

UNIVERSITAT DE LLEIDA

**Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària
Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl**

**Impacto del cambio en el manejo de tierras con viña de
secano del área mediterránea sobre la suplencia de
humedad al cultivo y sobre los procesos de degradación
del suelo: Caso de la Comarca del Anoia**

Memoria presentada por:

Silvana Nacci Sulbaran

Para optar al grado de Doctor

Director de tesis:

Profesor Dr. Ildefonso Pla Sentís

Director de tesis,

Doctoranda,

Lleida 2010

Tabla de contenidos

Resumen
.....I	
Resum
.....IV	
Abstract
.....VI	
Sumario	
.....	
.....VIII	
1 Capítulo I. Introducción y Antecedentes	10
1.1 Introducción	10
1.1.1 Motivación	10
1.1.2 Objetivos.....	10
1.2 Antecedentes.....	11
1.2.1 Las condiciones edáficas y el cultivo de la viña.....	15
1.2.2 Sumario	19
2 Capítulo II. Información sobre la comarca del Anoaia	22
2.1 Localización y particularidades del cultivo de la viña en la comarca del Anoaia	22
2.2 Clima	24
2.3 Geología	26
2.4 Suelos	27

2.5	Sumario	31
3	Capítulo III. Aspectos metodológicos básicos de la investigación.....	35
3.1	Introducción	35
3.2	Selección y ubicación de las zonas experimentales.....	35
3.3	Montaje de la experimentación en campo	36
4	Capítulo IV. Caracterización de las propiedades físicas de tierras con viña de secano en la comarca del Anoia	40
4.1	Introducción	40
4.2	Metodología	40
4.2.1	Dinámica hidráulica	41
	Infiltración bajo lluvia simulada.....	42
	Infiltración a través del sello superficial	42
	Infiltración bajo condiciones de inundación.....	43
	Conductividad hidráulica saturada (Ksat.)	43
	Conductividad hidráulica saturada (Ksat.) del sello	44
	Propiedades de retención de humedad del suelo	45
	Índices de drenaje.....	45
4.2.2	Condiciones estructurales	45
4.2.3	Características mecánicas de los suelos	49
4.3	Resultados y discusión.....	50
4.3.1	Condiciones edáficas generales de los suelos	50
4.3.2	Retención, penetración y movimiento del agua en el suelo	56
4.3.3	Condiciones estructurales de los suelos	74
4.4	Conclusiones.....	80

5 Capítulo V. Desarrollo de la vid en las condiciones edáficas estudiadas	84
5.1 Introducción	84
5.2 Materiales y métodos.....	84
5.3 Resultados y discusión.....	86
5.3.1 Caracterización del desarrollo radicular.....	86
5.3.2 Estimación de rendimiento.....	89
5.3.3 Desarrollo radicular del cultivo y condiciones físicas de los suelos	90
5.4 Conclusiones.....	93
6 Capítulo VI. Régimen de humedad en el suelo	95
6.1 Introducción	95
6.2 Materiales y métodos.....	96
6.2.1 Bases teóricas del modelo utilizado	98
6.2.2 Datos de entrada y salida del modelo de simulación.....	101
6.3 Resultados y discusión.....	102
6.3.1 Régimen de humedad en la zona experimental I.....	102
6.3.2 Régimen de humedad para la zona experimental II	105
6.4 Conclusiones.....	108
7 Capítulo VII. Simulación del régimen de humedad de los suelos bajo diferentes escenarios....	111
7.1 Introducción	111
7.2 Metodología	111
7.2.1 Evolución en el tiempo de la humedad en el perfil de suelo ...	112
7.2.2 Disponibilidad de humedad para la vid durante su ciclo de desarrollo.....	112

7.3	Resultados y discusión.....	113
7.3.1	Evolución en el tiempo de la humedad en la zona radicular..	113
7.3.2	Balance anual del agua de lluvia en la zona radicular	128
7.3.3	Disponibilidad de agua y ciclo anual de la viña	134
7.4	Conclusiones.....	142
8	Capítulo VIII. Comentarios y conclusiones del trabajo.....	144
8.1	Comentario general.....	144
8.2	Conclusiones del trabajo	145
9	Bibliografía	149

Resumen

Los procesos de degradación de tierras afectan a la conservación del suelo y de los recursos hídricos, y están vinculados a cambios desfavorables en el comportamiento hidrológico del suelo que son determinantes en la suplencia de humedad al cultivo. Estos procesos están relacionados con las características del suelo y del clima, pero el uso de la tierra y las prácticas de manejo inapropiadas son también determinantes en la dinámica de estos procesos. Durante los últimos años se ha estudiado la interacción de los cambios en el uso de la tierra, las prácticas de manejo y el clima, con los procesos de degradación de tierra asociados a cambios desfavorables en los procesos hidrológicos en zonas con viñedos de secano en Cataluña, (NE España).

La investigación se ha realizado en campos comerciales de la comarca del Anoia en Cataluña, donde se producen vinos y cavas de calidad bajo la denominación de origen Penedés. En esa región la superficie de viñedos para la producción de vinos y cavas de alta calidad ha aumentado en los últimos 20 años, y ha estado acompañada por un cambio radical de las prácticas de manejo tradicionales, que incluyen la adecuación del terreno en zona de pendiente a través de nivelación, cortes y rellenos, para permitir la mecanización de la mayoría de las labores agrícolas, incluyendo la vendimia.

En la región el clima es mediterráneo semiárido, con un promedio anual de precipitaciones de alrededor de 600 mm, muy irregularmente distribuidos y con una gran variabilidad en los totales de un año a otro. Las precipitaciones se caracterizan por la concentración de lluvias en el otoño-invierno, un verano muy seco y por alguna tormenta de primavera de alta concentración e intensidad.

En los suelos derivados de la adecuación de los terrenos en zona de pendiente, las evaluaciones realizadas indican que en las áreas donde se decapitaron los horizontes superficiales originales, hay una reducción en la tasa de infiltración de agua de lluvia y un incremento en el volumen de agua de escorrentía, como consecuencia de la formación de un sello superficial. En esas zonas hay un limitado desarrollo y profundización de

las raíces de la vid, por lo que la capacidad de almacenamiento de agua utilizable por las plantas queda reducida. En las zonas más bajas del paisaje donde se han colocado materiales de relleno, cuando se acumula agua de escorrentía suelen crearse condiciones de poca consistencia y baja estabilidad del terreno. Todo esto se manifiesta en irregularidades en la suplencia de agua para el cultivo, con efectos en la cantidad y calidad de producción, y en incrementos de procesos de erosión superficial, en las zonas de corte; y en mayores riesgos de erosión en cárcavas y movimientos en masa en las zonas de relleno.

De los estudios realizados se concluye que un análisis basado en evaluaciones in situ de propiedades físicas del suelo, de los procesos hidrológicos y de las características climáticas, puede ser muy útil, para evaluar la disponibilidad de agua para la vid y predecir los procesos de degradación de suelos y aguas y sus efectos derivados de cambios en el uso y manejo de las tierras con viña de secano. Esto debería ser un paso previo en la selección y diseño de sistemas y estructuras de conservación de suelo y agua más eficientes y sostenibles.

