señala que el peso de baya con déficit hídrico temprano se redujo aproximadamente en un 50%, en relación a un testigo regado. Se destaca además que en tratamientos extremos de riego, es decir, sin restricción hídrica o con restricción continua, el peso y el diámetro de bayas difiere en 64,3% y 28,6% respectivamente (Gurovich, 2002). Con

déficit hídrico el componente del rendimiento más afectado fue el número de bayas (Bravdo et al., 1985).

2.3.4. Maduración de la baya

La composición química de la baya y su proceso de maduración son alterados por el crecimiento vegetativo (iluminación, temperatura y potencial hídrico de la hoja, entre otros) y por el rendimiento, los que se relacionan en forma directa con la disponibilidad hídrica (Winkler 1980, Gurovich 2002). En el caso de un déficit hídrico severo durante la maduración, especialmente durante la etapa II, se retrasa el proceso de la madurez (Nadal et al. 1995, Gurovich 2002), otorgando al fruto un color opaco y, con frecuencia, permitiendo quemaduras del sol sobre la cutícula de las bayas. Este retraso se debe a que la fase III comienza cuando el déficit en la fase II finaliza, independientemente de la fecha de inicio del envero (Ojeda et al., 1999a). Si la restricción es ligera, poco antes de que se alcance la maduración (fase III), ésta se produce en forma más acelerada, adelantando la madurez de cosecha, el desarrollo del color y la acumulación de azúcar. Esto se debe probablemente al limitado crecimiento de los brotes y a su tendencia a reducir el tamaño de las bayas, lo cual aumenta la concentración de azúcar del mosto (Winkler 1980, Bravdo et al. 1985, Hepner et al. 1985).

La época en que se alcanza la madurez también es influida por la textura del suelo. Los suelos de diferentes texturas contienen cantidades de agua almacenada variables (Ribéreau-Gayon, 1982). Esto puede verse influido por el tamaño de los poros constituyentes de los distintos tipos de suelos, por ejemplo, los suelos arcillosos están constituidos en una mayor proporción por microporos, los cuales tienen la función de retener el agua por capilaridad, a diferencia de los suelos arenosos, que están formados en su mayoría por macroporos, los que se encuentran llenos de aire y permiten y condicionan la permeabilidad y penetración de las raíces (Hidalgo y Candela, 1969). En el caso de suelos arenosos la madurez se adelanta, no así en suelos arcillosos, donde se retrasa (Winkler 1980, White 2003). No obstante, Tomasi et al. (1999), destacan que en suelos arcillosos la velocidad de maduración se ve favorecida, probablemente debido a la mayor actividad fotosintética, dada una mayor superficie foliar. La plena disponibilidad de agua cerca de la madurez de cosecha disminuye la calidad del vino. Esto ocurre principalmente en las variedades tintas, pero no así en las blancas, donde la calidad está más bien referida a las sustancias gustativas y aromáticas, que a los fenoles (Ferreira et al., 2003). Un exceso o déficit de agua y un bajo nivel de carga generan un retraso en la madurez de cosecha, debido al sombreado y por competencia entre el crecimiento vegetativo y el desarrollo de las bayas, resultando en una

baja acumulación de azúcar (Smart 1985, Bravdo et al. 1985, Nadal et al. 1995).

2.3.4.1. Sólidos solubles

La mayor parte de los glúcidos se fabrica en las hojas (fuente productora), aunque las bayas mientras están verdes, contribuyen algo a dicha fabricación. En el caso de la vid se ha encontrado una estrecha relación entre el transporte de agua y de glúcidos al fruto a partir del envero (Champagnol 1984, Coombe 1987). Estos glúcidos se traslocan a través del floema hacia las fuentes consumidoras como, por ejemplo, los tejidos en crecimiento o hacia las zonas de reserva (Winkler 1980, Andrades 1990). Al inicio de la temporada de crecimiento se produce un acelerado desarrollo vegetativo que utiliza los glúcidos, cuya repartición gatilla una competencia con el crecimiento de las bayas. Una vez que éstas alcanzan entre un 50 y un 75% de su tamaño final, el crecimiento activo se detiene, no obstante las hojas continúan su funcionamiento y los glúcidos que comienzan a acumularse en éstas y en las partes leñosas de la vid, son traslocados hacia el fruto, donde hay una rápida formación de azúcares (Winkler 1980, Andrades 1990).

Según Gurovich (2002), numerosos autores señalan que el potencial sumidero de la baya estaría determinado durante la etapa I de crecimiento, y aparentemente determina la cantidad de glúcidos traslocados al racimo, independiente del déficit hídrico ocurrido en cualquier momento durante la temporada de producción, después de la etapa I. Además, la capacidad de las vides bajo condiciones de déficit hídrico para madurar en forma similar a plantas irrigadas, parece indicar que las alteraciones en las relaciones fuente - fosa pueden ser capaces de superar los efectos negativos del déficit hídrico.

El contenido de sólidos solubles totales en las bayas aumenta más temprano y más rápido en vides con alimentación hídrica no limitante que en aquellas en déficit hídrico (Nadal et al. 1995, Gurovich 2002). No obstante, Freeman y Kliewer (1983), indican que en vides sin limitaciones hídricas se retrasa la acumulación de sólidos solubles, lo que puede explicarse dada la competencia por fotosintatos entre los brotes y la fruta. En caso de una restricción hídrica severa, el contenido de sólidos solubles disminuye, aunque su concentración puede aumentar por deshidratación, presentando efectos similares en caso de una sobre aplicación de agua (Bravdo et al., 1985).

Con un déficit hídrico entre brotación y envero, debido a una disminución en el tamaño y número de las bayas, y con agua no limitante entre envero y cosecha, tanto los sólidos solubles como el grado alcohólico se incrementan (Matthews et al. 1988, Puyo 1992, Gurovich 2002). Sin embargo, Bravdo et al.

(1985), señalan que las diferencias en grado alcohólico en distintos contenidos hídricos del suelo, si bien son significativas, son pequeñas. Además, existen algunos estudios que señalan que el déficit hídrico después del envero causó las mayores reducciones en sólidos solubles totales (Hepner et al. 1985, Matthews et al. 1988, Ginestar et al. 1998), mientras que el déficit hídrico antes del envero tuvo un pequeño efecto en ellos (Goodwin et al., citados por Ferreyra et al., 2003).

2.3.4.2. Acidez y pH

Los ácidos orgánicos contribuyen a la calidad de la uva cosechada (Gurovich, 2002); entre estos, los ácidos tartárico y málico constituyen más del 90% del total de los ácidos orgánicos presentes en el mosto (Winkler, 1980). El período más sensible al déficit hídrico respecto a la acidez corresponde al período entre cuajado y envero (Hepner et al., 1985). El déficit hídrico, especialmente antes del envero e independiente del estado hídrico durante la madurez, disminuye la acidez titulable, por una reducción de la concentración de ácido málico, ya que se ha comprobado que el ácido tartárico no es afectado o incluso presenta un leve aumento (Hepner et al. 1985, Bravdo et al. 1985, Matthews et al. 1988, Gurovich 2002). La reducción del malato puede atribuirse a una mayor exposición de los racimos a la luz, lo que aumenta la temperatura y, en consecuencia, la tasa respiratoria (Winkler 1980, Ginestar et al. 1998, Gurovich 2002). Las pérdidas de malato pueden ser balanceadas por disminuciones similares de cationes estabilizantes o por acumulación de otras moléculas acídicas. El resultado de los cambios relativos de la concentración de estos dos ácidos, generalmente aumenta la relación tartrato/ malato, que es determinante en la acidez total del mosto y del vino, a pesar de existir diferencias varietales en este comportamiento (Winkler 1980, Matthews et al. 1988).

Con déficit hídrico después de envero, según Ginestar et al. (1998), no hay diferencias entre tratamientos sin déficit hídrico y tratamientos con períodos de déficit hídrico en el transcurso del ciclo de la vid. Sin embargo, Matthews et al. (1988), señalan que un déficit tardío genera una acidez titulable mayor, en comparación a un déficit hídrico temprano o un tratamiento sin restricción hídrica, a su vez éste presenta una mayor acidez titulable que un tratamiento con déficit hídrico moderado temprano (Matthews et al., 1988); además, la acidez total no se vio afectada por un aumento en la duración del déficit hídrico. Este mismo parámetro en caso de una restricción hídrica severa se ve disminuido, ocurriendo lo contrario en el caso de un exceso de agua (Bravdo et al., 1985), donde se favorece la concentración de ácidos en las bayas, la que se debe particularmente a una mayor síntesis, migración y estabilidad del ácido

tartárico en estas condiciones, compensándose así su dilución al aumentar el tamaño de la baya (Daan Koegelenberg, 2003).

El pH del vino y del mosto es un importante parámetro de estabilidad, siendo los vinos de pH altos más propensos al desarrollo de microorganismos (Winkler 1980, Somers, citado por Mpelasoka et al. 2003). La información que existe respecto a su comportamiento frente a un déficit hídrico es controvertida (Matthews et al., 1988), generando la mayoría de las veces efectos marginales. En consideración a lo anterior, la variación del pH del mosto no es muy sensible al estado hídrico de la planta, no difiriendo en más de 0,06 unidades de pH entre parcelas y puede ser debida al sitio o a la variedad (Matthews et al., 1988).

La ausencia de restricción hídrica puede tener un efecto en el pH del mosto, al igual que en el pH del vino, donde presenta un aumento en algunos cultivares, pero no así en otros (Matthews et al. 1988, Nadal et al. 1995, Ginestar et al. 1998, Gurovich 2002). Según algunos autores, en el caso de una restricción hídrica severa, el pH se ve disminuido (Bravdo et al. 1985, Mpelasoka et al. 2003). Sin embargo, Ginestar et al. (1998), señalan que con un déficit hídrico entre envero y cosecha, el pH obtenido es mayor, debido a la degradación del ácido málico o posiblemente por la mayor translocación del potasio desde las hojas hasta las bayas, lo que aumenta el intercambio del potasio por protones, aumentando el pH de la baya en 0,2 unidades en el cv. Carignan (Freeman et al., 1983). Según este mismo autor, el déficit hídrico es una herramienta útil para superar problemas de alto pH.

2.3.4.3. Polifenoles

Los compuestos fenólicos y antocianos, los cuales son extraídos de los hollejos, semillas y raquis durante la molienda, estrujado y fermentación, son el componente tánico del vino que imparte amargor y astringencia. Los antocianos son el principal componente del color de los vinos tintos. El rango de fenoles presentes y sus concentraciones, son importantes determinantes del sabor (Jackson y Lombard, 1993).

La biosíntesis de compuestos fenólicos depende aparentemente del nivel y período del déficit hídrico transcurrido, de la variedad, madurez, condiciones estacionales y nivel de carga (Winkler 1980, Matthews et al. 1988, Nadal et al. 1995, Ojeda 1999, Ojeda et al. 2002). No obstante, el rol del déficit hídrico en la síntesis de distintos compuestos fenólicos y sus posibles consecuencias en las propiedades sensoriales del vino, está aún en discusión. Algunas investigaciones señalan que la restricción hídrica, antes o después de envero (Ginestar et al., 1998), principalmente entre floración y envero, aumenta la concentración de fenoles y de antocianos (Matthews et al. 1989, Ojeda et al.

2002), especialmente en las bayas de menor tamaño de la variedad Cabernet sauvignon. Sin embargo, la uva originaria de la restricción hídrica temprana es más rica en flavonoles, mientras que aquella resultante de la restricción tardía es particularmente más rica en antocianos (Ojeda et al., 2002).

Respecto a los antocianos, que son los principales contribuyentes del color de los vinos tintos, su acumulación comienza a partir del envero, y existen factores que pueden influir en la biosíntesis de los precursores de los antocianos, incluso con una intensidad mayor que el efecto similar atribuible al aumento de la relación cutícula / pulpa (Ojeda, 1999). De acuerdo con Bravdo (1984), la biosíntesis de antocianos está directamente relacionada con la acumulación de azúcar y el nivel de sombreado, y con respecto al nivel de antocianos en el vino, influye además el nivel de extracción de pigmentos de la película, según la formación de alcohol en el curso de la fermentación alcohólica. Sin embargo, Tomasi et al. (1999), aclaran que las sustancias colorantes están ligadas a la acumulación de azúcar, pero la correlación entre ambas no es lineal. Estos autores señalan además que la producción de antocianos totales está estrechamente relacionada a la condición hídrica del suelo y, por consecuencia, de la planta.

Según Deloire et al. (2003), un déficit hídrico medio y severo entre cuajado y envero puede bloquear algunas biosíntesis de compuestos en forma más tardía. Sin embargo, respecto a estos temas, no hay uniformidad en los criterios de los investigadores (Gurovich, 2002). Debido al aumento de la relación película/pulpa, la concentración de los distintos compuestos fenólicos está directamente relacionada a la intensidad y período de déficit hídrico (Matthews et al. 1988, Gurovich 2002). Según Nadal et al. (1995), la concentración de antocianinas en las bayas es mayor en vinos con déficit temprano (Gurovich, 2002), media en vinos con déficit tardío y baja en vinos sin déficits hídricos. Esto es confirmado por un estudio de Matthews et al. (1988), en el cual la concentración de antocianos en el momento de la cosecha es un 26% mayor en el tratamiento con déficit temprano y solo un 9% mayor en el tratamiento déficit tardío, en relación con una parcela sin restricciones. Según Freeman et al. (1983), la concentración de antocianos es 44% superior en vides regadas en relación con aquellas no irrigadas; sin embargo, Ginestar et al. (1998), señalan que la cantidad de antocianos disminuye con déficit hídrico después de envero.

Es importante destacar que el requisito más importante en la síntesis de antocianos es la luz. Además, se considera que una alta relación hoja - fruto, que no reduzca la irradiación, es muy positiva. También cabe señalar que tanto el etileno como el ácido abscísico (ABA) han promovido su síntesis en uvas inmaduras (Ferrer y González-Neves, 2002).

Los fenoles contribuyen a la astringencia y amargor de los vinos y a sus características de envejecimiento (Matthews et al. 1988, Gurovich 2002). De acuerdo con Gurovich (2002), déficits hídricos tempranos y tardíos son similarmente efectivos en el aumento del contenido total de fenoles, en aproximadamente 33%. Sin embargo, según Ginestar et al. (1998), la cantidad de fenoles totales disminuye con un déficit hídrico post-envero en el cultivar Syrah y en condiciones hídricas no limitantes, en un 22% aproximadamente (Nadal et al., 1995). Resultados similares han sido publicados para otros cultivares. En condiciones de déficit hídrico moderado hay un aumento en la concentración fenólica, debido a la disminución del volumen de la fruta y al aumento de los extractos dèrmicos, que tienen un rol prominente en la determinación del color, amargor y astringencia de los vinos (Matthews et al., 1988). Según este mismo autor, la concentración fenólica es 30 y 15% mayor en los tratamientos con déficit hídrico temprano y tardío respectivamente, en relación con el testigo sin restricciones hídricas.

Según Ojeda et al. (2002), la biosíntesis de taninos es menor cuando el déficit hídrico es severo y ocurre entre floración y envero, en comparación tanto a un déficit medio durante el mismo período, como en relación con un déficit severo entre pinta y maduración. El déficit hídrico parece aumentar el nivel de polimerización de los taninos; sin embargo, según Nadal et al. (1995), la concentración de taninos disminuye en condiciones de riego continuo. Respecto a los compuestos antioxidantes, la síntesis del resberatrol se ve favorecida por iluminación solar directa de los racimos, lo que puede ser promovido indirectamente por el déficit hídrico, ya que éste disminuye el crecimiento vegetativo (Jackson y Lombard, 1993).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. CARACTERIZACIÓN DEL ECOSISTEMA VITÍCOLA

3.1.1. Geología

Según la Carta Geológica del Uruguay a escala 1:500.000 (Bossi 1966, Bossi et al. 1998) los materiales geológicos existentes en la zona corresponden a la Formación Fray Bentos (Bossi, 1966). Dicha formación sedimentaria aparece en la zona Sur del país dominada por areniscas muy finas y limos gruesos. Su color bastante homogéneo en tonos anaranjados, pardo anaranjados o pardo rosados se debe a la presencia de óxido de hierro hidratado.