Resum

Els processos de degradació de terres afecten a la conservació del sòl i dels recursos hídrics, perquè estan vinculats a canvis desfavorables al comportament hidrològic del sòl que són determinants per la suplència d'aigua al cultiu. Aquests processos estan relacionats amb les característiques del sòl i el clima, però l'ús de la terra i les pràctiques de maneig inapropiades són també determinants en la dinàmica d'aquests processos. Durant els últims anys s'ha estudiat la interacció entre els canvis en l'ús de la terra, les pràctiques de maneig i el clima, amb els processos de degradació del sòl associats a canvis desfavorables en els processos hidrològics en zones amb vinyes de secà a Catalunya (NE Espanya). S'han avaluat problemes de disponibilitat d'aigua al sòl de la vinya durant el cicle del cultiu, d'erosió superficial, d'escolament, d'acumulació d'aigua superficial, i s'han relacionat amb canvis en el comportament hidrològic associats a nous sistemes de plantació i pràctiques de maneig.

La investigació s'ha realitzat en camps comercials de la zona vitícola de Catalunya on es produeixen els vins i caves de qualitat sota la denominació d'origen Penedès. En aquesta regió la superfície de vinyes per a la producció de vins i caves d'alta qualitat ha augmentat en els últims vint anys i ha estat acompanyada per un canvi radical de les pràctiques de maneig tradicionals. Aquestes inclouen l'adequació del terreny en zona de pendent a través d'anivellació, talls i farciments, per a permetre la mecanització de la majoria dels treballs agrícoles, inclosa la verema.

A la regió, el clima és mediterrani semi àrid, amb un promig anual de precipitacions al voltant de 600mm, molt irregularment distribuïts, i amb una gran variabilitat en els totals d'un any a un altre. Les precipitacions es

caracteritzen per la concentració de pluges a la tardor -hivern, un estiu molt sec i per alguna tempesta de primavera d'alta concentració i intensitat.

Als sòls derivats de l'adequació dels terrenys en zona de pendent, les avaluacions realitzades indiquen que a les zones on es decapitaren els horitzons superficials originals, hi ha una reducció de la taxa d'infiltració d'aigua de pluja i un increment del volum d'aigua d'escolament, com a conseqüència de la formació d'un segell superficial. Els perfils de sòl tenen poca capacitat d'emmagatzematge d'aigua per la vinya. L'acumulació d'aigua d'escolament a les zones ubicades en les posicions més baixes del paisatge creen condicions de poca consistència del sòl a les zones on s'ha col·locat materials de farciment. Tot això es manifesta en irregularitats en la suplència d'aigua per al cultiu, amb efectes a la quantitat i la qualitat de la producció, i en l'increment de processos d'erosió superficial a les zones de tall; i en majors riscos d'erosió en escorrancs i moviments en massa a les zones de farciment. Es conclou que un anàlisi basat en les avaluacions in situ de propietats del sòl, dels processos hidrològics i de les característiques climàtiques, pot ser molt útil per avaluar la disponibilitat d'aigua per a la vinya i predir els processos de degradació de sòls i aigües i els seus efectes derivats dels canvis en l'ús i el maneig de les terres amb vinya de secà. Aquest hauria de ser un pas previ a la selecció i disseny de sistemes i estructures de conservació de sòl i aigua més eficients i sostenibles.

Abstract

The land degradation processes affect the conservation of soil and water resources, because they are linked to adverse changes in the hydrological behavior that affect soil moisture supply in the crops. These processes are related to soil characteristics and climate, but the land use and inappropriate management are also crucial in the dynamics of these processes. In recent years there have been studied the interactions of changes in land use, management practices and climate, with the processes of land degradation associated with adverse changes in hydrological processes in sloping areas with vineyards in Catalonia (NE Spain). The water availability in the soil for the vineyard during the cropping period, the surface and mass erosion, the runoff and the water logging problems have been assessed and were associated with changes in the hydrological behavior associated with new planting systems and management practices.

The research was conducted in commercial fields with vineyards in Catalonia where there are produced high quality wines and cava (spanish champagne) under the appellation of origin Penedés. In this region the surface of vineyards to produce wines and cava has increased over the

past 20 years and has been accompanied by a radical change in traditional management practices including the adequacy of the ground in sloping zones through leveling, to permit the mechanization of most agricultural operations, including the vintage.

The region has a semi-arid Mediterranean climate with an average annual rainfall of about 600 mm, very unevenly distributed and with a great variability in the totals from one year to another. Rainfall is characterized by a rain concentration in autumn-winter, a very dry summer and some spring storms of high concentration and intensity.

In the transformed zones through leveling operations, the evaluations indicate that in the areas where the original surface horizons were decapitated there is a reduction in the rate of rainwater infiltration and an increase in the volume of water runoff due soil surface sealing. In these areas the soil profiles have lower water storage capacity for the crop. The accumulation of runoff water in areas located in the lower positions of the landscape, with refilled soil, creates conditions of poor soil consistency. All this is reflected in irregularities in the water supply for the vines, with effects on the quantity and quality of production and in increasing risks of surface erosion processes in the decapitated areas; and a greater risk of gully and mass erosion in the lower refilled areas.

We conclude that an analysis based on site assessments of soil physical properties, hydrological processes and climate characteristics can be very useful to assess the availability of water for the vines and to predict degradation processes of soil and water and their effects due to changes in the use and management of lands with rainfed vineyards. This should be a previous step in the selection and design of systems and structures for a more efficient and sustainable soil and water conservation.

Sumario

En las últimas décadas muchas tierras con viña de secano y en pendientes de la Europa Mediterránea, han intensificado la producción de viña para vinos de alta calidad, y han cambiado los sistemas tradicionales de manejo por sistemas altamente mecanizados, los cuales requieren cambios substanciales en los sistemas de plantación. Las plantaciones siguiendo las curvas de nivel, con crecimiento libre de las plantas de viña, y las estructuras de conservación, en base a terrazas estrechas, han sido sustituidas por sistemas de emparrado en largas hileras rectas, en cualquier dirección o sentido de la pendiente y separadas por más de dos metros. Todo ello para facilitar la circulación de las maquinarias (tractores, cosechadoras, etc) requeridas para las diferentes operaciones. Como paso previo a las nuevas plantaciones ha sido necesario eliminar las irregularidades del relieve natural, y atenuar las pendientes, para lo cual se hacen grandes trabajos de nivelación de tierras, con cortes, rellenos y eliminación de vías de drenaje natural.

En el presente trabajo se estudió el impacto de la adecuación y cambios en el manejo de tierras con viña de secano en áreas de pendientes sobre las condiciones físicas del suelo. El estudio se ha focalizado en la Comarca del Anoia, al NE de España, donde se realizaron observaciones y experimentación en campo y en laboratorio. Además, la información generada fue utilizada para alimentar un modelo hidrológico con el que se predijo la evolución de la humedad en la zona radicular de suelo, la escorrentía y los posibles problemas de degradación, asociados a las nuevas condiciones edáficas creadas por los trabajos de adecuación de terrenos y por los sistemas y prácticas de producción que se han introducido en la comarca.