La Formación presenta un contenido de CaCO_3 variable, en forma de concreciones de diversas formas y tamaños o disperso en la masa sedimentaria (Bossi, 1966).

Según Duran (1985), casi todas las rocas sedimentarias precuaternarias de texturas más finas dan origen, en mayor o en menor proporción, a suelos melánicos.

3.1.2. Tipos de suelos

El viñedo está implantado sobre suelos pertenecientes a la Unidad Tala - Rodríguez de la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay escala 1:1.000.000 (URUGUAY. MGAP, 1976). Los suelos dominantes en dicha Unidad son los Brunosoles Éútricos Típicos / Lúvicos de textura limosa o limo-arcillosa, y Vertisoles Rúpticos Lúvicos de textura limo-arcillosa. Como suelos asociados aparecen Brunosoles Subéútricos típicos y lúvicos, Argisoles y Planosoles de textura limosa.

3.1.3. Relieve

El relieve dominante en la zona de estudio es suavemente ondulado a ondulado, con interfluvios ligeramente convexos o aplanados y laderas ligeramente convexas con pendientes de 1 a 3 %. Los Brunosoles y Vertisoles ocupan las laderas ligeramente convexas, mientras que los Argisoles y Planosoles ocurren en los interfluvios ligeramente convexos.

3.1.4. Vegetación

La vegetación espontánea en la zona es de pradera con predominio de especies de primavera-estivales. Mayormente, esta zona se encuentra bajo cultivos hortícolas y frutícolas.

3.1.5. Información climática

Los valores fueron obtenidos de la estación meteorológica de la zona perteneciente a la Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (período 1970 -2004), (Cuadros 3 y 4).

Cuadro 3. Temperatura media.

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
media °C	22,8	21,9	20,3	16,9	13,4	10,6	9,9	11,0	12,6	15,9	18,4	21,4

Cuadro 4. Heladas.

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
D. con/heladas	0	0	0	0	1	3	4	4	1	1	0	0

Precipitaciones y Evapotranspiración.

Para la caracterización del régimen de precipitaciones de la zona se utilizan una serie de datos de 30 años provenientes de la Estación Meteorológica del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, la cual se presenta resumida, (Cuadro 5).

Cuadro 5. Precipitaciones y evapotranspiración mensual para la zona sur.

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
PP (mm)	87,7	99,5	91,7	85,0	93,0	82,0	94,9	82,7	95,4	100,0	97,4	78,3

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
ETP(mm)	200	157	120	70	43	27	31	51	70	104	145	188

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
PP - ETP	-112	-57	-28	15	50	55	64	32	25	-4	-48	-112

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
PP / ETP	0,44	0,64	0,77	1,21	2,16	3,04	3,07	1,63	1,36	0,96	0,67	0,41

3.2. INSTALACIÓN DEL ENSAYO

3.2.1. Ubicación del ensayo

Se realizó en un viñedo comercial de 17 años de edad, ubicado en la zona sur de Uruguay, departamento de Canelones, en la zona de Cuatro Piedras. Se

seleccionaron dos parcelas del cv. Tannat ubicadas sobre una ladera expuesta al Norte, con una pendiente media de 2 % y distantes 300 metros una de la otra. La primera parcela está situada en la zona convexa de la ladera alta, sus coordenadas son 34° 37' 60'' S; 56° 16' 26'' W y 41 m de altitud s.n.m. La segunda parcela en la parte baja y cóncava de la misma ladera con coordenadas 34° 37' 53'' S; 56° 16' 28'' W y una altitud media de 35 m s.n.m.

3.2.2. Características del viñedo y del material vegetal

Ambas parcelas son del cultivar Tannat (*Vitis vinifera* L.) del clon 398. Injertadas sobre SO4 (*Vitis berlandieri* P. x *Vitis riparia* M.). El sistema de conducción es la Lira abierta, con un marco de plantación de 1,00 m entre plantas y 3,10m entre filas. La densidad de plantación resultante es de 3226 plantas por hectárea. Las filas están orientadas en sentido Norte- Sur y en dirección a la máxima pendiente de la ladera.

La poda es tipo Guyot doble, un cargador de 7 yemas a cada lado de la planta se disponen en forma bilateral (direcciones opuestas). En posición inferior a cada cargador se insertan pitones de renuevo de una yema a la vista, con lo que el número total de yemas por planta es de 16. Ambas parcelas reciben el mismo manejo fitosanitario, de poda invernal y manejos en verde. Los manejos en la entrefila y fertilización también son idénticos.

3.2.3. Elección de parcelas y diseño del ensayo

Se seleccionaron dos parcelas tratando de abarcar la mayor diferencia posible en cuanto a su posición topográfica, sobre una ladera expuesta al Norte. Fueron seleccionadas 50 plantas sobre cada una de estas dos parcelas. Las plantas homogéneas en cuanto a su vigor (igual diámetro de tronco y con estructuras productivas completas) se encuentran distribuidas sobre 2 filas internas en cada parcela, de manera de eliminar los efectos de la caminería.

3.2.4. Análisis estadístico

Se realizaron comparaciones de medias mediante el test de Tukey, con un nivel de significancia del 5%. Para ello se utilizó el paquete estadístico The SAS System.

3.3. EVALUACIONES SOBRE EL SUELO

3.3.1. Descripción del perfil del suelo

Los perfiles de suelo en ambas parcelas se describieron mediante la excavación de fosas pedológicas. Éstas fueron de forma aproximadamente

cúbica de 1,3 metros de arista, de manera de alcanzar el horizonte C, abarcando la zona próxima a la fila de plantas donde la densidad de raíces es mayor.

La descripción se realizó según la metodología propuesta por (Kaplan et al., 2001). El color en húmedo de las diferentes capas se determinó utilizando una carta de colores Munsell Soil Color Chart 50215.

Se extrajeron 10 submuestras para completar 2,5 Kilogramos de suelo por cada horizonte cada horizonte para su posterior análisis físico-químico en laboratorio.

3.3.2. Propiedades físicas

La *textura* se determinó en laboratorio por el método de Bouyoucos, (Bouyoucos, citado por León, 2001).

La determinación de la densidad aparente se realizó en forma directa. Mediante la excavación de una calicata, para cada una de las parcelas se obtuvo el acceso para la extracción de muestras imperturbadas de cada uno de los horizontes del perfil de suelo.

Se utilizó un calador de maceta con anillos metálicos. Los anillos fueron introducidos de manera perpendicular a la pared de la calicata y se tomaron 3 muestras por horizonte. Por definición la densidad aparente se obtuvo mediante el cociente entre el peso seco de la muestra a 105° C y su volumen imperturbado.

3.3.3. Propiedades hídricas

La infiltración es definida como la entrada vertical de agua en el perfil del suelo. El conocer el dato de infiltración resulta importante a la hora de elegir un sistema de riego y para el diseño del mismo. En el caso de sistemas ya instalados, el conocer la variación de infiltración en el tiempo y la infiltración básica (valor final constante) permite mejorar el manejo del riego. La tasa de infiltración del horizonte Bt del suelo es determinada en forma directa por la metodología del doble anillo concéntrico descrita en Methods of Soil Analysis (1986). Para ello se procedió a la eliminación del horizonte superficial (A) para dejar expuesto el horizonte sub-superficial Bt.

La tasa de infiltración es definida como la cantidad de agua que pasa por una unidad de área de superficie del suelo por unidad de tiempo.

La *curva de tensión* de agua en el suelo permite conocer el contenido volumétrico de agua a distintas profundidades y a diferentes tensiones. Estos datos sirven de apoyo al manejo del riego en la medida que se conoce el comportamiento de las curvas en las distintas profundidades, la cantidad de agua que el suelo puede retener luego de una lluvia o riego, y cuanta de esa

agua queda disponible para las plantas. La metodología utilizada es la descrita en *Methods of Soil Analysis* (1986).

La relación entre la humedad volumétrica y el potencial matricial fue descrito por el modelo de Van Genuchten (1980), siendo el ajuste de las curvas realizado a través del programa *Curvaret* desarrollado por la Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz" (ESALQ), Universidad de São Paulo, Brasil (Reichert et al., 2003).

A partir de dichas curvas de tensión se estimó el contenido de agua a diferentes tensiones (Durán, 2000), fundamentalmente las que corresponden a contenido de agua en saturación (0 cm), capacidad de campo (100 cm) y punto de marchitez permanente (15000 cm), con 100 cm de H₂O = 0,1 Bar.

3.3.4. Evolución del contenido hídrico del suelo

El contenido hídrico del suelo fue medido por el método gravimétrico, a intervalos de 12 días aproximadamente, conjuntamente con las determinaciones de estado hídrico de la planta. En caso de ocurrir precipitaciones superiores a 30 mm, se repitió el muestreo a las 72 horas del evento, asegurándose que opere el drenaje profundo.

Para cada parcela se definieron 3 estaciones de medida, de manera de abarcar la variabilidad edáfica a lo largo de la pendiente. En cada una de las estaciones se midió el contenido de agua a tres profundidades: 0 a 20 cm.; 20 a 40 cm.; 40 a 60 cm. de profundidad. De esta manera se obtuvieron medidas de contenido hídrico para cada situación topográfica para 3 profundidades por triplicado.

Con un taladro Hedelman se extrajeron las muestras de suelo y se colocaron en recipientes de aluminio con tapa, de 400 cc. de capacidad, los cuales fueron rotulados y sellados inmediatamente. Dentro de cada estación de muestreo y para cada profundidad, se obtuvo una muestra compuesta por 3 sub-muestras para cada profundidad y estación.

En laboratorio se determinó el peso húmedo de las muestras, secándose posteriormente en una estufa a 105° centígrados por un período de 48 horas; obteniéndose de esta forma el peso seco. Se utilizó para las medidas una balanza de precisión Sartorius modelo LP620S.

El contenido de humedad del suelo fue expresado como % del peso seco (H % PS) obteniéndose mediante el cociente entre el peso de agua en la muestra y el peso de la muestra seca a 105° C.

El peso de agua en la muestra se obtiene por diferencia entre el peso húmedo y seco de la muestra.

Para expresar el contenido de agua como porcentaje en volumen (H % V) se multiplicó el contenido de agua expresado como (H % PS) por la densidad aparente del suelo para cada profundidad de muestreo.

3.3.5. Evolución de la temperatura del suelo

Mediante la perforación de hoyos de 3 cm. de diámetro, realizados con un taladro de mano, se instalaron termómetros programables de tipo “datalogger” Kooltrak modelo: 214002 a profundidades de 20 y 40 centímetros, unidos a una varilla metálica de 4 mm de espesor para facilitar su extracción. El lugar elegido para su instalación fue la zona bajo la fila de plantas, lugar donde se espera que la densidad radicular sea máxima. Los termómetros se programaron para registrar la temperatura del suelo a intervalos de 2 horas entre medidas, en el período comprendido entre cuajado y cosecha.

3.4. MEDICIONES MESOCLIMÁTICAS

3.4.1. Seguimiento de la temperatura a nivel de los racimos

Para el seguimiento de la temperatura se instalaron termómetros en el interior de los racimos idénticos a los detallados en el ítem anterior. El período seguimiento fue desde cuajado a cosecha con un intervalo entre registros de 2 horas. Para ambas situaciones topográficas la disposición de los termómetros fue la misma: racimos externos al follaje sobre la cara Este y Oeste de la fila, y racimos internos al follaje sobre la cara Este y Oeste de la fila.

3.5. DETERMINACIÓN DEL ESTADO HÍDRICO DEL CULTIVO

3.5.1. Medida del potencial hídrico foliar de base

El estado hídrico de las plantas fue caracterizado por la medida del potencial hídrico foliar de base, medido éste antes del amanecer, con el empleo de una cámara de presión (Scholander et al., 1965), utilizando una cámara de presión modelo: Soil Moisture Equipment » mod. 3005 – 1412.

Cada serie de medidas fue efectuada sobre una muestra de 10 hojas adultas, sanas y opuestas al racimo, tomadas sobre las 50 plantas seleccionadas para el ensayo, en cada situación topográfica (ladera alta y ladera baja). Para obtener un corte limpio del pecíolo se utilizó un bisturí. La observación con lupa de mano de la aparición de las primeras gotitas de savia sobre la superficie de corte del pecíolo se tomó como el momento para detener la inyección de nitrógeno gaseoso y realizar la lectura del manómetro de presión.

3.5.2. Medida del potencial hídrico foliar al mediodía

Para las determinaciones del potencial hídrico foliar en regulación estomática, a las 9:00 hs. y al mediodía, cada hoja fue embolsada y separada inmediatamente de la planta y, no más allá de 30 segundos, colocada en la cámara de presión, para evitar su deshidratación. El resto del procedimiento fue idéntico al del potencial hídrico foliar de base.

Las medidas fueron tomadas con una periodicidad media de 12 días coincidiendo con la determinación del contenido hídrico del suelo y expresadas en MPa (Megapascal), donde 1 MPa = 10 Bares.

3.6. MEDICIONES SOBRE EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO VEGETATIVO

3.6.1. Seguimiento del crecimiento de pámpanos y feminelas

La cinética del crecimiento vegetativo se realizó mediante la medición de 20 pámpanos por parcela, distribuidos a lo largo de la pendiente, 10 de ellos sobre la cara Este de la estructura y los otros 10 sobre la cara Oeste. Además se midió la longitud y número de las feminelas insertas en estos pámpanos. Este seguimiento se realizó desde cuajado hasta el momento de la cosecha, con una periodicidad promedio de 12 días.

3.6.2. Cálculo de la superficie foliar expuesta potencial

La estimación de la superficie foliar expuesta potencial se realizó siguiendo el método propuesto por Carbonneau (1995), que consiste en una primera etapa en determinar el perímetro foliar expuesto (S) para luego, - utilizando la siguiente expresión, que toma en cuenta el espaciamiento entre filas (E), la distancia entre plantas (d) y la discontinuidad del follaje sobre la estructura de conducción expresada como proporción (T) - obtener la superficie foliar expuesta potencial expresada por hectárea.

$$SFEp = \left(\frac{10000}{E} \right) \times \left(\frac{1-T}{d} \right) \times S$$

Esta estimación fue realizada al momento del envero.

3.6.3. Fenograma del cultivo

Para cada jornada de evaluación del estado hídrico de las parcelas se determinó, se registró su estado fenológico tomando como referencia la escala de Lorenz et al. (1994).

3.6.4. Distribución del sistema radicular

Para la caracterización del sistema radicular se eligieron plantas de vigor promedio ubicadas en la zona media de cada parcela (ladera alta y ladera baja). Se comenzó extrayendo el suelo próximo a la planta con utensilios de jardinería, con especial precaución de no romper las raicillas de la planta. Esta tarea se continuó hasta obtener una fosa de 1,3 metros por 1,3 metros de apertura con una profundidad suficiente para descubrir el horizonte C, (aproximadamente 1,3 metros de profundidad).

El mapeo de la distribución radicular se realizó empleando una retícula de hilos de 10 por 10 centímetros. La retícula se construyó en forma vertical y paralela a la pared de la fosa a partir de una regla colocada en el sentido de la fila. A continuación se registró en papel cuadriculado (0,5 x 0,5 centímetros) y a escala todas las raíces que atraviesan cada cuadrante de la retícula. Cada raíz se representó como un punto con su lugar de intercepción en cada cuadrante y se tomó su diámetro en milímetros utilizando un calibre digital de marca Starrett, modelo 797 B.

3.7. DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO Y DEL EQUILIBRIO VEGETO-PRODUCTIVO

3.7.1. Peso de cosecha

La cosecha de ambas parcelas se realizó el día 7 de marzo de 2005. Se determinó el rendimiento individual de 30 plantas por parcela, registrándose número total de racimos por planta; número de racimos sanos o con un porcentaje menor al 20 % afectado por podredumbres y su peso; número de racimos afectados en más de 20% por podredumbres y su peso.

3.7.2. Peso de madera de poda

La poda se realizó el día 15 de julio de 2005. La madera extraída de cada planta se pesó individualmente y se registró el número de sarmientos por planta. Esta determinación se realizó sobre las mismas plantas cosechadas en el mes de marzo.

3.7.3. Índice de Ravaz

Para esta evaluación se calculó el Índice de Ravaz (Ravaz, citado por Champagnol, 1986), que consiste en calcular la razón entre la producción de fruta y la producción de madera de poda por planta.

3.8. SEGUIMIENTO DE LA COMPOSICIÓN DE LAS UVAS DURANTE LA MADURADURACIÓN

3.8.1. Técnica de muestreo

El seguimiento de la composición comenzó cuando se llegó al de 50 % de bayas enveradas, que corresponde al 35 en la escala de Eichhorn y Lorenz. El método utilizado consistió en la extracción de 3 muestras compuestas de 80 grupos de 3 a 5 bayas cada uno en cada parcela (Carbonneau, 1991). A continuación se colocaban los contenedores de las muestras en una conservadora para transportarlos. Posteriormente en el laboratorio se separaban las bayas de sus pedicelos mediante una pequeña tijera y se reducía cada muestra a 200 bayas.

3.8.2. Peso y calibre de las bayas

El seguimiento del crecimiento en diámetro de las bayas se realizó desde el envero hasta la cosecha. Para esto se tomaron semanalmente, tres muestras de 200 bayas cada una. Estas bayas se colocaron en un tamiz de diseño propio que consiste en una serie de bandejas consecutivas con perforaciones de 20 a 5 milímetros de diámetro. Cada bandeja retiene las bayas de diámetro igual o superior al de sus perforaciones, dejando pasar las de menor diámetro hacia bandejas inferiores. A continuación se registro el número y peso del conjunto de bayas retenido en cada una de las bandejas, obteniéndose así la distribución de diámetro de cada muestra.

3.8.3. Sólidos solubles, acidez total y pH

Luego de la separación de las bayas de su pedicelo mediante una tijera se procedía a la obtención del mosto para el análisis de composición de las muestras. Las bayas se molieron con un extractor de jugos marca Phillips, modelo HL 3236 (Brasil). Al mosto obtenido se lo llevó a una temperatura de 20° C para realizar la determinaciones según la metodología planteada por la O.I.V. (1990), de sólidos solubles mediante refractometría, utilizando un refractómetro de mano marca Atago N° 1 (Brasil). La acidez total se determinó por acidimetría (titulación con NaOH N/10 y azul de bromotimol como reactivo indicador). El pH se midió por potenciometría con un pHmetro marca Hanna Instruments.

3.8.4. Proporción de pulpa, semillas y hollejo en las bayas

Sobre otras muestras de 50 bayas cada una, tomadas por quintuplicado el día de la cosecha en ambas parcelas, se procedió a la determinación de la

proporción de semillas, pulpa y hollejos. El procedimiento seguido fue en primera instancia, separar la pulpa de los hollejos ejerciendo presión con los dedos, las semillas se separaron de la pulpa manualmente, luego los hollejos y las semillas se lavaron con agua destilada y se colocaron sobre papel filtro por 30 minutos. A continuación se pesaron en una balanza de precisión Dhaus modelo Scout. El peso de la pulpa se obtuvo por diferencia entre el peso de las bayas enteras y la suma de peso de hollejos y semillas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

4.1.1. Descripción del perfil del suelo

A continuación se presenta la descripción del perfil del suelo para la parcela ubicada en la ladera alta.

Horizonte: A. 0 a 30 cm. Color 10 YR 2/2, Pardo muy oscuro. Raíces abundantes finas y medias. Textura franco-limoso. Bloques sub-angulares moderados medios. Poros comunes a abundantes pequeños. Consistencia friable. Transición clara.

Horizonte: Bt1. 30 a 43 cm. Color 10 YR 2/1, Negro. Raíces finas comunes. Textura franco-arcillo-limoso, pesado. Bloques angulares fuertes y medios y sub-angulares medios. Películas de arcilla finas continuas. Consistencia plástica. Transición difusa.

Horizonte: Bt2. 43 a 70 cm. Color 10YR 3/1, Gris muy oscuro. Raíces finas comunes. Textura arcillo-limoso. Bloques angulares fuertes y medios y sub-angulares medios. Películas de arcilla medias continuas. Consistencia plástica, ligeramente pegajoso. Transición clara.

Horizonte: BC. 70 a 88 cm. Color 10 YR 4/2, Pardo grisáceo oscuro; 10 YR 3/2, Pardo grisáceo muy oscuro. Betas 10 YR 2/1, Negro. Textura arcilloso. Bloques sub-angulares moderados. Consistencia plástica, ligeramente pegajosa. Transición gradual.

Horizonte: C. 88+ cm. Color 10 YR 5/4, Pardo amarillento; Betas 10 YR 5/3, Pardo y 10 YR 2/1, Negro. Textura Franco- arcillo-limoso pesada.

A continuación se presenta la descripción del perfil del suelo para la parcela ubicada en la ladera baja.

Horizonte: A. 0 a 23 cm. Color 10 YR 3/1, Gris muy oscuro. Raíces abundantes finas y medias. Textura franco-arcillo-limoso. Bloques sub-angulares moderados medios, rompen a granular fina. Poros comunes a abundantes pequeños. Consistencia friable. Transición clara.

Horizonte: Bt1. 23 a 48 cm. Color uniforme 10 YR 2/1, Negro. Raíces finas abundantes. Textura arcillosa, pesada. Bloques sub-angulares. Caras de deslizamiento o películas de arcilla. Consistencia plástica. Transición clara.

Horizonte: Bt2. 48a 63 cm. Color 10YR 3,5/1, Gris muy oscuro a Gris oscuro. Betas 10 YR 2/1, Negras. Raíces medias comunes. Textura arcillo-limoso. Bloques angulares y sub-angulares medios. Películas de arcilla medias continuas. Consistencia plástica, ligeramente pegajoso. Transición clara.

Horizonte: BC. 62 a 72 cm. Color 10 YR 4/2, Pardo grisáceo oscuro. Raíces medias, pocas. Textura arcillo-limoso. Pequeños fragmentos de roca. Bloques sub-angulares medios. Consistencia friable. Concreciones de CaCO₃ pequeñas, pocas. Calcáreo disperso en la masa. Reacción al HCl. Transición gradual.

Horizonte: Ck. 72+ cm. Color 10 YR 6/3, Pardo pálido; Canalículos 10 YR 2/1, Negro, gruesos. Textura Arcillo-limoso liviano. Consistencia friable. Concreciones de CaCO₃ pequeñas, comunes.

4.1.2. Análisis físico del suelo

El análisis granulométrico de los perfiles presentó los siguientes resultados:

Cuadro 6. Análisis granulométrico de los suelos.

Horizonte	LADERA ALTA		
	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
A	20.07	59.54	20.38
Bt1	7.02	59.85	33.14
Bt2	16.50	42.00	41.50
BC	18.84	30.35	50.80
C	10.73	59.42	29.86
LADERA BAJA			
A	21.85	41.85	36.30
Bt1	13.89	37.06	49.05
Bt2	12.64	31.92	55.44
BC	10.55	37.50	51.95
CK	9.70	39.95	50.35

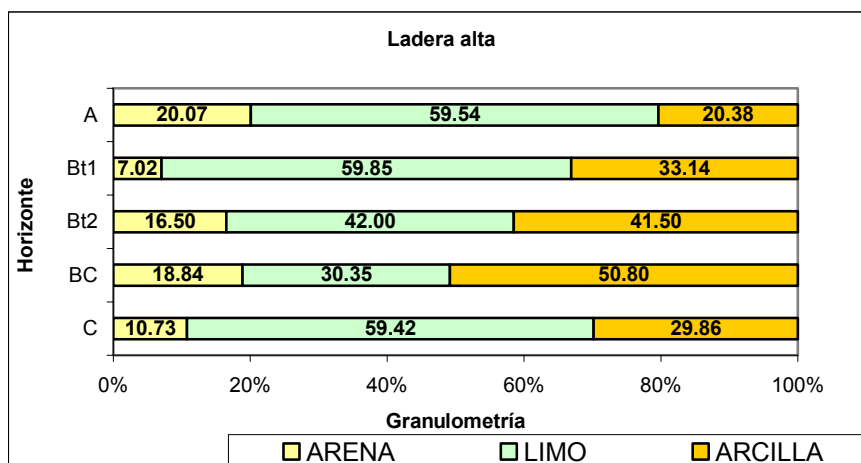


Figura 1. Composición granulométrica según horizontes para la Ladera alta.

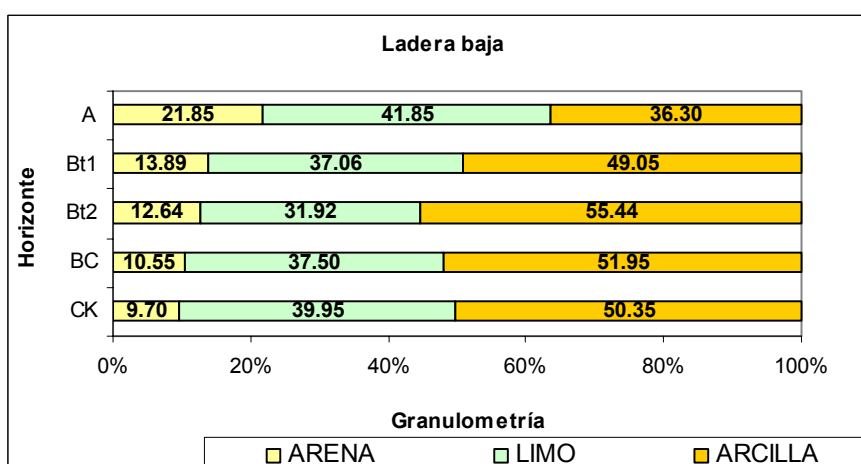


Figura 2. Composición granulométrica según horizontes para la Ladera baja.

Pueden observarse diferencias en la composición granulométrica para ambas situaciones topográficas, (Figuras 1 y 2). En el suelo de la Ladera alta las fracciones medias y gruesas predominan hasta el horizonte Bt2, que tiene su límite inferior a una profundidad de 72 centímetros. Para el suelo de la Ladera Baja en cambio estas fracciones son predominantes hasta el Horizonte Bt1, con un límite inferior a 48 centímetros de profundidad. Más allá de esta profundidad la fracción mayoritaria es la arcilla.

4.1.3. Densidad aparente

Cuadro 7. Densidad aparente para los suelos.

Horizontes	Densidad Aparente (gr/cm ³)	
	LADERA ALTA	LADERA BAJA
A	1.27	1.39
Bt1	1.40	1.50
Bt2	1.44	1.45
BC	1.37	1.49
C	1.45	1.48

4.1.4. Resistencia del suelo a la penetración

Cuadro 8. Resistencia mecánica a la penetración para los suelos.

Profundidad (cm.)	Resistencia (MPa)	
	LADERA ALTA	LADERA BAJA
0	0.00	0.00
5	0.51	0.46
10	0.82	0.77
15	1.01	1.18
20	1.15	1.62
25	1.35	1.75
30	1.55	1.90
35	1.57	1.97
40	1.66	2.00
45	1.77	2.16
50	1.80	2.21
55	1.83	2.28

Según Cockroft et al. (1983), Withe (2003) los resultados observados en estos suelos, podrían considerarse limitantes para la penetración de las raíces en la ladera baja y a una profundidad superior a 40 centímetros.

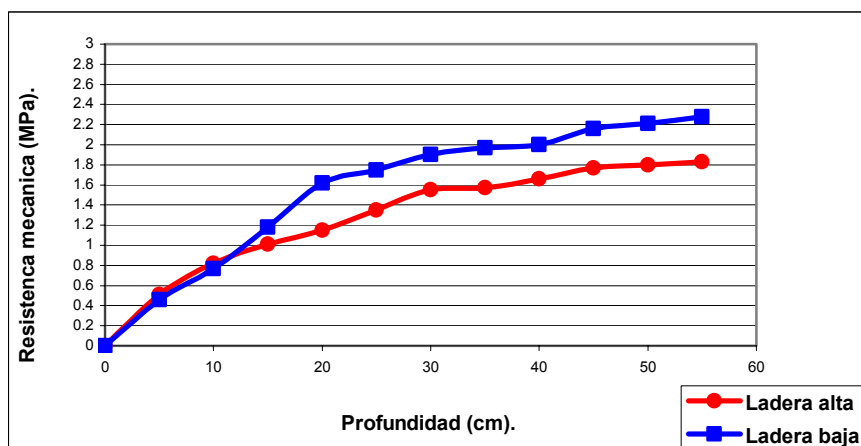


Figura 3. Resistencia mecánica a la penetración del suelo según profundidad para la Ladera alta y baja.

Se aprecian diferencias en la resistencia a la penetración del suelo para ambas parcelas, (Figura 3). Globalmente se puede afirmar que más allá de los 15 centímetros de profundidad los valores de resistencia a la penetración son siempre superiores para la parcela ubicada en la ladera baja. Se puede afirmar que a profundidades mayores a 15 centímetros comienzan a existir restricciones al crecimiento radicular, pero estas son mayores para la parcela en ladera baja. Según Withe (2003), Cooperative Research Centre of Viticulture (2006), valores de resistencia superiores a 2 MPa, como los observados en los horizontes sub-superficiales de la ladera baja pueden retardar fuertemente el crecimiento de las raíces de la viña.

4.1.5. Tasa de infiltración mínima del suelo

Cuadro 9. Tasa de infiltración mínima del suelo.

Horizonte	Tasa de infiltración mínima (mm/hr)	
	LADERA ALTA	LADERA BAJA
Bt	4,5	3,0

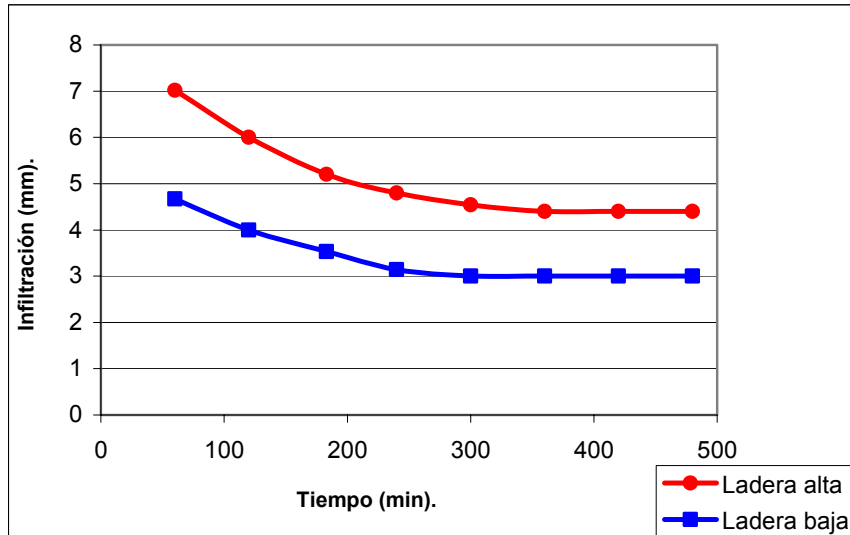


Figura 4. Tasa de infiltración del horizonte Bt para Ladera alta y Ladera baja.