La memoria escrita del trabajo se ha desarrollado en 8 capítulos para facilitar su lectura y comprensión. En el Capítulo 1 se presenta la motivación y los objetivos de este trabajo. Además se incluye una revisión bibliográfica centrada en los efectos hidrológicos de los cambios en el manejo de tierras con viña en la Europa mediterránea, y en la relación que hay entre las

propiedades de los suelos y la producción de vid para vinos y cavas de calidad.

La información de suelos, clima y manejo de la región se presenta en el Capítulo 2; en él se describen las particularidades del clima, la geomorfología y los suelos del Anoia, (Catalunya); y se caracteriza el manejo de la viña de secano y los procesos de adecuación de tierras con pendiente en la comarca.

Los aspectos metodológicos básicos de la investigación, como son la selección del área de trabajo, la ubicación de las zonas experimentales y el montaje de la experimentación, se describen en el Capítulo 3.

En los capítulos 4 y 5 se presenta el diagnóstico de las condiciones físicas de los suelos, y la caracterización del desarrollo del cultivo. En ellos se discute la influencia de las características de retención de humedad de los fragmentos de lutita calcárea, la formación de sello superficial, y la profundidad radicular sobre la disponibilidad de agua para el cultivo. También se caracteriza el desarrollo radicular y se hace una estimación de rendimiento.

La evolución de la humedad del suelo en el tiempo y el balance de agua a partir de mediciones in situ de la humedad en el suelo se presenta en el capítulo 6. En este capítulo también se contrastan los valores medidos con los valores obtenidos por simulación, utilizando un modelo basado en procesos hidrológicos del suelo.

En el capítulo 7, se reportan las simulaciones hechas con el modelo SOMORE para predecir la evolución de la humedad del suelo bajo diversas condiciones de clima y manejo, interpretadas en función del balance anual del agua de lluvia en el suelo y de la disponibilidad de agua en el ciclo anual de la viña.

En el capítulo 8 se presentan las conclusiones generales sobre el impacto de la adecuación de tierras con viña de secano en áreas de pendientes sobre la suplencia de humedad al cultivo y sobre los procesos de degradación del suelo.

1 Capítulo I. Introducción y Antecedentes

1.1 Introducción

1.1.1 Motivación

La comarca del Anoia (Catalunya), es una zona con una marcada tradición vinícola, pero abierta a las innovaciones tecnológicas. Por eso en los últimos años, se ha observado en la zona una tendencia a la mecanización de la mayoría de las labores agrícolas, y a la sustitución de los sistemas de plantación tradicional por sistemas de emparrado en largas líneas rectas, para facilitar el manejo del cultivo. Debido al relieve de la zona, realizar estas transformaciones requiere, en muchos casos de fuertes movimientos de tierras para atenuar las pendientes. En estos procesos de adecuación de tierras se realizan cortes, rellenos y nivelaciones, así como también la introducción e intensificación de prácticas mecanizadas, lo cual modifica de forma cuantitativa y cualitativa las características del suelo, creando unas particulares condiciones físicas, relacionadas con el grado de intervención que se llega a realizar en cada perfil de suelo.

Dado que el cultivo de la vid en la zona se realiza bajo condiciones de secano, por exigencias de la denominación de origen, es importante evaluar la influencia de estos cambios en el manejo de tierras sobre la dinámica del agua en estos suelos, para identificar qué factores determinan la disponibilidad de agua para la vid.

Con este marco de referencia, en el presente trabajo se seleccionó una zona representativa de los trabajos de adecuación de terrenos en pendientes, y de los sistemas y prácticas de producción que se realizan en la comarca del Anoia, para evaluar el impacto de los cambios introducidos, en el manejo del suelo y en el sistema de producción de la vid, sobre la suplencia de humedad al cultivo y sobre los procesos de degradación.

1.1.2 Objetivos

Objetivo principal:

Evaluar en la zona vitícola del Anoia el impacto de los cambios introducidos, en el manejo del suelo y en el sistema de producción, sobre la suplencia de humedad al cultivo de la vid y sobre los procesos de degradación del suelo.

Objetivos específicos:

1. Caracterizar la dinámica de las propiedades físicas en perfiles de suelo que han sufrido en diferentes grados los procesos de adecuación de tierras para el cultivo mecanizado de viña.
2. Estimar cual es la disponibilidad de agua para la viña a lo largo de su ciclo de cultivo, con los nuevos sistemas de manejo de tierras.
3. Identificar los procesos de degradación de tierras en la zona y su relación con los cambios introducidos, en el manejo del suelo y en el sistema de producción de la vid.

1.2 Antecedentes

Desde tiempos prehistóricos el hábitat mediterráneo ha estado ligado a las actividades humanas, y su estructura y funcionamiento no pueden comprenderse sin la continua e intensa, intervención humana en los procesos naturales, (Blondel & Aronson, 1999; Valladares, 2004).

Al respecto Mazzoleni et al., (2001), señala que los cambios en el uso de la tierra han sido una característica de las regiones mediterráneas desde el comienzo de la civilización humana. Durante miles de años, la utilización de territorio, por actividades agrícolas, ha sido el principal factor en la dinámica de uso del suelo.

Según Margaris et al.,(1996), durante el siglo XIX, estas dinámicas tuvieron diferentes vías. Así se tiene que a principios de siglo, la tendencia fue la transformación de tierras para abastecer las crecientes necesidades debido al crecimiento demográfico, pero durante los últimos años del siglo, la tendencia se invirtió y la vegetación silvestre aumentó su superficie. En ambos casos, los cambios fueron por razones socio-económicas, no climáticas o ecológicas.

Sala et al.,(2000), señala que actualmente se considera que los llamados cinco motores principales de cambio ambiental (cambio climático, alteración del hábitat, contaminación, intercambio biótico y sobreexplotación), están presentes en el área mediterránea. Entre ellos destacan por importancia, el cambio climático y el cambio de uso del territorio. Además se aprecian notables diferencias en la importancia de alguno de estos motores de cambio entre la zona sur y la norte de la Cuenca Mediterránea ya que, mientras en la primera predomina la sobreexplotación de los recursos, asociada con problemas erosivos graves, en la segunda va siendo cada vez mas importante el abandono de los usos tradicionales, que lleva asociado cambios muy significativos en la funcionalidad y diversidad de los ecosistemas.

En la región mediterránea la degradación de las tierras más vulnerables con clima árido y semiárido se remonta a lo largo de milenios, con acciones como: el pastoreo excesivo, la deforestación y los incendios forestales,(Dupre, 1990). En las últimas décadas, la introducción de sistemas de manejo de la tierra con nuevas prácticas asociadas a la intensificación agrícola, la mecanización, la falta de mantenimiento o por el contrario el abandono de vastas áreas de la agricultura en terrazas, han desencadenado la intensificación de los procesos de degradación de la tierra,(CE, 2003). A esto que habría que agregar que el clima en las zonas áridas y semiáridas del Mediterráneo se caracteriza por precipitaciones con una distribución y cantidad muy irregular, que aumenta los riesgos de la degradación de las tierras y la desertificación.