Puede observarse una menor tasa de infiltración mínima para el horizonte Bt en la Ladera baja, (Figura 4). Este valor representa la cantidad de agua que es capaz de atravesar el suelo por unidad de tiempo cuando el suelo se encuentra saturado. De acuerdo con Terzaghi y Sganga (1980), estos valores son bajos pero son concordantes con algunos valores obtenidos en su trabajo para suelos de la zona de Canelones y Montevideo. Si bien en el horizonte Bt de la Ladera alta la velocidad de infiltración casi se duplica con respecto a la Ladera baja, la primera es similar a los valores registrados (4,25 mm/hr) para otros suelos de viñedos de Canelones por Terzaghi y Sganga (1980).

Se puede clasificar a la velocidad de infiltración suelo de la Ladera alta como media, mientras que existe una baja velocidad de infiltración en la Ladera baja. Esta limitante para la percolación del agua en la Ladera baja generaría fácilmente condiciones de anegamiento en los horizontes superiores, perjudicando el normal funcionamiento del aparato radicular.

4.1.6. Curvas de tensión de humedad

A continuación se presenta el promedio del contenido volumétrico de agua para las distintas tensiones evaluadas en el laboratorio. El contenido de agua cuando no se ejerce ninguna tensión corresponde al estado de saturación. Según Durán (2000), el contenido de agua a una tensión de 100 cm. es la mejor estimación del contenido de agua a capacidad de campo (CC).

La diferencia entre el agua en saturación y en capacidad de campo corresponde al contenido de agua libre que se encuentra en los macroporos, (Cuadro 5). Teniendo en cuenta que el volumen correspondiente al contenido de agua libre puede ser considerado equivalente al volumen del suelo ocupado por macroporos, se puede afirmar que el suelo de la Ladera alta tiene una mejor estructura que el suelo de la Ladera baja.

Cuadro 10. Contenido volumétrico de agua según tensión y horizonte.

LADERA ALTA					
Tensión de agua (cmH ₂ O)	Humedad volumétrica (m ³ /m ³), según los diferentes horizontes.				
	A	Bt1	Bt2	BC	C
0	0,373	0,493	0,493	0,468	0,426
30	0,362	0,482	0,480	0,465	0,423
100 (CC)	0,356	0,478	0,477	0,458	0,420
1000	0,336	0,459	0,463	0,444	0,405
5000	0,319	0,443	0,451	0,436	0,397
15000 (PMP)	0,309	0,433	0,445	0,431	0,394
Agua en macroporos	0,016	0,015	0,016	0,010	0,006
Agua disponible.	0,0539	0,0490	0,0346	0,0340	0,0291
LADERA BAJA					
Tensión de agua (cmH ₂ O)	Humedad volumétrica (m ³ /m ³), según los diferentes horizontes.				
	A	Bt1	Bt2	BC	Ck
0	0,406	0,448	0,462	0,471	0,443
30	0,403	0,443	0,457	0,468	0,439
100 (CC)	0,391	0,434	0,449	0,465	0,436
1000	0,366	0,415	0,433	0,453	0,427
5000	0,352	0,402	0,422	0,444	0,417
15000 (PMP)	0,344	0,393	0,414	0,437	0,410
Agua en macroporos	0,015	0,014	0,013	0,006	0,007
Agua disponible.	0,0591	0,0500	0,0424	0,0309	0,0293

Globalmente, el contenido de agua disponible es superior para el suelo en la Ladera baja. Esto puede deberse a la predominancia de las fracciones finas en la composición granulométrica de este suelo. La mayor capacidad de retención de agua en forma disponible está explicada entonces, por el mayor contenido de arcilla, lo que concuerda con Durán (2000).

Para ambas parcelas, es notorio el aumento del contenido de agua, para una tensión fija, cuando se compara el horizonte A al horizonte Bt, más rico en arcillas. Esto se debe a que el agua es retenida más fuertemente en el espacio de microporos que predomina en los horizontes.

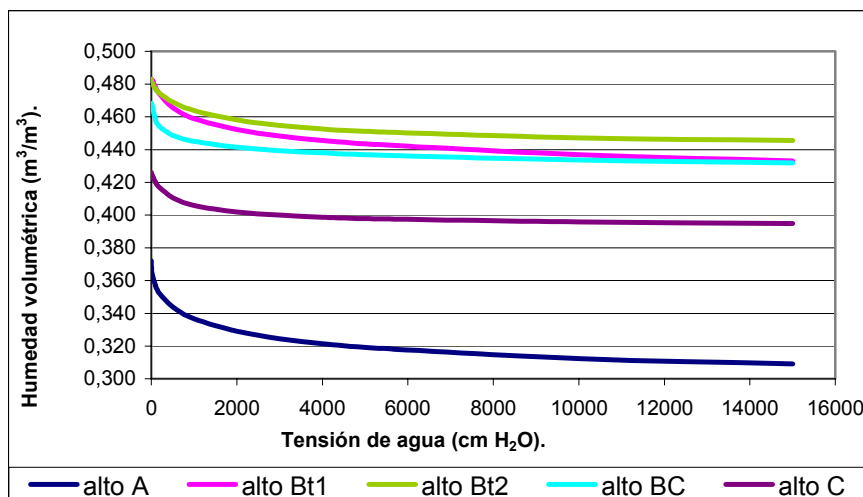


Figura 5: Curvas de tensión según horizonte para Ladera alta.

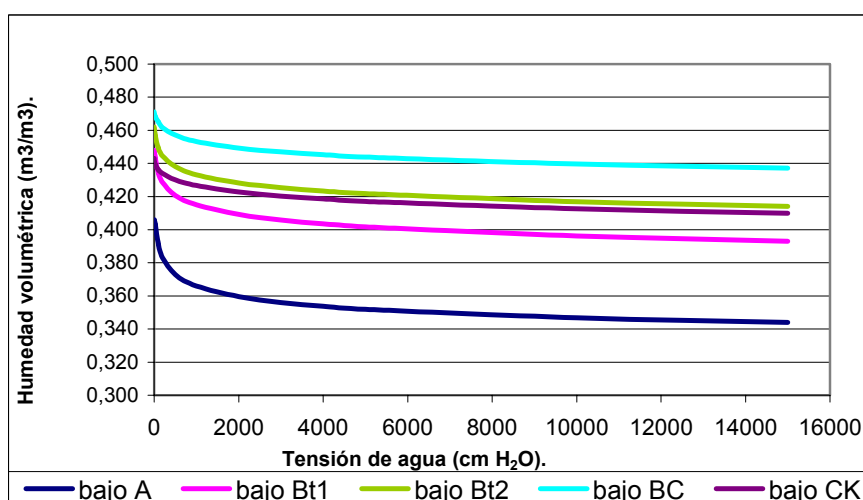


Figura 6. Curvas de tensión según horizonte para Ladera baja.

Las curvas de tensión de agua muestran claramente, para ambos suelos, las diferencias en el comportamiento hídrico del horizonte superficial con respecto a los demás horizontes. Se observa además que si bien estos horizontes superficiales no poseen la más alta capacidad retención de agua, son los que contienen la mayor cantidad de agua en forma disponible.

4.2. CONTENIDO HIDRICO Y TEMPERATURA DEL SUELO

4.2.1. Evolución del contenido hídrico del suelo

A continuación se presenta el registro pluviométrico (Gráfico 7), tomado en el sitio del ensayo. Estas precipitaciones constituyen el único aporte hídrico que recibió el suelo de las parcelas a lo largo de su estación de crecimiento.

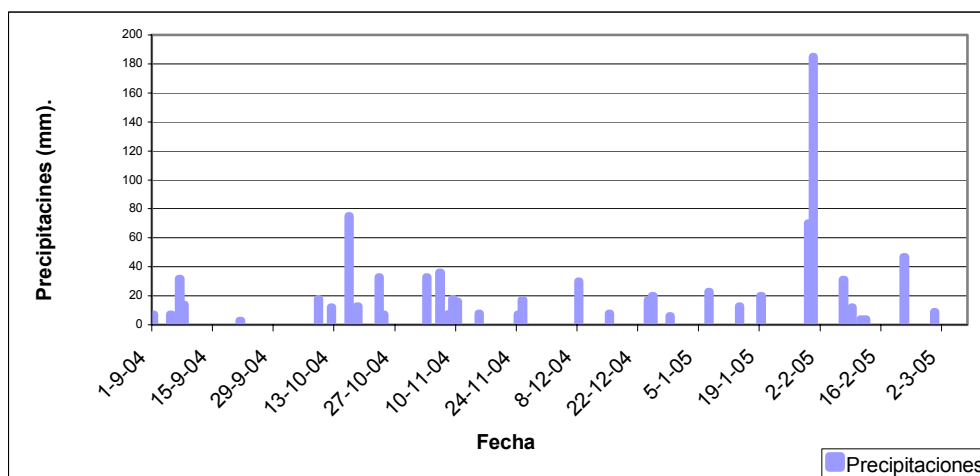


Figura 7. Precipitaciones registradas en la estación de crecimiento.

El siguiente cuadro representa un Balance hídrico (Riou, 2000) decádico, adaptado por Pedocchi³, calculado a partir de información predial de precipitaciones y registros de evapotranspiración de la Estación Experimental INIA Las Brujas.

A principio de Setiembre se considera al suelo en su máximo nivel de reserva, debido a que las precipitaciones acumuladas superan ampliamente a la demanda atmosférica.

³ Pedocchi, R. 2006.Com. personal.

Cuadro 11. Balance hídrico decádico para la estación de crecimiento, adaptado de Riou (2000).

<i>Período</i>	PP (mm)	ETP (mm)	W (mm)	FTSW
SET 1	39.3	16.0	156.2	1
SET 2	0.0	19.9	154.61	0.972
SET 3	4.7	25.6	154.81	0.973
OCT 1	8.3	25.5	156.2	0.983
OCT 2	98.6	31.1	156.2	1
OCT 3	44.7	36.4	156.2	1
NOV 1	67.5	31.3	156.2	1
NOV 2	5.5	31.0	147.81	0.929
NOV 3	19.2	42.4	140.8	0.885
DIC 1	56.3	51.3	141.99	0.892
DIC 2	12.2	54.8	115.96	0.729
DIC 3	30.4	56.5	99.965	0.628
ENE 1	23.7	56.1	79.369	0.499
ENE 2	24.3	58.2	57.435	0.361
ENE 3	228.8	57.3	156.2	0.984
FEB 1	45.3	37.0	156.2	1
FEB 2	0.0	40.7	131.78	0.828
FEB 3	57.5	27.0	156.2	0.990
MAR 1	5.8	34.4	139.76	0.879
MAR 2	4.3	25.5	127.89	0.804
MAR 3	42.8	27.3	145.81	0.917

Este balance se presenta para la descripción de la evolución del contenido hídrico a lo largo del período vegetativo de la vid. El valor de FTSW (Fraction of Transpirable Soil Water) muestra que desde principios de setiembre donde ocurre el desborre, hasta mediados del mes de noviembre, en que se da la etapa de floración-cuajado, el suelo permanece casi con su capacidad de almacenaje de agua disponible colmada.

A partir del mes de diciembre, debido a que las precipitaciones no son de magnitud suficiente para igualar a la creciente demanda atmosférica, la cantidad de agua retenida en el suelo comienza a disminuir, para alcanzar durante la segunda década de enero un nivel próximo al tercio de reserva hídrica total del suelo.

Sobre finales del mes de enero, con un importante fenómeno de precipitación (255 milímetros en 48 horas) se produce la completa reposición de las reservas hídricas del suelo, para luego comenzar una lenta disminución durante el mes de febrero y principios de marzo, donde se realizó la cosecha de las plantas.

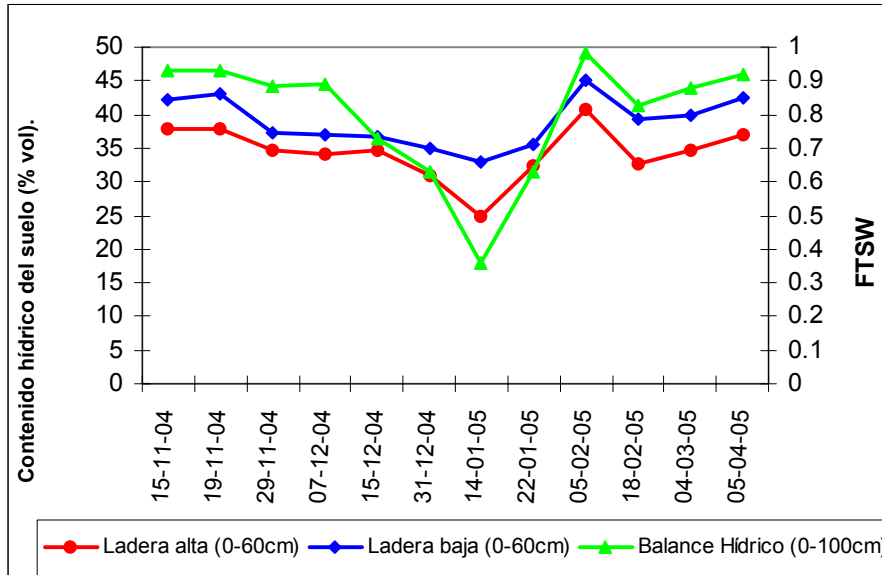


Figura 8. Evolución del contenido hídrico en los suelos.

A continuación se presenta la relación entre el contenido hídrico real del suelo y el contenido hídrico del suelo estimado por el balance hídrico, expresado como fracción del contenido hídrico transpirable. La correlación entre las dos variables es media a alta, por lo tanto, el balance hídrico puede utilizarse para conocer la disponibilidad de agua para el cultivo en un momento dado, a lo largo de toda la estación de crecimiento. Resultados similares fueron obtenidos por Riou y Payan (2001).

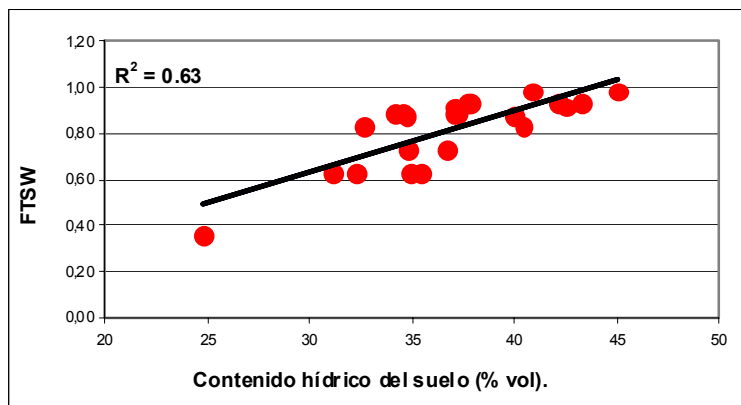


Figura 9. Relación entre contenido hídrico del suelo (% vol) y FTSW.

4.2.2. Evolución de la temperatura del suelo

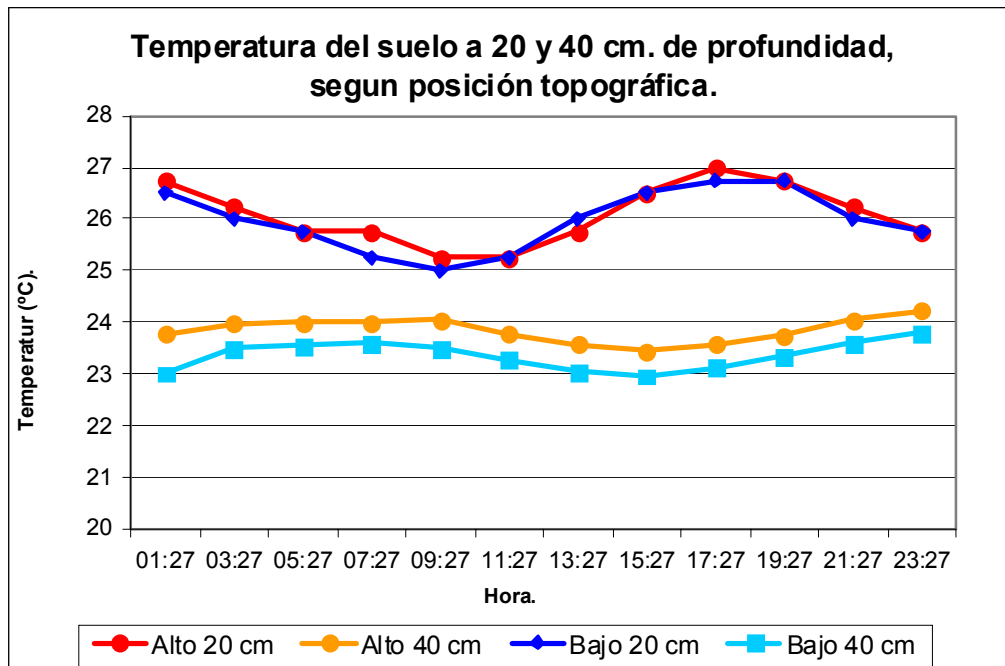


Figura 10. Evolución de la temperatura en el suelo según profundidad, en el día más cálido de Enero (07/01/05).

No se encuentran diferencias en la evolución diaria de la temperatura del suelo a 20 centímetros de profundidad entre la Ladera alta y la Ladera Baja. Sin embargo existe una diferencia significativa de aproximadamente de 1° C en la temperatura medida a 40 centímetros de profundidad, siendo superiores los registros para la Ladera alta. Esas diferencias podrían explicarse, como se observa en el Grafico 8 por el mayor contenido hídrico del suelo en la Ladera baja. Esto se debe a que según Rucks (2000), la conductividad térmica del suelo aumenta en relación directa con su contenido hídrico.

4.3. SEGUIMIENTO DEL ESTADO HÍDRICO DE LA PLANTA Y SU RELACIÓN CON EL CONTENIDO HÍDRICO DEL SUELO

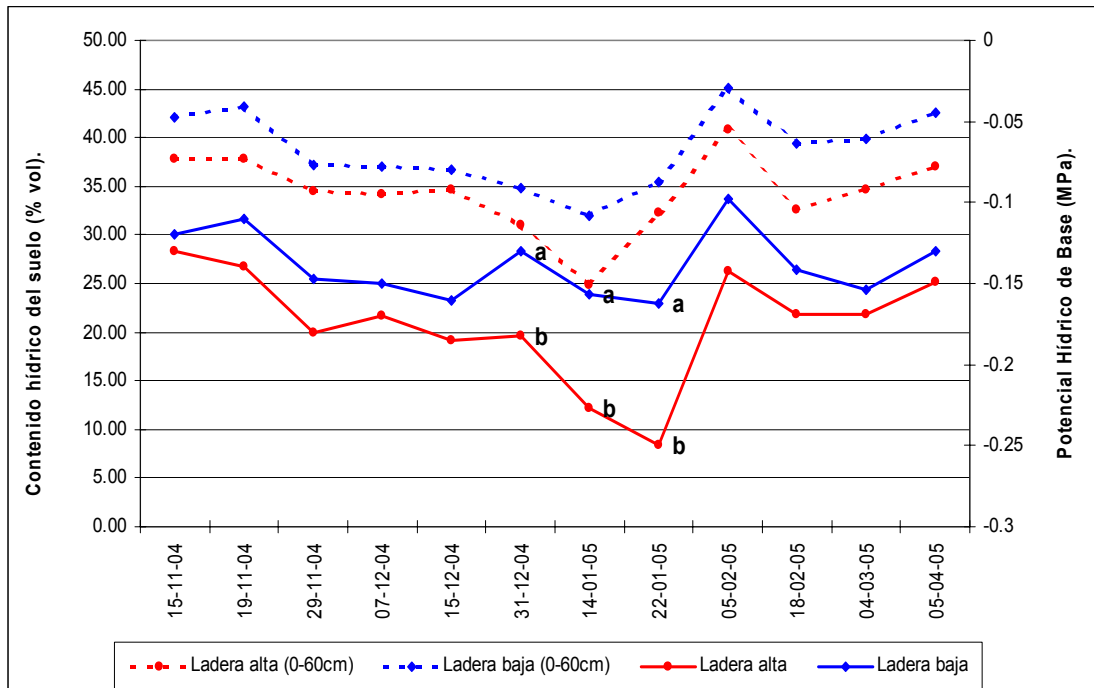


Figura 11. Evolución del contenido de agua en el suelo y estado el hídrico de la planta.

Se observa (Figura 11) la relación entre el contenido de agua en el suelo y el estado hídrico de la planta. Claramente, y de acuerdo con Scholander (1965), a medida que disminuye el contenido de agua en el suelo, el nivel de estrés hídrico – medido como potencial hídrico foliar de base – en las plantas se incrementa. Los resultados obtenidos son similares a los obtenidos por Ferrer (2007).

4.4 CRECIMIENTO Y DESARROLLO VEGETATIVO

4.4.1 Distribución del sistema radicular

Ladera Alta



Ladera Baja



Figura 12. Detalle de los sistemas radicales según posición topográfica.

Como fue visto anteriormente y de acuerdo a lo reportado por White (2003), existen diferencias en las propiedades físicas de los suelos que modifican el ambiente de crecimiento de las raíces. En los perfiles caracterizados se encontró un diferente grado de diferenciación textural, que afecta a la distribución del sistema radicular, (Figura 12). El sistema radicular en la ladera alta se presenta distribuido homogéneamente en profundidad que en el de la ladera baja. En esta última, el sistema radicular se presenta extendido horizontalmente, ya que la acumulación de arcillas en el horizonte sub-superficial constituye una limitante a la exploración de las raíces. Ya sea por una mayor resistencia mecánica a la penetración de las raíces o porque podrían ocurrir condiciones de baja aireación.

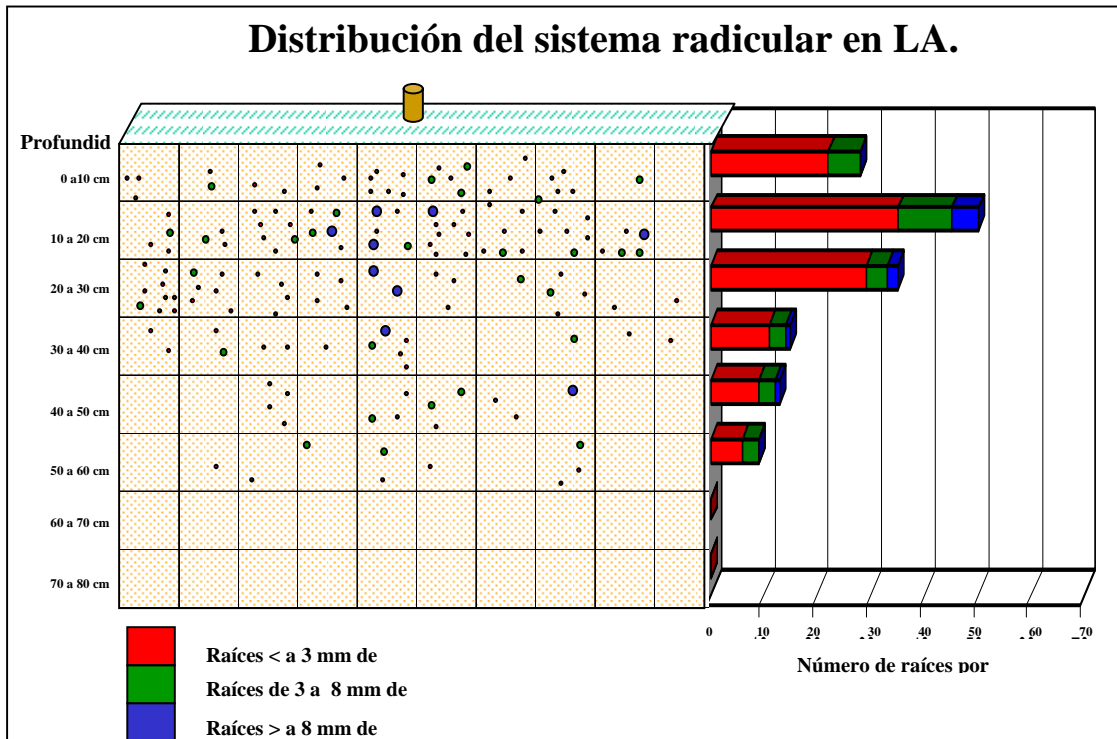


Figura 13. Mapeo y cuantificación del sistema radicular en ladera alta

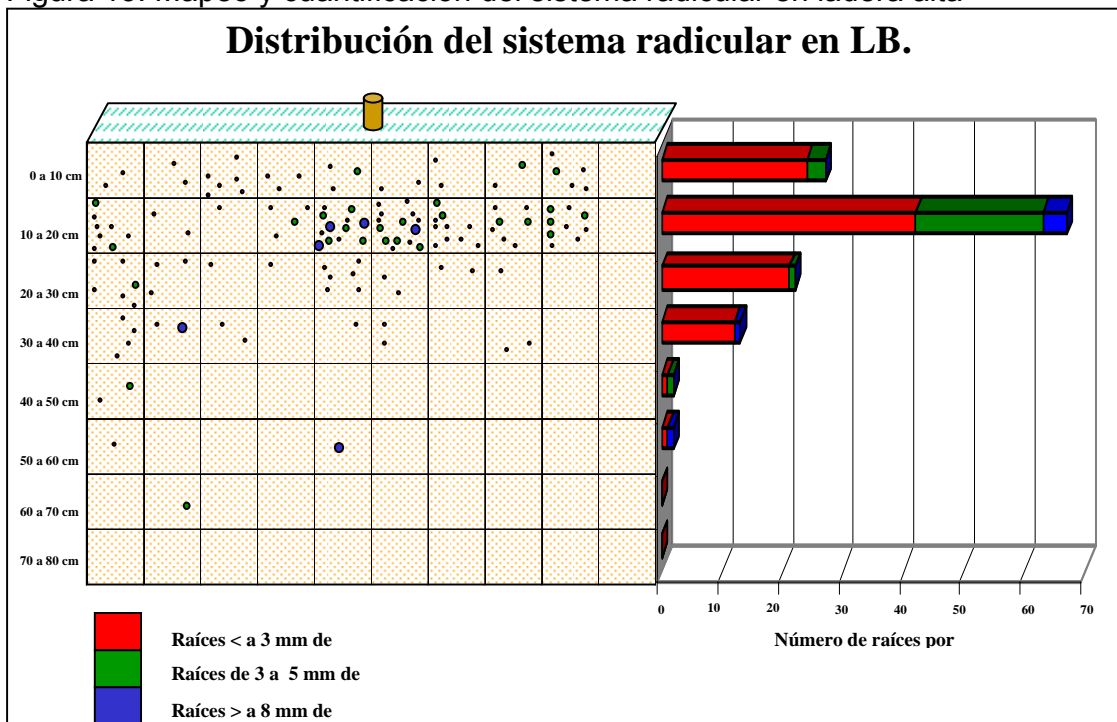


Figura 14. Mapeo y cuantificación del sistema radicular en ladera baja.

El mapeo del sistema radicular pone en evidencia la magnitud del efecto del ambiente edáfico sobre la distribución por tipo de raíces. De acuerdo con Richard (1983), la mayor parte de la funcionalidad del sistema radicular se concentra en las raíces de diámetros inferiores a 3 mm. El sistema radicular de la zona alta presenta raíces finas incluso mas allá de los 50 centímetros de profundidad, en contraste con el sistema radicular de la ladera baja donde estas raicillas estan casi totalmente confinadas a los 40 centímetros superficiales.

4.4.2 Crecimiento de pámpanos

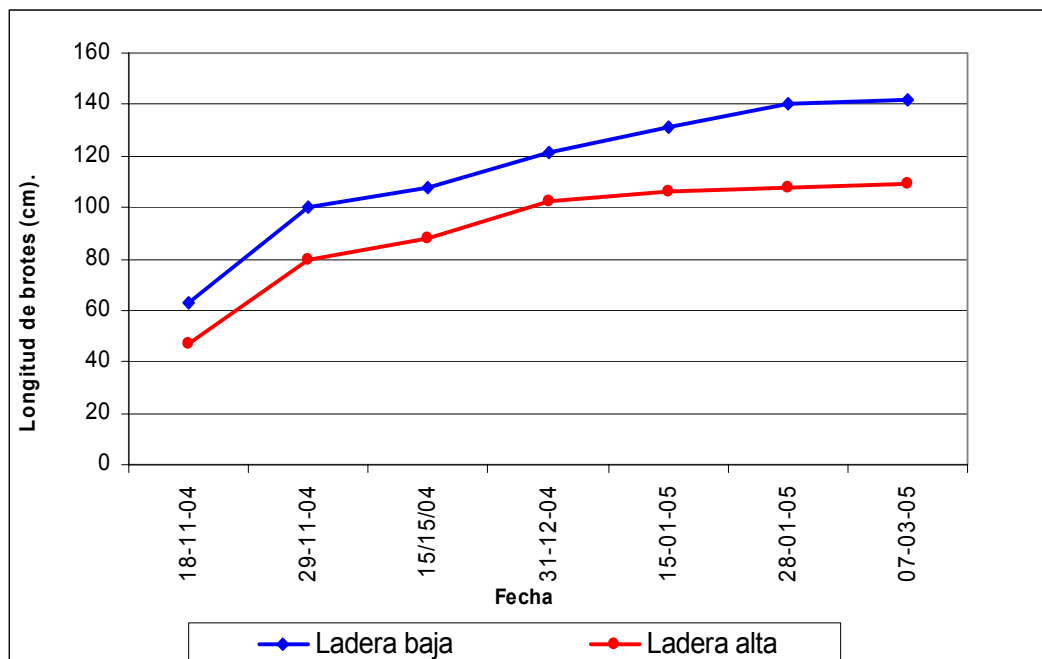


Figura 15. Crecimiento de los brotes principales.

La menor oferta hídrica del suelo de la ladera alta produjo un adelantamiento del cese del crecimiento vegetativo con respecto a las plantas creciendo en la ladera baja. Esto concuerda con numerosos reportes, entre ellos Bravdo et al. (1985), Van Leuween y Seguin (1994), Carbonnau (1998), Deloire et al. (2003), Ojeda et al. (2004). El cese del crecimiento vegetativo se produce por el estímulo hormonal proveniente de las raíces ejercido sobre los puntos de crecimiento de la parte aérea de la planta. Si se toma en cuenta que el inicio de la maduración de las bayas se produce el 22 de enero de 2005, y el cese del crecimiento vegetativo se produce aproximadamente el 15 de enero de 2005 para las plantas de la ladera alta, se podría deducir que se esta ante una modificación en la partición de fotoasimilados en la planta. Es así que, aumenta

la proporción de azúcares sintetizados en las hojas que se acumularan en los racimos o reservas en las partes leñosas de la planta.

Lo contrario sucede en la ladera baja, donde se inicia la maduración de las bayas aun destinando parte de la síntesis a la formación de nuevas hojas y tallos. Carbonneau (1998), documenta extensamente observaciones similares.