A medio o largo plazo, los cambios climáticos globales mayoritariamente contribuyen a acelerar los procesos de desertificación en la región del Mediterráneo (Imeson & Emmer, 1992), pero a corto plazo, el uso de la tierra y las prácticas de manejo conducentes a procesos de degradación del suelo aumentaran la influencia negativa de esos cambios(Pla,2006).

Los procesos de degradación del suelo y el agua están estrechamente vinculados a cambios desfavorables en los procesos hidrológicos responsables del régimen hídrico del suelo y de la disponibilidad de agua para los cultivos, (Pla, 2006). Asimismo, estos procesos de degradación se ven afectados por las variaciones climáticas y por los cambios en el uso y manejo de suelos y recursos hídricos. Estos nuevos usos de la tierra y prácticas de manejo son una

consecuencia de los cambios sociales y de las condiciones económicas: precios de mercado, políticas públicas etc, asociados al progreso tecnológico y al cambio en los sistemas de producción.

Algunos cultivos como la vid, por su gran capacidad de supervivencia en condiciones de sequía, han contribuido en el pasado a reducir los procesos y consecuencias de la desertificación de tierras en las regiones semiáridas de la región mediterránea. Pero en las últimas décadas, las tierras áridas con viñedos en la Europa Mediterránea han sufrido y están sufriendo grandes transformaciones, que pueden afectar gravemente a la conservación del suelo y los recursos hídricos. Dichas transformaciones, generalmente son derivadas de la necesidad de cambiar el uso y manejo de las tierras por factores económicos o de otro tipo y por escases de mano de obra. Estas suelen estar asociadas por una parte al abandono de algunas de dichas tierras, y por la otra parte a la intensificación de utilización agrícola de otras, con nuevos cultivos, variedades, sistemas de plantación, y a la mecanización de gran parte de las operaciones agrícolas.

La introducción de nuevos sistemas de producción de vid en la región mediterránea ha exigido grandes cambios en la plantación y los sistemas de cultivo, con la adecuación previa de los terrenos para la reducción de irregularidades y la disminución de las pendientes. Esto ha ocasionado cambios drásticos en las propiedades del suelo, que afectan principalmente a las propiedades hidrológicas y a el sistema de drenaje, y son responsables del régimen de humedad en el suelo (Pla, 2002).

Porta & Poch (1994); Usón (1998) y Martínez (1998) reportan que en la Comarca del Anoia- Alt Penedes los procesos de erosión, conducentes a la formación de regueros, cárcavas y barrancos, son producto de una acción geológica acelerada por la fuerte intervención antrópica en la zona. Los procesos de escorrentía en el área mediterránea provocan efectos indeseables en cuanto a las pérdidas de agua utilizable por las plantas, crean graves problemas de pérdidas de suelo, incrementan la red de barrancos y reducen las superficies cultivables. Los canales que desarrolla la escorrentía en su circulación por los terrenos cultivables tienen diversas características y consecuencias dependiendo de su patrón de distribución y tipo de flujo, ya

que el poder erosivo de la escorrentía depende del grado de turbulencia del flujo, que es una función de su velocidad y del radio hidráulico (Pla et al, 2001). El efecto erosivo de un flujo superficial laminar es acumulativo a lo largo de los años y sólo cuando el flujo se concentra dando lugar a regueros el efecto es inmediato. En las fases más avanzadas del flujo concentrado la escorrentía tiene un gran poder erosivo y como consecuencia aparecen cárcavas y barrancos, que además de disminuir la superficie de cultivo puede provocar daños a bienes y personas, relacionadas con deslizamientos, y colmataciones de embalses, (Rubio, 1990; Pla, 1992).

Rodríguez et al (1996) ha señalado que la incidencia de la erosión es particularmente importante en los viñedos, debido a que estos se encuentran frecuentemente en regiones de piedemonte con pendientes más o menos pronunciadas, y con una escasa protección del suelo durante gran parte del año. Además, en muchas parcelas no se aplican prácticas de conservación. En la viña el sistema de cultivo adoptado tiene enorme importancia en la aceleración o freno de determinados procesos erosivos, ya que cada uno de los distintos sistemas tiene implicaciones diferentes desde un punto de vista hidrológico. En la comarca de la Rioja con el laboreo tradicional siguiendo las curvas de nivel apenas se produce erosión del suelo, y el relieve que se crea resulta ser suficiente para retener la escorrentía producida por las lluvias de la zona.

Al respecto Pla (1996) reporta, que es necesario el entendimiento de las propiedades hidrológicas de los suelos y la dinámica de sus cambios bajo uso agrícola, para poder formular estrategias exitosas de manejo en agricultura de secano, donde la interacción entre precipitación, escorrentía, drenaje interno y evaporación afecta la productividad y el manejo de los cultivos. Las irregularidades en la distribución de lluvia tienen que ser reemplazadas por el agua de reserva en el suelo, la cual depende tanto de las características de retención del perfil como de las posibilidades de exploración y profundización que puedan tener las raíces. En suelos de relativa baja capacidad de almacenamiento y poco profundos, la producción de secano depende aún más de la utilización eficiente de la lluvia recibida.

El desarrollo y selección de las mejores alternativas de manejo para asegurar una productividad sostenida en el tiempo con este tipo de agricultura, hace necesario evaluar la cantidad de agua de lluvia disponible para la producción y estimar los déficits y excesos y su duración, para cada periodo de crecimiento en cada estación en zona particular.

1.2.1 Las condiciones edáficas y el cultivo de la viña

La perdurabilidad en el tiempo de toda actividad agrícola depende de la sostenibilidad del sistema de producción, basada en gran parte en la mejora y mantenimiento de la calidad del recurso suelo, tanto como medio para el crecimiento de las plantas, como regulador del régimen hídrico de los suelos a nivel de unidades hidrológicas y como filtro ambiental (Pla, 1998). Para un crecimiento satisfactorio de las plantas es indispensable que el suelo provea un ambiente físico favorable para el desarrollo de las raíces, el cual les permita un buen anclaje en el suelo, y la absorción del agua y nutrientes requeridos por las plantas. (Gardner et al, 1999).

Tradicionalmente, los efectos de las propiedades del suelo en la producción de *Vitis vinifera* (vid) han sido considerados como una influencia secundaria en la calidad del vino y de vid y en el rendimiento. Pero investigaciones más recientes (Rawson, 2002) llegan a la conclusión de que el suelo tiene una gran influencia en la composición de uva, lo que concuerda con lo ya señalado por Seguin (1986), acreditando que la producción de vino de calidad en las regiones de Médoc y Burdeos en Francia se debía directamente a las particulares de las condiciones edáficas. Por eso preocupa que cambios drásticos en los sistemas de manejo del cultivo, como la adecuación de terrenos en zona de pendientes con cortes, rellenos y nivelaciones, lleguen a modificar condiciones particulares de estos suelos, repercutiendo en la capacidad de los viñedos de estas regiones para producir uvas de alta calidad. Por otra parte, la realización de labores repetidas de cultivo, puede llevar a un deterioro de la estructura, que a corto o mediano plazo, se traduce en la presencia de una capa compactada, con una baja conductividad hidráulica por debajo de la zona radical, que restringe el

drenaje interno del perfil de suelo, (Coulon et al, 1984; Canarache, 1991; Gupta et al, 1991; Kienzler, 2001). Ello puede llevar a una retención prolongada de agua en la capa donde se desarrollan las raíces, (por encima de la cantidad que sería retenida en condiciones sin restricciones de drenaje) durante el tiempo suficiente para ser utilizada por la planta, pero también para crear problemas de aireación y provocar en algunos casos un flujo subsuperficial que incrementa los riesgos de deslizamientos de tierra (Pla, 1992).

Los efectos que sobre la producción de viña y la calidad del vino tienen las propiedades del suelo, han sido un tema de estudiado de diferentes investigadores, y entre los aspectos que se han evaluado se pueden citar los siguientes: (i) La textura y la temperatura del suelo y su impacto sobre la fenología de la vid, (Jones, 2003), (ii) La compactación del suelo y la resistencia a la penetración, (Van Huyssteen, 1983; Myburgh et al., 1996; Kienzler, 2001, (iii) la erosión de suelos de viñedo, (Loughram et al., 1992; Martinez, 1998; Pla, 1998), (iv) Las propiedades químicas de suelo de viñedos (Conradie & Saayman, 1989; Failla et al., 1993 (v), La temperatura del suelo y el desarrollo de la vid, (Gladstone, 1992; Myburgh & Moolman, 1993) (vi) La textura y la temperatura del suelo y su impacto sobre el crecimiento de las raíces, (Cass, 2002), (vii) Zonificaciones edáficas y producción de uva, (Vaudour, 2003; Sotes et al., 2003)), y La calidad del vino, (Rawson, 2002).

Tanto las características climáticas como las edáficas son factores críticos para determinar la idoneidad de una zona para la viticultura, y casi siempre resulta difícil separarlos, por lo que su influencia se suele estudiar en forma conjunta (Jones, 2003; Rawson, 2002; Bodin et al, 2006). En ese sentido, la enología moderna utiliza el término francés "terroir" para definir una entidad espacial y temporal, que se caracteriza por una interacción entre el medio ambiente y las potencialidades vitícolas y enológicas más importantes para la uva y el vino (Vaudour, 2003; Deloire et al., 2005). Este enfoque que considera que las particularidades del suelo y el clima en el que se cultiva la vid, juega un papel importante en la calidad de la uva y en las características sensoriales del vino, es un tema de creciente interés en los países productores de vino. Al respecto, Bodin et al, (2006) señalan que para su aplicación se

requiere la identificación exhaustiva de los componentes pedoclimáticos que permitiría definir el "terroir y establecer una rigurosa zonificación de los viñedos.

Como para la mayoría de los cultivos la bibliografía especializada cita, que las condiciones edáficas más adecuadas para la producción de *Vitis vinifera*, son suelos bien drenados, de pH neutro a ligeramente alcalino, bajo contenido de sal y libre de anegamiento (Northcote, 1988, Fregonni, 1998, Hidalgo, 1999,). Sin embargo, en el caso de España la viticultura mayormente se ha desarrollado en condiciones edáficas marginales y muy diferentes a las señaladas como ideales y tradicionalmente en condiciones de secano, por cuestiones de regulación de denominación de origen. En estas condiciones las propiedades físicas del suelo tienen una gran influencia sobre la calidad de la uva, pues controlan el contenido de agua del suelo, con un efecto directo sobre el equilibrio entre el vigor vegetativo y la producción de uva (Van Leeuwen & Seguin, 1994).

La cantidad variable de agua retenida por unidad de masa o volumen de suelo, es un factor importante que afecta al desarrollo de las plantas. A la vez son numerosas las propiedades del suelo que dependen marcadamente del contenido de humedad, que además determina los contenidos de oxígeno e intercambio gaseoso, afectando así directamente la respiración de las raíces, de los microorganismos y los estados químicos del suelo (Hillel, 1980). En agricultura de secano, más que la cantidad total de agua retenida en el suelo, es importante conocer la capacidad de retención de agua disponible. Como característica hidrológica y agronómica de los suelos, la capacidad de retención de agua disponible expresa cuánta agua puede ser almacenada en el suelo para que pueda ser usada por las plantas durante los periodos sin aportes de agua de lluvia lo que determina en muchos casos los riesgos de sequía. Así que la tasa de utilización del agua por las plantas viene a ser la respuesta del efecto combinado de la capacidad del sistema radicular de absorber agua y de la capacidad del suelo de suplirla y transmitirla.

Como en otros cultivos, la demanda de agua en la viña está regida por la interacción de factores atmosféricos y edáficos con los procesos fisiológicos de la planta. La vid a través de su ciclo de crecimiento se caracteriza por bajos requerimientos de agua antes de la floración y después de la cosecha

(otoño), y un consumo máximo en la parte media del periodo de crecimiento. (Smart, 1983; Williams & Matthews, 1990). Al respecto Hidalgo (1999) señala, que el consumo hídrico de la vid no es uniforme a través del año, y reporta los siguientes porcentajes de consumo de agua en los diferentes etapas de crecimiento: un 2% en reposo invernal, 10 % de la brotación al cuajado, 43% del cuajado al envero y un 45% del envero a la caída de la hoja. Reporta un valor de 280- 300 litros de agua para formar un Kg de materia seca, valores muy por debajo de otros cultivos mediterráneos.

A pesar de la alta resistencia de la vid a la falta de agua en condiciones de clima árido o semiárido, los déficits hídricos acentuados pueden traducirse en un insuficiente crecimiento vegetativo para sostener producciones rentables y en un efecto negativo en la calidad. El nivel de producción y de calidad de la viña está por lo tanto supeditada al efecto de las precipitaciones de cada año (Pascual 1994). En ese sentido, Godoy (1985) señala que la aparición de un déficit hídrico podría afectar la producción y la formación de las reservas y órganos necesarios para la siguiente estación. También Rodríguez (1996) comenta que la regularidad en la disponibilidad hídrica es determinante para una correcta maduración de la viña, indicando que un largo período de sequía absoluta después del enverado supone una clara reducción de la alimentación hídrica de la vid, que en casos extremos puede tener repercusiones en la calidad y en la producción.

Williams & Matthews (1990), señalan que en zonas de clima mediterráneo el mayor aporte de agua de lluvia al suelo ocurre durante los meses de otoño, cuando la vid está en su estado de latencia, por lo que el desarrollo posterior de la viña dependerá de la cantidad de agua que en esa época llega a almacenarse en el suelo. Cuando ocurre la aparición de las yemas en el invierno, el contenido de agua en el suelo suele ser alto. El carácter perenne de la viña le permite disponer en los estados iniciales del ciclo de crecimiento, de una gran masa de raíces para un área transpirante relativamente pequeña. Por ello, en los estadios iniciales de crecimiento, el nivel de agua en el suelo no suele restringir el crecimiento. Pero por su parte Matthews et al. (1987) indica que un estrés hídrico en cualquier momento del período de desarrollo del grano de uva (crecimiento y/o acumulación de azúcares)

supone una disminución del rendimiento y que dicha disminución es significativamente mayor cuando el estrés ocurre antes del envero, no afectando al número de racimos ni al número de granos, pero sí al peso del racimo y al volumen de los granos.