4.4.3 Fenograma del cultivo

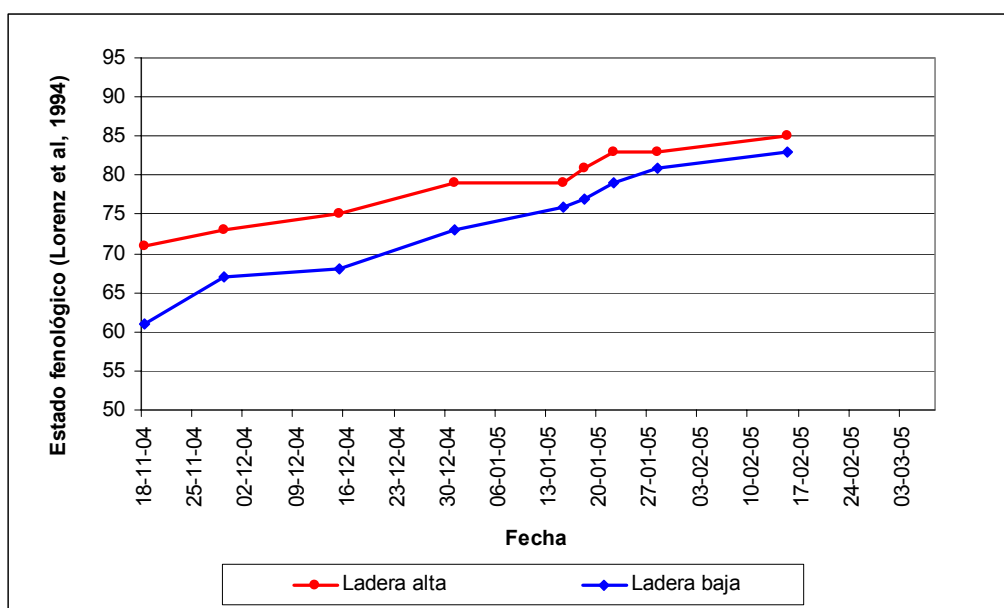


Figura 16. Fenograma del cultivo.

El adelanto en las fases de desarrollo observado en la ladera alta se constituye en una de las observaciones centrales para explicar las diferencias observadas en el rendimiento final obtenido en cada una de las parcelas y a su vez, este último, está fuertemente ligado a la interpretación de los factores que intervienen sobre la composición de las bayas.

El atraso en el momento de la floración para la ladera baja es algo superior a una semana (9 días) con respecto a la ladera alta. Más adelante, las diferencias disminuyen para, en enero, ser de 6 días de adelanto para las plantas de la ladera alta, Champagnol (1984), Carbonneau (2001). Deloire et al. (2003), Ojeda et al. (2004), en sus reportes, coinciden en el adelanto fenológico producido por la menor oferta hídrica.

4.4.4 Superficie foliar



**Ladera alta = 9360 (a) m²/há
1,05 m²/kg de uva**

**Ladera baja = 10750 (b) m²/há
2,33 m²/kg de uva**

Figura 17. Superficie foliar expuesta potencial.

La alimentación hídrica no limitante observada en la ladera baja produjo mayor crecimiento vegetativo y una canopia densa. Existen diferencias significativas en la superficie foliar expuesta potencial (Figura 17). Estos resultados concuerdan con conclusiones de Fregoni (1998), el cual afirma que el crecimiento vegetativo esta fuertemente ligado a la alimentación hídrica de la planta.

La relación óptima entre la superficie foliar expuesta potencial y la producción es alrededor de 1,0 para Carbonneau (1998), valor próximo al observado en la ladera alta. Podría decirse que existe un exceso de área foliar por unidad de producción para la ladera baja.



Figura 18. Detalle del interior de la canopia en ladera baja.

La estructura densa de la canopia observada en la ladera baja (Figura 18) dificulta la penetración de la radiación solar a la parte interna del follaje, esto produce la senescencia prematura de hojas internas con poca iluminación, lo que concuerda con Smart y Robinson (1992).

4.4.5 Peso de poda

Cuadro 12. Peso de madera de poda según posición topográfica.

Parcela	Peso de poda (kg/pl)
Ladera baja	0.978 a
Ladera alta	0.762 b

Existen diferencias significativas (Cuadro 12), en la producción de madera por planta. La mayor oferta hídrica de la parcela en la ladera baja promueve el crecimiento vegetativo. Esto coincide con varios autores, se destacan entre otros Champagnol (1984), Huglin (1986), Smart y Robinson (1992).

4.5 CRECIMIENTO Y DESARROLLO REPRODUCTIVO

4.5.1 Fertilidad de yemas y cuajado

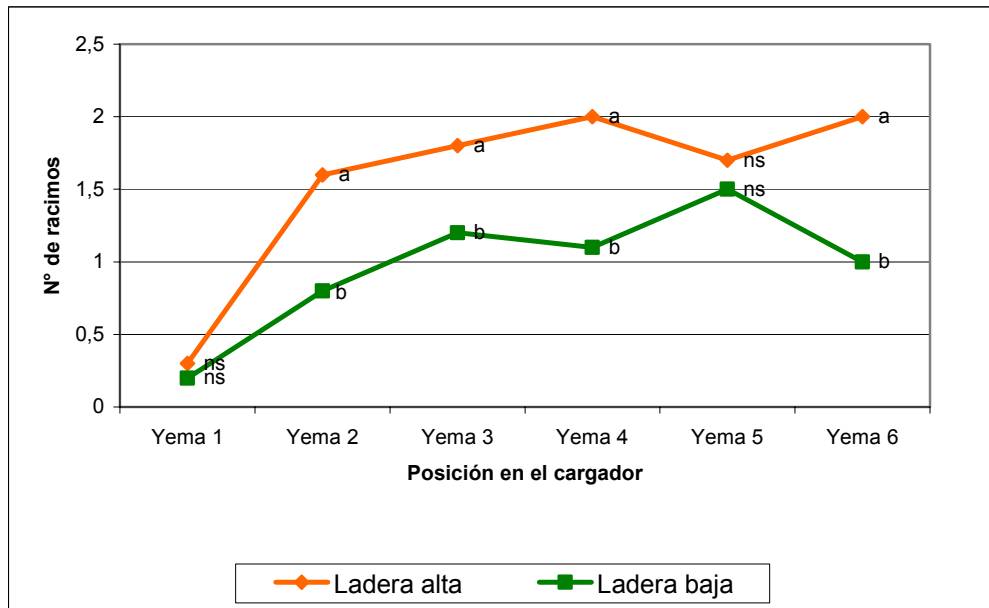


Figura 19. Rango de fertilidad de yemas.

La fertilidad de yemas (Figura 19), mostró diferencias significativas a lo largo del cargador. La baja fertilidad de la yema número 1, ha sido reportado por Ferrer et al. (1997) en Tannat. Para rangos de yema superiores los resultados hallados podrían deberse según Smart y Robinson (1992), a la menor intensidad del estímulo de la luz sobre las yemas en el momento de la inducción del año anterior que se produce en canopias densas como las observadas en la ladera baja.

Las diferencias observadas anteriormente explican las diferencias en la tasa de cuajado observada entre las dos situaciones topográficas. Las condiciones climáticas desfavorables que coincidieron con la floración y cuajado en la ladera baja no existieron en la ladera alta. Precipitaciones, fuertes vientos y bajas temperaturas disminuyeron el cuajado de las bayas en la ladera baja, lo que acentuó aun más, en combinación con los contrastes en la fertilidad de yemas, las diferencias halladas en la producción final de las parcelas.

4.5.2 Crecimiento de bayas

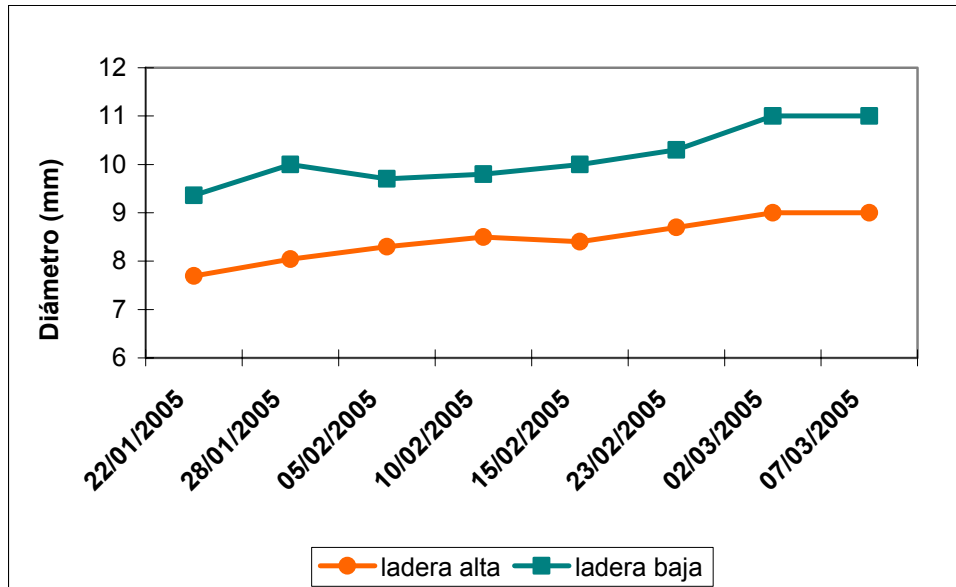


Figura 20. Evolución del diámetro de las bayas luego del envero.

El crecimiento en diámetro de bayas (Figura 20), no es muy importante luego del envero, aunque se observa un leve engrosamiento de las mismas sobre la fase final de la maduración. Esto, puede deberse al aumento en la disponibilidad hídrica a causa de las precipitaciones de finales de febrero. De acuerdo con Deloire et al. (2003), Ojeda et al. (2004) entre otros, la menor oferta hídrica del suelo de la ladera alta es favorable ya que disminuye el crecimiento de las bayas. Según Ribereau-Gayon y Peynaud (1982), bayas de menor diámetro aumenta la relación hollejo/pulpa de las bayas, aumentando así la concentración de sustancias colorantes en el mosto para vinos tintos.

4.5.3 Temperatura de los racimos y la canopia

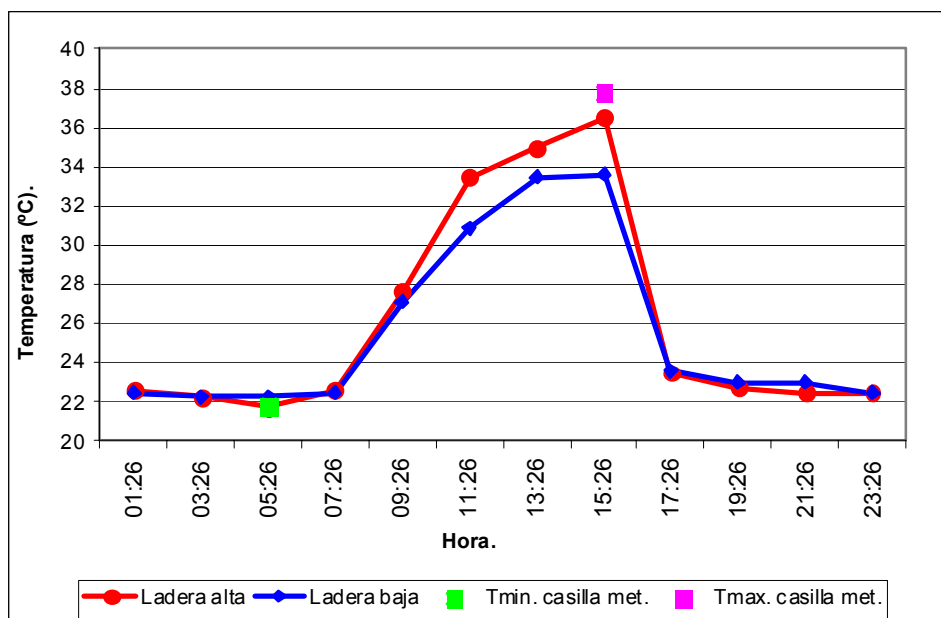


Figura 21. Evolución diaria de la temperatura a nivel de los racimos y follaje.

En el grafico se representa la curva de evolución diaria de la temperatura a nivel de los racimos en un día despejado del mes de enero (07/01/05). Cada curva promedia valores de cuatro registradores térmicos colocados en el interior de los racimos, en diferentes posiciones dentro de la vegetación. Las diferencias encontradas en la temperatura máxima alcanzada a las 16 horas, pueden ser explicadas por la diferente exposición de los racimos al sol que se observa en la ladera alta. Allí la mayor exposición de los racimos a la radiación solar directa se logra gracias a una menor cantidad de capas de hojas. Según los rangos de temperatura propuestos por Winckler (1980), Huglin (1986), se podría afirmar que la canopia de las plantas en la ladera alta sobrepasan los rangos óptimos para la fotosíntesis. Esto no significa un menor desempeño global de las plantas que crecen en esta situación como se verá mas adelante.

4.5.4 Rendimiento

Cuadro 13. Rendimiento por planta.

Parcela	Rendimiento de uva (kg/pl)
Ladera baja	9.0 a
Ladera alta	4.6 b

Como se adelantara oportunamente, las diferencias en la fertilidad de yema y la tasa de cuajado, son los factores que explican el gran contraste entre la producción de ambas parcelas, (Cuadro 8). La relación fuente fosa en la vid es determinante en la composición final de las bayas, Ferrer et al. (1997); por lo tanto esta diferencia significativa en rendimiento será tomada en cuenta en la explicación de la composición final de las bayas.

4.5.5 Composición de las bayas

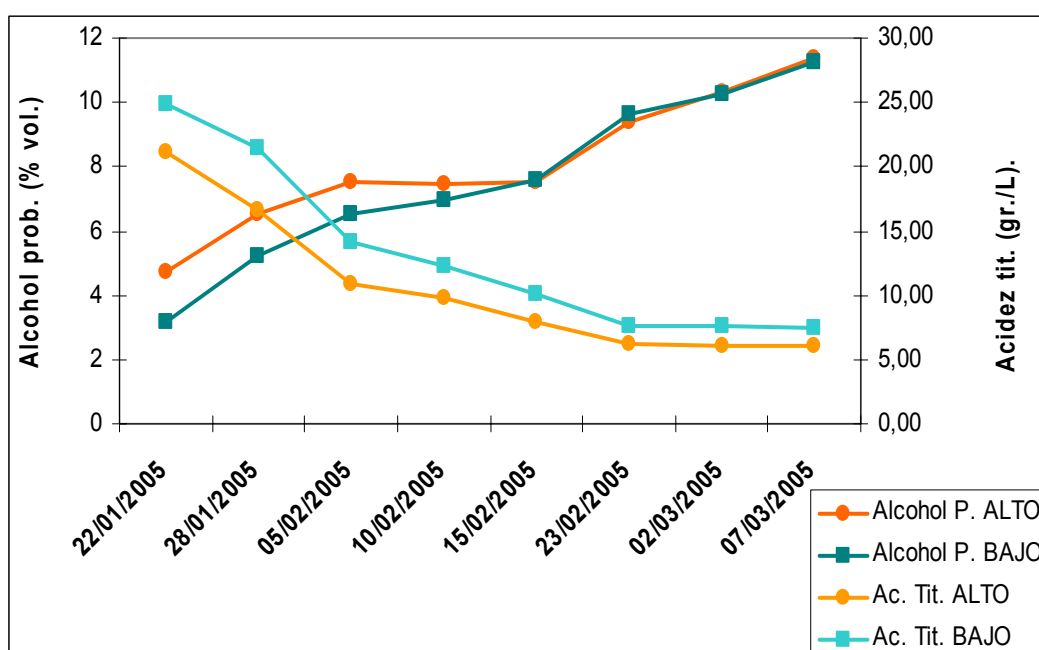


Figura 22. Evolución de la maduración expresada en Alcohol prob. y Acidez de las bayas.