Las respuestas fisiológicas de la vid al déficit hídrico son muy variadas y dependen de la época en que éste se presente, durante la lignificación de la madera o maduración del fruto el estrés hídrico retarda el crecimiento de los pámpanos sin afectar la actividad fotosintética, favoreciendo la acumulación de azúcares en el leño sin afectar la lignificación (Sotes et al. 1987). Para Pascual (1994), las fases de crecimiento de los pámpanos, y de formación y maduración del fruto suelen ser las épocas críticas.

A pesar de que la vid es un cultivo con una alta resistencia a la sequía, si durante el periodo de máximas necesidades hídricas del cultivo, la capacidad de reserva de agua en la zona radicular es insuficiente y son escasos los aportes de agua de lluvia durante ese periodo, ello puede dar lugar a un largo periodo de déficit de agua en el suelo, que afectaría el crecimiento, la producción y la maduración de la vid.

1.2.2 Sumario

En la comarca del Anoia, los recursos hídricos son limitados, y es crucial para la sostenibilidad de la actividad vitícola de la comarca evaluar el impacto de los trabajos de adecuación de los terrenos sobre las condiciones edáficas del suelo. A pesar que se han estudiado los procesos de degradación asociados a cambios en el manejo en la comarca, Boixadera, (1993); Poch & Porta, (1994); Usón, (1998); Ramos & Porta, (2000); Martínez (2000), hasta el momento la dinámica del agua en estos suelos ha sido poco evaluada. Por eso, en este trabajo se pretende evaluar y diagnosticar las condiciones físicas del suelo asociadas a cambios en el sistema de producción de la viña, y su influencia sobre la suplencia de humedad al cultivo y sobre los procesos de degradación, en la zona.

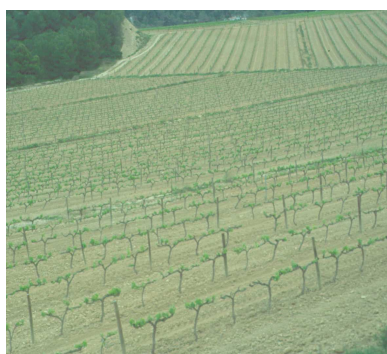


Figura 1.1: Trabajos de adecuación de terrenos, sistema de plantación en emparrado y vendimia mecanizada

2 Capítulo II. Información sobre la comarca del Anoia

2.1 Localización y particularidades del cultivo de la viña en la comarca del Anoia

La comarca de Anoia es un comarca de interior situada en el extremo este de la depresión Central catalana, en el valle del río Anoia (afluente del Llobregat), centrada por la cuenca de Òdena y rodeada por varios relieves y mesetas: Montserrat (NE), sierra de Rubió y mesetas de Calaf en la Segarra (NO), sierras de Brufaganya, Queralt, Llacuna y Orpinell (SO).

El Anoia pertenece a la provincia de Barcelona, comunidad autónoma de Cataluña, España, a unos 40 km de la ciudad de Barcelona, con una elevación media de 257 msnm, es una zona de paisaje ondulado y muy marcado por la acción de las rieras, formando torrentes y barrancos hacia el río Llobregat

En cuanto a la actividad económica, la comarca de la Anoia ha sido tradicionalmente una zona agrícola, siendo la viticultura la actividad productiva y comercial por excelencia. Dentro de la actividad vitícola en Cataluña, la comarca tiene una situación privilegiada con buenos rendimientos de vid que son utilizados en su totalidad para la producción de vinos de alta calidad y cavas, bajo la denominación de origen Penedés. El arraigo del cultivo de la viña en esta zona obedece tanto a la tradición como a su alta rentabilidad, debido a que la producción es mayoritariamente con fines de exportación.

Es una zona con una viticultura con una gran tradición, pero abierta a las innovaciones tecnológicas, por eso en los últimos años ha experimentado cambios importantes en el sistema de manejo de la vid por la introducción de las prácticas mecanizadas para bajar costos y mejorar la productividad. La mecanización ha hecho cambiar los sistemas tradicionales de plantación de las viñas siguiendo las curvas de nivel por líneas largas y rectas que faciliten la circulación de la maquinaria. Esto hace que previo a las nuevas siembras

muchas veces sea necesario hacer grandes movimientos (cortes y rellenos) de tierra, creándose condiciones edáficas y de relieve muy diferentes a las originales.

En la zona hay un uso intenso de maquinaria para las diferentes labores agrícolas desde la preparación del terreno, hasta la cosecha, que cada año va ganando mayores adeptos, dadas las dificultades de conseguir mano de obra. Dentro de las prácticas de laboreo comunes están la aradura muy superficial realizada en verano, que crea una especie de "mulch" para conservar la humedad. En otoño - invierno se hace un subsolado con reja a 50 cm de profundidad seguido por aradura a 20 cm de profundidad, buscando la máxima captación de agua de lluvia. Durante la temporada de invierno se utiliza la cavadora de paletas entre las cepas, buscando la profundización de las raíces. El número de veces que se realizan las diferentes labores depende de la disponibilidad de maquinaria y de las particularidades del clima (Alquézar et al, 1990).

El diseño de las plantaciones busca fundamentalmente facilitar el movimiento de la maquinaria, por lo que muchas veces se encuentra que parte de las hileras de la plantación quedan en el sentido de la pendiente. Predominantemente estas pendientes fluctúan entre el 6 y el 10 %, aunque suelen conseguirse dentro de las parcelas tramos de terrenos con mayores pendientes. Los agricultores tienden a mantener el suelo libre de malas hierbas a fin de evitar la competencia por el agua. Esto se consigue combinando laboreo con la aplicación de herbicidas de contacto o sistémicos (Ramos, 1992; Ramos & Porta, 1994; Cervera, 1994).

En los últimos años la plantación se está haciendo en emparrado, exponiendo los brazos de la cepa. Las plantaciones llevan una separación de 2.4 a 3.2 m entre hileras y 1.20 -1.40 m de cepa a cepa, con una densidad de siembra 2770-3470 cepas por hectárea. Las variedades más comunes de vid cultivadas en la zona son Macabeu, Xarel.lo y Garnatxa, complementadas con variedades introducidas como Cabernet Sauvignon y Chardonay, pertenecientes todas al género *Vitis vinifera*. La propagación se hace por vía vegetativa con material resistente a la filoxera (Alquezar et al, 1990).

Comúnmente sólo se aplican macro elementos (nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio) como fertilizantes inorgánicos, que se combinan cada tres años con aplicaciones de compost orgánicos generalmente de origen animal. Para combatir plagas y enfermedades, se utilizan tratamientos químicos con carácter preventivo en los diferentes estados fenológicos del cultivo buscando evitar la aparición de mildiu, oídium, botritis y el gusano de la vid (Alquézar et al., 1990; DARP, 1992).

En las condiciones climáticas de la zona la nutrición hídrica de la planta tiene una importancia capital, debido a que las regulaciones actuales de la denominación de origen limitan la utilización del riego. Las viñas son manejadas bajo condiciones de secano, siendo las lluvias la única fuente de agua con la que cuenta el cultivo para su desarrollo. La marcada estacionalidad en la distribución de las lluvias para la zona hace que coincida la época de máximos aportes por lluvias con el final del ciclo vegetativo y reproductivo de la viña, por lo que la reposición de las reservas de agua en el perfil durante el otoño, determina en gran parte el desarrollo del ciclo productivo venidero. Por otra parte, la erraticidad de las tormentas de verano y del inicio de lluvias en el otoño puede provocar dificultades para la cosecha, especialmente cuando ésta es mecanizada

2.2 Clima

El clima mediterráneo se caracteriza, tanto por una marcada estacionalidad en la distribución de la temperatura y las precipitaciones, como por una alta impredecibilidad intra e interanual. En general, los veranos son calurosos y secos, lo cual genera un notable y muy característico estrés hídrico y térmico en las especies que componen los ecosistemas mediterráneos. Sin embargo, es frecuente en las zonas próximas al mar Mediterráneo, que las temperaturas sean moderadas y las precipitaciones elevadas desde el otoño a la primavera, lo cual hace que muchos ecosistemas alcancen su máxima productividad en ese periodo. Este esquema general se modifica como consecuencia de la topografía y la distancia al mar, lo cual introduce un grado variable de continentalidad y rigor climático.

La zona de estudio está ubicada en el término municipal de Masquefa, en la comarca de la Anoia (Prov. de Barcelona) a 41° 30'- 41° 32' de latitud norte y entre los 240-370 msnm de altitud. Presenta un clima Mediterráneo, en el que destaca el hecho de presentar una estación cálida coincidente con el periodo seco, combinando veranos largos y secos con inviernos más bien cortos y no demasiados fríos (Ramos & Porta, 1994).

La temperatura media anual para la zona es de 15 ° C, con temperaturas máximas de valores medios que oscilan entre 10,3 y 29,7 ° C y temperaturas mínimas de valores medios entre 2,5 y 19,5 ° C. La precipitación media anual es de unos 660 mm, con una distribución del tipo bimodal. El período de lluvias máximas corresponde a los meses de setiembre-octubre con valores medios mensuales de precipitación que oscilan entre 70-90 mm. El segundo período de máximas precipitaciones corresponde a los meses de abril- mayo - junio con valores medios de la precipitación mensual que oscilan entre 55 y 65 mm.

Entre los aspectos climáticos del área en estudio, el régimen de lluvias suele ser un factor crítico por sus características de frecuencia, magnitud e intensidad. Se presenta una gran variabilidad anual e interanual de las lluvias (Porta & Ramos, 1994) con una disminución gradual de la precipitación media anual a lo largo de los últimos 20 años. Ramos & Porta (1994), señalan que durante la época de máximas precipitaciones, son frecuentes tormentas de gran intensidad (100 mm h^{-1}), presentándose precipitaciones máximas en 24 horas de 90 a 125 mm con periodos de retorno de entre 5 y 10 años. Son también habituales las lluvias con una duración menor de 24 horas y que descargan la totalidad del agua en un periodo de tiempo muy corto. En la estación otoñal, el 25% de las precipitaciones superan los 30 mm en 24 horas (Ramos & Porta, 1994).

Aunque las energías cinéticas de las lluvias registradas durante los meses de primavera y otoño son generalmente del mismo orden, el carácter erosivo de las lluvias de otoño es mucho mayor debido a las elevadas intensidades que presentan estas últimas (Ramos, 1999). Este autor también señala que para determinar los efectos erosivos de las lluvias, la información totalizada referida a 24 horas (que es frecuentemente la disponible en la zona) resulta insuficiente, ya que no permite conocer la intensidad de la lluvia, que es la que define su

carácter erosivo. Además hay que considerar que existe una relación inversa entre la intensidad de una lluvia y la superficie que afecta. Usón (1998) aplicando la metodología de los polígonos de Thiessen ubico la zona de estudio en el área de influencia del observatorio de San Sadurni de Anoia (coordenadas UTM: X 399344; Y 4587798; Z 125 m).

Para la zona, el cálculo del factor erosividad de la lluvia (R) a partir de datos de intensidad y distribución del tamaño de gotas con un disdrómetro, es del orden de $1395 \text{ MJha}^{-1}\text{año}$, considerando que la mayor parte de esa cantidad se da en los meses de setiembre, octubre y noviembre (Usón, 1998; Ramos & Porta 2000).

Usón (1998) señala que las fluctuaciones de lluvia a medio plazo (5-30 años) dan lugar a períodos de sequía y períodos lluviosos. La sequia continuada tiene un efecto negativo en el balance de materia orgánica del suelo y es un factor que estimula la degradación del suelo. Las fluctuaciones a largo plazo (30-100 años) afectan a los balances de agua y sales del suelo, estimula las fases de erosión por barrancos y deslizamientos y promueve la erosión en flujos concentrados (regueros) que están ajustándose continuamente a los nuevos regímenes hidrológicos. Debido a estas variaciones de la precipitación es más correcto hablar en términos de probabilidad y de valores extremos aunque poco frecuentes, que dar valores medios de las variables pluviométricas.

2.3 Geología

En cuanto a las características geológicas, la comarca del Anoia se extiende por el sector meridional de la Depresión Prelitoral, o Depresión Vallès-Penedès, una fosa tectónica originada por dos fallas paralelas y limitadas por la Sierra Litoral y Prelitoral, las cuales forman parte de una unidad mayor que es el Sistema Mediterráneo (Cabrera, 1981). La depresión está cubierta por sedimentos del mioceno, sobre los cuales se han depositado materiales del cuaternario de diferentes espesores en las partes más bajas (Gallart, 1981). La

configuración actual es producto de cambios climáticos y/o descensos del Mediterráneo Occidental, que han creado un régimen erosivo a escala geológica, que tiene su origen en la incisión de la red fluvial, y sobre el que la actividad humana que se desarrolla en la zona ejerce y ha ejercido una gran influencia.

Los sedimentos procedentes de la sierra prelitoral han dado lugar principalmente a lutitas, areniscas y conglomerados. Las lutitas son afectadas por la erosión hídrica y permiten fácilmente la formación de barrancos de hasta varias decenas de metros de profundidad y taludes de fuerte pendiente. Esta red densa de cárcavas y barrancos es la característica geomorfológica fundamental de la zona. El origen primario de estos barrancos pudo ser una alteración del régimen de precipitaciones o un cambio del nivel de base, y actualmente la principal causa de su progresión es la actividad humana (Martínez, 1998).

Martínez, (1998) distingue 5 grandes unidades de paisaje para el Alto Penedés- Anoia. Estas son: área de montaña (Sierra Prelitoral), área de pie de monte, área de vertientes y barrancos (al norte del río Anoia), área de relieve suavemente ondulado (Pla del Penedés) y área de niveles aluviales recientes. La zona de estudio está incluida en el área de vertientes y barrancos.