Tomando en cuenta solamente el rendimiento final de las parcelas, la composición de las bayas no se modificó contrariamente a lo esperado, (Figura 22).

Según Coombe (2001), la mejora en la relación fuente fosa, constituida en este caso por la cantidad de superficie foliar en relación a la producción de fruta, produce un aumento significativo en la concentración de azúcares en las bayas.

Para este ensayo, la aparente contradicción podría revertirse si se toman en cuenta las relaciones hídricas entre la planta y el suelo y las modificaciones que estas producen sobre la partición de asimilados en las plantas. A propósito de

esto, Carbonneau (2001), Ojeda et al. (2004), entre otros numerosos autores, sostienen que la mayor precocidad en el cese del crecimiento vegetativo producen el cambio de destino de los azúcares asimilados en las hojas y su mayor concentración en los racimos. Podría afirmarse que las plantas creciendo en la ladera alta mostraron una mejor performance que sus pares de la ladera baja si tenemos en cuenta que lograron una composición final similar en las bayas, soportando rendimientos aproximadamente 100% superiores.

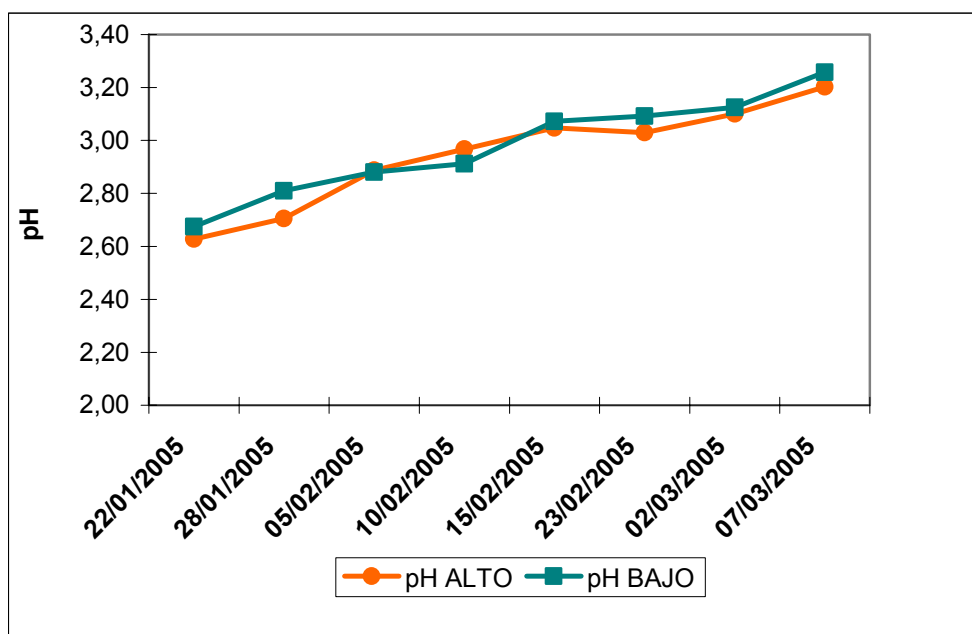


Figura 23. Evolución de la maduración expresada en pH.

El pH de las bayas no se modificó significativamente por los parámetros evaluados. Aunque Daan Koegelenberg (2003), presenta resultados contrarios a los obtenidos en este ensayo.

4.6 EQUILIBRIO VEGETO-PRODUCTIVO

4.6.1 Índice de Ravaz

Cuadro 14. Índice de Ravaz.

Parcela	Índice de Ravaz
Ladera alta	11.8 b
Ladera baja	4.7 a

Los resultados de Índice de Ravaz (Cuadro 14), muestran valores de desequilibrio para las dos situaciones de cultivo. Según Ravaz, citado por Champagnol (1986), el rango óptimo para este indicador de funcionamiento fisiológico se encuentra entre 6 a 8. Plantas por debajo de este rango, como las observadas en la ladera baja, se encuentran funcionando en un equilibrio desplazado hacia la producción de madera, el caso inverso sucede en la ladera alta. Para el caso de la ladera alta, la mejora en la partición o el empleo de las sustancias producidas en las hojas, atenuaría los efectos de esta situación de desequilibrio.

5. CONCLUSIONES

La asociación situación topográfica – suelo mostró diferentes valores en el contenido hídrico.

Esta modificación en el contenido hídrico, modifica el rendimiento, la expresión vegetativa y la composición de la uva.

En los perfiles caracterizados se encontró un diferente grado de diferenciación textural, lo que afecta a la distribución del sistema radicular.

Las características físicas del suelo asociado a la posición topográfica en la Ladera alta determinaron mejores condiciones hídricas, que favorecieron la maduración de la uva y el equilibrio vegeto-productivo de las plantas.

Los resultados obtenidos permiten sugerir que la dinámica del agua es uno de los factores limitantes de un suelo y debería ser considerado para su gestión o su elección al momento de la plantación a nivel predial.

El cálculo del Balance Hídrico de Riou (2001) es un método de fácil empleo para obtener una aproximación del contenido hídrico en el suelo.

6. RESUMEN

La topografía además del clima y el suelo, es de los elementos más importantes para la caracterización de un ecosistema vitícola. Ésta afecta la exposición a los rayos solares, el drenaje de aire frío y la dinámica del agua. En un viñedo comercial del cv. Tannat conducido en lira abierta, en la temporada 2004-05, en posiciones topográficas contrastantes, ladera alta y ladera baja, se estudió el régimen hídrico; con el objetivo de evaluar la influencia de estos dos componentes sobre el crecimiento vegetativo, la distribución radical y la calidad y composición de la uva. Durante la estación de crecimiento se realizaron determinaciones del contenido hídrico en suelo y potencial hídrico de base y foliar para las dos situaciones de cultivo, cinética del crecimiento vegetativo y seguimiento semanal de la maduración de la uva. La distribución de las raíces se estudió mediante una fosa pedológica y por mapeo por calibración de las mismas. Se determinaron diferencias en el régimen hídrico para ambas situaciones. Las plantas de la ladera alta mostraron niveles de hidratación inferiores a las de la ladera baja. Se determinó diferencia significativa en el crecimiento vegetativo medido como superficie foliar expuesta siendo superior ésta en la ladera baja. La distribución del sistema radical fue afectado por el grado de diferenciación los horizontes del suelo en cada situación, siendo las raíces más homogéneas y profundas para la ladera alta y más superficiales y extendidas lateralmente para la ladera baja. La mayor oferta hídrica en la ladera baja disminuyó la producción de uva, de azúcar por hectárea y el pH, y se incrementó la acidez en las bayas. Este trabajo puede contribuir a la toma de decisiones de manejo a escala parcelaria así como en la gestión y en la elección del suelo de acuerdo a sus características hídricas.

Palabras clave: Tannat; Estado hídrico; Suelos; Composición de la uva.

7. SUMMARY

The topography apart from the climate and the soil, is one of the most important elements for the characterization of a wine-growing ecosystem. The topography affects the amount of incident solar radiation, cold air drainage and water dynamics. In a commercial vineyard Lyre trained of the cv. Tannat, along the season 2004-05, in contrasting topographic positions, high slope and down slope; the water regime was studied, with the aim of evaluating the influence of these two components on the vegetative growth, the root distribution and the quality and composition of the grape. During the vegetative season, determinations of soil water content, predawn leaf water potential, vegetative growth speed and weekly berry sampling were carried out in both topographic situations. The distribution of the roots was studied by means of a pedolological trench and its mapping and calibration. Significant differences were determined in the water regime between both situations. The vines of the high slope showed lower levels of hydration than those of the low slope. Significant differences were determined in vegetative growth measured as potential exposed leaf surface being this higher in the low slope. The distribution of the root system was affected by the degree of textural differentiation of soil horizons in each situation, being the roots on the high slope more homogeneous and deeper, and more superficial and laterally extended on the low slope. The higher water availability in the low slope decreased the berry yield, the sugar per hectare production and pH, while the acidity was increased in the berries. This study can contribute to improve managing decisions in plot scale as well as in the selection of the soil according to its physical characteristics.

Key words: Tannat; Water status; Soils; Berry composition.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. ANDRADES, M. 1990. Fisiología de la maduración de la uva. *Viticultura y Enología Profesional*. 9 (4): 21-30.
2. AZCON-BIETO, J.; TALÓN, M. 2000. *Fundamentos de fisiología vegetal*. Madrid, McGraw-Hill. 522 p.
3. BLANKE, M. 1992. Carbon economy of the grape inflorescence; 8. Lag phase during berry growth – fact or artefact. *Viticulture and Oenology Science*. 47: 112-115.
4. BOSSI, G.; FERRANDO, L.; MONTAÑA, J.; CAMPAL, N.; MORALES, H.; GANCIO, F.; SCHIPILOV, A.; PIÑEYRO, D.; SPRECHMANN, P. 1998. *Carta geológica del Uruguay; escala 1: 500.000*. Montevideo, Geoeditores. 145 p.
5. BOYER, J. 1970. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean and sunflower at various leaf water potentials. *Plant Physiology*. 46: 233-235.
6. BRANAS J.; VERGNES A. 1957. Morphologie du système racinaire. *Progrès Agricole et Viticole*. 3 (4): 29-104.
7. BRAVDO, B.; HEPNER, S.; LOINGER, S.; COHEN, S.; TABACMAN, H. 1985. Effect of irrigation and crop level on growth, yield and wine quality of Cabernet sauvignon. *American Journal of Enology and Viticulture*. 36 (2): 132-139.
8. CAMBRES D'AGRICULTURE. AQUITAINE. 2002. *Les cépages en Aquitaine*. Bordeaux, s.e. 7 p.
9. CARBONNEAU, A. 1998. Irrigation, vignoble et produits de la vigne. In: Tiercelin. *Traité d'irrigation*. Paris, Lavoisier. 1011 p.
10. _____. 2001. Gestion de l'eau dans le vignoble; theorie et pratique. In: Journées GESCO (12eme., 2001, Montpellier, France). *Memoires*. Montpellier, AGRO- Montpellier. pp. 3-22.
11. CIFRE, J.; BOTA, J.; ESCALONA, J.; MEDRANO, H.; FLEXAS, J. 2005. Physiological tools for irrigation scheduling in grapevine (*Vitis vinifera*)

- L.). An open gate to improve water-use efficiency?. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 106: 159-170
12. COCKROFT, B.; OLSSON, K.; LANYON, D.; CASS; A. 2006. Soil quality for orchards on duplex soils. (en línea). Sydney, CSIRO. Consultado 20 ene. 2007. Disponible en:
[http://www.dpi.vic.gov.au/dpi/vro/vrosite.nsf/0d08cd6930912d1e4a2567d2002579cb/fbf69bf1c7f593a3ca2571ca0015a3e5/\\$FILE/COCKROFT.pdf](http://www.dpi.vic.gov.au/dpi/vro/vrosite.nsf/0d08cd6930912d1e4a2567d2002579cb/fbf69bf1c7f593a3ca2571ca0015a3e5/$FILE/COCKROFT.pdf)
 13. CONRADIE, K. 2006. Soil type may influence wine style; Cabernet sauvignon from Durbanville and Robertson. A technical guide for wine producers (en línea). Cape Town, Wyboer. Consultado 19 ene. 2007. Disponible en <http://www.wyboer.co.za/recentarticles/1102soil.php3>.
 14. COOMBE, B. 1976. The development of fleshy fruits. *Annual Review of Plant Physiology*. 27: 507-528.
 15. _____. 1987. Distributions of solutes within the developing grape berry in relation to its morphology. *American Journal of Enology and Viticulture*. 38 (2): 121-127.
 16. _____. 1992. Research on development and ripening of the grape berry. *American Journal of Enology and Viticulture*. 43 (1): 101-110.
 17. _____.; Mc CARTHY, M. 2000. Dynamics of grape berry growth and physiology of ripening. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 6: 131-135
 18. COOPERATIVE RESEARCH CENTRE FOR VITICULTURE. 2006. VitiNotes. Vineyard activities; measuring soil strength. (en línea). Melbourne. Consultado 12 abr. 2007. Disponible en <http://www.crcv.com.au/viticare/vitinotes/>
 19. CHAMPAGNOL, F. 1984. Éléments de physiologie de la vigne et de viticulture générale. Montpellier, Imprimerie Dehan. 351 p.
 20. CHONE, X.; VAN LEUWEEN, C.; DUBOURDIU, D.; GAUDILLERE, J. 2001. Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status. *Annals of Botany*. 87: 477-483.

21. DANN KOEGELENBERG, P. 2003. pH: A manageable quality parameter. A technical guide for wine producers. (en línea). Cape Town, Wynboer. Consultado 20 set. 2005. Disponible en: <http://www.wynboer.co.za>
22. DELOIRE, A.; FERRER, M.; CARBONNEAU, A. 2003a. Respuestas de la viña al Terroir. Elementos para un método de estudio. *Agrociencia*. 7 (1): 105-113.
23. _____.; CARBONNEAU, A.; FEDERSPIEL, B.; OJEDA, H.; WANG, Z.; COSTANZA, P. 2003b. La vigne et l'eau. *Le Progrès Agricole et Viticole*. (4): 79-90.
24. _____.; _____.; WANG, Z.; OJEDA, H. 2004. Wine and water. A short review. *Journal International des Science de la Vigne et du Vin*. 38 (1): 1-13.
25. DURAN, A. 1985. Los suelos del Uruguay. Montevideo, Hemisferio Sur. 398 p.
26. FERRER, M.; GONZÁLEZ-NEVES, G. 2002. Resultados enológicos y productivos de la aplicación de diversas alternativas de raleo de racimos y distintas intensidades de poda invernal en *vitis vinifera* L. cv. Tannat. *Agrociencia*. 4 (1): 53-62.
27. FERREYRA, E.; SELLÉS, V.; RUIZ, S.; SELLÉS, M. 2003. Efecto del estrés hídrico aplicado en distintos períodos de desarrollo de la vid cv. Chardonnay en la producción y calidad del vino. *Agricultura Técnica*. 63 (3): 277-286.
28. FREEMAN, B.; SMART, R. 1976. A root observation laboratory for studies with grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture*. 27: 36-39.
29. _____.; KLIEWER, W. 1983. Effect of irrigation, crop level and potassium Fertilization on Carignane vines. II Grape and wine quality. *American Journal of Enology and Viticulture*. 34 (3): 197-206.
30. FREGONI, M. 1998. *Viticultura di qualità*. Verona, L'Informatore Agrario. 707 p.
31. GARCÍA-ESCUADERO, E.; LÓPEZ-MARTÍN, R.; SANTAMARÍA, A.; ZABALLA, O. 1997. Ensayos de riego localizado en viñedos

productivos del cv. Tempranillo. *Viticultura y Enología Profesional*. no. 50: 35-47.

32. GAUDILLÈRE, J.; VAN LEUWEEN, C.; OLLAT, N. 2002. Carbon isotope composition of sugars in grapevine, an integrated indicator of vineyard water status. *Journal of Experimental Botany*. 53 (369): 757-763.
33. GINESTAR, C.; EASTMAN, J.; GRAY, S.; ILAND, P. 1998. Use of sap flow sensor to schedule vineyard irrigation. Effects of post-verasion water deficit on water relations, vine growth, yield and composition of grapes, in cv. Syrah. *American Journal of Enology and Viticulture*. 49 (4): 413-428.
34. GÓMEZ-DEL-CAMPO, M.; RUIZ, C.; LISSARRAGUE, J. 2002. Effect of water stress on leaf area development, photosynthesis, and productivity in Chardonnay and Airén Grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture*. 53 (2): 138-143.
35. GUROVICH, L. 2002. Riego deficitario en la calidad de mostos y vinos en variedades viníferas finas. Santiago de Chile, Pontificia Universidad Católica. 54 p.
36. HARDIE, W.; CONSIDINE, J. 1976. Response of grapes to water-deficit stress in particular stages of development. *American Journal of Enology and Viticulture*. 27 (2): 55-61.
37. HEPNER, Y.; BRAVDO, B.; LOINGER, C.; COHEN, S.; TABACMAN, H. 1985. Effect of drip irrigation growth, yield, must composition and wine quality of Cabernet Sauvignon. *American Journal of Enology and Viticulture*. 1985. 36 (1): 77-85.
38. HIDALGO, L.; CANDELA, M. 1969. *Morfología radicular de la vid*. Madrid, INIA. 101 p.
39. _____. 1977. Bases fisiológicas del desarrollo de las uvas, su vocación para mesa y vino. In: *Simposio Latinoamericano de la Uva y el Vino (1er., 1977, Montevideo)*. Trabajos presentados. Montevideo, Laboratorio Tecnológico del Uruguay. pp. 189-211 (Cuaderno Técnico no.38).
40. HILLEL, D. 1982. *Introduction to soil physics*. London, Academic Press. 365 p.

41. HUGLIN, P. 1986. Biologie et écologie de la vigne. Lausanne, Payot. 371 p.
42. JACKSON, D.; LOMBARD, P. 1993. Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality – A review. *American Journal of Enology and Viticulture*. 44 (4): 409-430.
43. KAPLAN, A.; LABELLA, S.; RUCKS, L.; DURÁN, A. 2001. Manual para la descripción e interpretación del perfil del suelo. Montevideo, Facultad de Agronomía. 69 p.
44. KATERJI, N.; HALLAIRE, M. 1984. Les grandeurs de référence utilisables dans l'étude de l'alimentation en eau des cultures. *Agronomie*. 4 (10): 999–1008.
45. KENNEDY, J. 2002. Understanding grape berry development. (en línea). Eugene, Oregon State University. Department of Food Science and Technology. Consultado 30 oct. 2006. Disponible en <http://www.practicalwinery.com/julyaugust02/julaug02p14.htm>
46. KLEEWER, W.; FREEMAN, B.; HOSSOM, CH. 1983. Effect of irrigation, crop level and potassium fertilization on Carignan Vines. II. Degree of water stress and effect on growth and yield. *American Journal of Enology and Viticulture*. 34 (3): 132-139.
47. LAKSO, A.; POOL, R. 2005. Efecto del estrés hídrico en el viñedo y en la calidad del vino (climas del Este). (en línea). *Viticultura y Enología*. 11 (2): 1–10. Consultado 30 set. 2006. Disponible en <http://www.infowine.com>
48. LANYON, D.; CASS, A.; HANSEN D. 2004. The effect of soil properties on vine performance. CSIRO. Land and Water Technical Report No. 34/04. 88 p.
49. LEBON, E.; SCHULTZ, H.; DUMAS, V. 1995. Application d'un modèle d'interception du rayonnement solaire par la vigne pour la simulation du bilan hydrique et de la photosynthèse à l'échelle du couvert; résultats préliminaires. In: *Jornadas GESCO (8as., 1995, Vila do Conde, Portugal)*. Actas. Vila do Conde, s.e. pp. 31-38.
50. _____; PELLEGRINO, A.; LECOER, J.; TARDIEU, F. 2001. Réponses architecturales du rameau induites par un déficit hydrique contrôlé du sol chez la vigne (*Vitis vinífera* L. cv Grenache noir). In: *Journées*

GESCO (12^{ème.},2001, Montpellier, France). Memories. Montpellier, ENSAM. pp. 229-235.

51. _____.; DUMAS, V.; PIERI, P.; SCHULTZ, H. 2003. Modeling the seasonal dynamics of the soil water balance of vineyards. *Functional Plant Biology*. 30: 699-710.
52. LEÓN, R. 2001. Comparación de métodos de análisis mecánico de suelos. *Terra Latinoamericana*. 19 (3): 2219–225.
53. LIU, W.; POOL, R.; WENKERT, W.; KRIEDEMANN, P. 1978. Changes in photosynthesis, stomatal resistance and abscisic acid of *Vitis labruscana* through drought and irrigation cycles. *American Journal of Enology and Viticulture*. 29 (4): 239-246.
54. MATHEWS, M.; ANDERSON, M; SCHULTZ, H. 1987. Phenologic and growth responses to early and late season water deficits in Cabernet Franc. *Vitis*. 26: 147-160.
55. _____.; _____. 1988. Fruit ripening in *Vitis Vinífera*. Responses to seasonal water deficits. *American Journal of Enology and Viticulture*. 39 (4): 313-320.
56. _____.; _____.1989. Reproductive development in grape. (*Vitis Vinífera* L.) response to seasonal water deficits. *American Journal of Enology and Viticulture*. 40 (3): 52-60.
57. MERINO, N. 2003. Importancia de la valoración del suelo como componente del ecosistema vitícola y su asociación con la topografía en la producción de vinos de terruño. Tesis de Maestría. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía / Ecole Nationale Superieure Agronomique de Montpellier. 45 p.
58. MPELASOKA, B.; SCHACHTMAN, D.; TREEBY, M; THOMAS, M. 2003. A review of potassium nutrition in grapevines with special emphasis on berry ccumulation. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 9: 154–168.
59. NADAL, M.; AROLA, L. 1995. Effects of limited irrigation on the composition of must and wine of Cabernet sauvignon under semi-arid conditions. *Vitis*. 34 (3): 151-154.

60. NAOR, A., WAMPLE, R.L. 1994a. Gas exchange and water relations of field-grown Concord (*Vitis labruscana* Bailey) grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture*. 45: 333–337.
61. _____.; BRAVDO, B.; GELOBTER, J. 1994b. Gas exchange and water relations of field-grown Sauvignon blanc grapevines. *American Journal for Enology and Viticulture*. 45: 423-427.
62. OADES, J. 1984. Soil organic matter and structural stability; mechanisms and implications for management. *Plant and Soil*. 76: 319-337.
63. OJEDA, H.; DELOIRE, A., CARBONNEAU, A.; AGEORGES, A.; ROMIEU, C. 1999a. Berry development of grape vine: relations between the growth of berries and their content indicate cell multiplication and enlargement. *Vitis*. 38 (4): 145-150.
64. _____. 1999b. Influence de la contrainte hydrique sur la croissance du pericarpe et sur l'évolution des phenols des baies de raisin (*Vitis vinifera* L.) cv. Syrah. Thèse Doctorat. Montpellier, France. ENSAM/INRA. 163 p.
65. _____.; DELOIRE, A.; LEBON, E.; CARBONNEAU, A. 1999c. Influence of water deficit on grape vine berry growth. Effect on pericarp cell multiplication and enlargement. *Vitis*. 39 (4): 99-105.
66. _____.; LEBON, E.; ROMIEU, C.; CARBONNEAU, A.; ANADARY, C.; DELOIRE, A. 1999d. Relations entre le stress hydrique et la croissance des baies de *Vitis vinifera* L. cv. Syrah. Evolution des phenols. In: Journées GESCO (11^{ème}., 1999, Marsella, France). Actas. s.n.t. pp. 185-192.
67. _____.; ANADARY, C.; KRAEVA, E.; CARBONNEAU, A.; DELOIRE, A. 2002. Influence of water deficits on the synthesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of *Vitis Vinifera* L., cv. Shirah. *American Journal of Enology and Viticulture*. 53 (4): 261–267.
68. _____.; DELOIRE, A.; ZENPHING, W.; CARBONNEAU, A. 2004. Determinación y control del estado hídrico de la vid. Efectos morfológicos y fisiológicos de la restricción hídrica en vides. *Viticultura y Enología Profesional*. no. 90: 27-43.

69. OLLAT, N. 1997. Bases physiologiques et anatomiques de la croissance des baies de *Vitis vinifera* cv. Cabernet sauvignon. Thèse Doctorat. Montpellier, France. ENSAM/INRA. 131 p.
70. _____.; DIAKOU-VERDIN, P.; CARDE, J.; BARRIEU, F.; GAUDILLERE, J.; MOING, A. 2002. Grape berry development; a review. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*. 36 (3): 109-131.
71. PAYAN, J.; SALANÇON, E. 2003a. Comportement de la vigne face à la canicule et la sécheresse de 2003. *Le Progrès Agricole et Viticole*. 12: 282-286.
72. _____.; _____. 2003b. Definición del régimen hídrico de parcelas y cosechas. (en línea). *Wine Internet Technical Journal*. 15: 1-3. Consultado 25 set. 2006. Disponible en <http://www.vinidea.net>
73. PETEGOLLI, D. 1992. Gli stress idrici della vite. *Vignevini*. nos. 7-8: 29-32.
74. PEYNAUD, E. 1989. *Enología práctica; conocimiento y elaboración del vino*. Madrid, Mundi-Prensa. 414 p.
75. PONI, S.; LAKSO, A.; TURNER, J.; MELIOUS, R. 1994. Interactions of crop level and late season water stress on growth and physiology of field-grown Concord grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture*. 45: 252-257.
76. PORTABELLA, C. 1996. Consideraciones sobre irrigación de la vid. *Fruticultura Profesional*. no. 83: 30-34.
77. POUGET, R. 1968. Nouvelle conception du seuil de croissance chez la vigne. *Vitis*. 7: 201-205.
78. PUMPIN, M.; URREJOLA, R. 1999. Efectos del riego deficitario en el desarrollo vegetativo y reproductivo de la vid (*Vitis vinifera* L.) en variedades finas. Santiago de Chile, Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. 75 p.
79. PUYO, M. 1992. Influencia de diferentes regímenes de riego sobre el desarrollo vegetativo, productividad, maduración y calidad de vinos Cabernet sauvignon. Santiago de Chile, Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. 101 p.

80. RIBÉREAU-GAYON, J.; PEYNAUD, E. 1982. Biología de la viña, suelos de viñedos. Ciencias y técnicas de la viña. Buenos Aires, Hemisferio Sur. 671 p.
81. RICHARDS, D. 1983. The grape root system. Horticultural Reviews. 5: 127-168.
82. RIOU, CH.; LEBON, E. 2000. Application d'un modèle de bilan hydrique et de la mesure de la température de couvert au diagnostic du stress hydrique de la vigne à la parcelle. Bulletin de l' O.I.V. 73 (837-838): 755 – 764.
83. _____.; PAYAN, J. 2001. Outils de gestion de l'eau en vignoble méditerranéen. Application du bilan hydrique au diagnostic du stress hydrique de la vigne. In: Journées GESCO (12ème.,2001 ,Montpellier, France). Compte rendu. Montpellier, ENSAM. pp.125-133.
84. RUCKS, L.; GARCÍA, F.; KAPLÁN, A.; PONCE DE LEÓN, J. 2000. Propiedades físicas del suelo. Montevideo, Facultad de Agronomía. s.p.
85. _____.; _____.; _____.; _____.; HILL, M. 2004. Propiedades hídricas del suelo. Montevideo, Facultad de Agronomía. 102 p.
86. SALISBURY, F.; ROSS, C. 1978. Plant physiology. 2nd. ed. London, Wadsworth. 422 p.
87. SCHOLANDER, P.; HAMMEL, H.; EDDA, D.; BRADSTREET, E.; HEMINGSTEN, E. 1965. Sap pressure in vascular plants. Science. 148: 339-346.
88. SCHULTZ, H.; MATHEWS, M. 1993. Growth, osmotic adjustment and cell-wall mechanics of expanding grape leaves during water deficits. Crop Science. 33 (2): 287-294.
89. _____. 2003. Differences in hydraulic architecture account for near-isohydric and anisohydric behaviour of two field-grown *Vitis vinífera* L. cultivars during drought. Plant, Cell and Environment. 26: 1393-1405.

90. SMART, R.; TURKINGTON, C.; EVANS, J. 1974. Grapevine response to furrow and trickle irrigation. *American Journal of Enology and Viticulture*. 25 (2): 62-66.
91. _____. 1985. Principles of grapevines canopy management microclimate manipulation whit implications for yield and quality. *American Journal of Viticulture and Enology*. 36: 230–242.
92. STAUDT, G.; SCHNEIDER, W.; LEIDEL, J. 1986. Phases of berry growth in *Vitis vinifera*. *Annals of Botany*. 58: 798-900.
93. TARDÁGUILA, J.; PARDO, J.; GÓMEZ, R.; BERTAMINI, M.; BLANCH, A. 1997. Influencia del ecosistema vitícola sobre la composición isotópica de la uva y del vino. *Viticultura y Enología Profesional*. no. 51: 20-27.
94. TARDIEU, T.; DAVIES, W. 1992. Stomatal response to abscisic acid is a function of current plant water status. *Plant Physiology*. 98: 540-545
95. TERZACHI, A.; SGANGA, J. 1981. Características físicas de los principales suelos agrícolas de Canelones-Montevideo; su interpretación agronómica. I. Susceptibilidad a la erosión. Uruguay. Ministerio de Agricultura y Pesca. Dirección de Suelos. Boletín Técnico no. 8. 23 p.
96. TEUBES, A.; WIESE, J. s.f. Practical viticultural experience of certain "new" cultivars Viognier, Petit Verdot, Tannat, Mourvèdre. (en línea). Cape Town, Wyboer. Consultado 30 oct. 2006. Disponible en <http://www.wynboer.co.za/recentarticles/articles.php3>
97. TOMASI, D.; CALÓ, A.; BISCARO, S. VETTORELLO, G. PANERO, L.; DI STEFANO, G. 1999. Influence des caracteristiques physiques du sol sur le developpment de la vigne, dans la composition polyphénolique et anthocyanique des raisins et la qualité du vin de Cabernet Sauvignon. *Bulletin de l'OIV*. 72 (819-820): 321-337.
98. URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERÍA, AGRICULTURA Y PESCA. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay, escala 1: 1.000.000. Montevideo. 96 p.
99. VAN LEUWEEN, C.; SEGUIN, G. 1994. Incidences de l'alimentation en eau de la vigne appréciée par l'état hydrique du feuillage, sur le

développement de l'appareil végétatif et la maturation du raisin (*Vitis vinifera* variété Cabernet franc, Saint Emilion 1990). Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin. 28: 81-110.

100. _____.; GAUDILLERE, J.; TREGOAT, O. 2001. L'évaluation du régime hydrique de la vigne à partir du rapport isotopique $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$. L'intérêt de sa mesure sur les sucres du moût à maturité. Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin. 35 (4): 195-205.
101. VAN ZYL, J. 1985. Influence de l'irrigation sur la croissance et la qualité des vignes et raisins de Colombar. Bulletin de l'OIV. 58 (648-649): 173-188.
102. WANG, S.; OKAMOTO, G.; HIRANO, K.; LU, J.; ZHANG, C. 2001. Effects of restricted rooting volume on vine growth and berry development of Kyoho grapevines. American Journal of Enology and Viticulture. 52: 248-253.
103. WHITE, R. 2003. Soils for fine wines. Cary, NC., Oxford University. 207 p.
104. WILDMAN, W.; NEJA, R.; KASIMATIS, A. 1976. Improving grape yield and quality with depth-controlled irrigation. American Journal of Enology and Viticulture. 27 (1): 168-175.
105. WINKLER, A. 1980. Viticultura. México, Continental. 792 p.
106. ZELLEKE, A.; KLIEWER, M. 1979. Influence of root temperature and rootstock on budbreak, shoot growth, and fruit composition of Cabernet sauvignon grapevines grown under controlled conditions. American Journal of Enology and Viticulture. 30 (4): 312-317.
107. ZUFFEREY, V.; MURISIER, F. 2004. Etude des terroirs viticoles Vaudois. Comportement de la vigne en fonction des conditions pedo-climatiques; rapport final. Changins, France, Agroscope RAC/Centre Viticole du Caudoz. 222 p.