2.4 Suelos

Los suelos de la zona se caracterizan por poseer un epipedón ócrico. En numerosas ocasiones hay epipedones con acumulación de carbonatos, tanto en forma de nódulos (BK_n) como cementada (BK_m). En algunos perfiles de suelos se encuentran acumulaciones de arcilla, por procesos de iluviación. Se pueden señalar movilizaciones de hierro y manganeso en algunos perfiles que indican restricción en la dinámica del agua. Predominan los suelos desarrollados sobre lutitas, que dan clases texturales franco limosas o franco arcillosas, con baja capacidad de infiltración y baja permeabilidad. En algunos casos el suelo aparece truncado por erosión y su contenido en materia orgánica es bajo, pudiendo aparecer en superficie nódulos de carbonatos (Boixadera, 1993; Usón, 1998). Con frecuencia en estos suelos

están presentes capas de calcilitas incoherentes, con acumulaciones secundarias de carbonato cálcico en forma de nódulos y/ o rizoconcreciones (kn), que presentan la estructura original sedimentaria y que provienen del horizonte genético C, (Martínez, 1998).

Como consecuencia de las operaciones de nivelación, corte y relleno (adecuación) del terreno requerido para la implantación de la viña en hileras largas y rectas con un sistema de espalderas, se ha modificado drásticamente tanto el relieve original, así como las características superficiales de los suelos. En muchos sitios con las labores de nivelación fueron decapitados los horizontes superficiales, quedando expuestos en superficie horizontes profundos, e incluso la roca madre (lutitas calcareas) que posteriormente se roturaron y mezclaron con material orgánico. En general los suelos presentan un desarrollo incipiente, el material original es lutítico y predominan las texturas limosas y francas limosas. La variabilidad de los suelos viene determinada por su profundidad efectiva determinada por la presencia de las lutitas y por el contenido de carbonatos. Las pendientes generales están en el intervalo del 5% al 10 % (Martínez, 1998; Usón 1998).

Poch & Porta (1994) concluyen que la configuración actual del paisaje en la comarca y la actividad de los procesos erosivos, se deben tanto a factores naturales como a factores antrópicos. Entre los factores naturales los más importantes son la climatología caracterizada por lluvias intensas e irregularmente distribuidas; la litología de los materiales originales, al ser calcilitas poco permeables que dan al suelo una gran susceptibilidad a la erosión; y la geomorfología, con formas de terreno complejo y que en algunos casos consiste en un paisaje disectado por una activa y potente red de barrancos. Entre los factores antrópicos destacan el manejo de la viña que deja el suelo descubierto con pocos aportes de materia orgánica, el laboreo frecuente y los grandes movimientos de tierras por nivelación en las nuevas plantaciones.

En esta comarca, los sistemas tradicionales de conservación de suelos y aguas han estado integrados en los sistemas de cultivo de la viña, frenando la erosión en un medio que, por sus características intrínsecas (precipitaciones, geomorfología, litología y suelos), tiene un alto potencial para la erosión

hídrica (Martínez, 1998). Sin embargo, los cambios en el sistema de cultivos introducidos en los últimos años, debido principalmente a la mecanización de las labores, no han sido complementados con técnicas de conservación de suelos adecuadas. Así, se realizan grandes movimientos de tierras sin efectuar capaceo, se planta en hileras rectas y largas, para facilitar la mecanización de las labores de cultivo y se ha aumentado el número de labores anuales sin realizar aportes de materia orgánica. También se ha incrementado la superficie cultivada, llegando a plantar viña en zonas muy próximas a los barrancos (Usón, 1998). La orientación general de las plantaciones es perpendicular a la pendiente, pero la compleja topografía de la zona hace imposible mantener esta disposición en todos los puntos de la parcela

El mayor nivel de tecnificación del cultivo de la viña en la zona no ha traído al mismo tiempo una preocupación por la conservación del recurso suelo, que asegure una sostenibilidad de los usos actuales. La tecnificación ha significado la desaparición de muchas de las medidas tradicionales de conservación de suelos. El rediseño de las plantaciones de viña ha exigido en muchos casos, la transformación de las parcelas, realizando grandes movimientos de tierra y rellenando barrancos para conseguir nuevas parcelas de mayores dimensiones y menores pendientes. Estas medidas no suelen ser conducentes a evitar la erosión por cárcavas y barrancos, ya que los materiales incoherentes del relleno, o bien ceden tras las primeras lluvias, o bien se asientan produciendo un canal preferente de concentración del flujo (Martínez, 1998). López (1994) estimó para la zona pérdidas de suelo superiores a $12 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}$ debidas a procesos de erosión laminar y por arroyaderos en el 63% de la superficie de un área modelo de 490 ha.

Una de las pocas medidas de conservación que aún se mantienen en la zona son las llamadas "rasas," pequeñas terrazas de drenaje construidas paralelas a las hileras de la plantación y perpendiculares a la pendiente. Estas estructuras sirven para desalojar el flujo de agua de escorrentía que se produce en la parcela, dirigiéndolo directamente al barranco o hacia el canal de desagüe, que generalmente sigue la línea de máxima pendiente y van a drenar a los barrancos.

El diseño de la rasa es empírico, por lo que en muchos casos la distancia entre rasas resulta excesiva y el flujo de escorrentía superficial se concentra antes de que pueda ser desviado al canal de desagüe. Estas estructuras pueden presentar forma triangular o trapezoidal, y con dimensiones muy variadas dentro de la misma parcela: con un espaciamiento horizontal mínimo de 17m y máximo de 75m, con longitudes que van de 75 a 300m y con ancho de más o menos 3 a 4 m. También suelen utilizarse como vía de tráfico dentro de las parcelas. El empirismo con que estas estructuras son construidas crea una alta variabilidad en características y les resta eficiencia como medida de control de la escorrentía, (Ramos & Porta, 1997).

Además con frecuencia el canal de desagüe presenta problemas de erosión, debido a que la complejidad de las formas de la superficie del terreno, hace que en determinados tramos del canal el agua circule a una gran velocidad. Este tipo de erosión se visualiza como una incisión dentro del canal que concentra el flujo y que tiene un efecto progresivo. En el destino final del agua de escorrentía, otro punto sensible a problemas de erosión es el punto de enlace canal-barranco. Con tormentas de gran magnitud, en dicho punto de contacto se llegan a concentrar grandes volúmenes de escorrentía y la velocidad del flujo de agua llega a ser muy elevada. En muchos casos esta situación es el origen de un nuevo brazo del barranco, con la pérdida consecuente de parte del terreno que conformaba la parcela de cultivo (Ramos & Porta, 1997).

Otra medida bastante extendida entre los agricultores es impedir el crecimiento de los barrancos dentro de la parcela de viñedo, colocando los restos de la poda en los puntos de contacto parcela –barranco para disminuir la velocidad del flujo y evitar el retroceso del barranco y la disminución del área de siembra, siendo en la mayoría de los casos una medida poco efectiva y de un efecto no duradero. Cuando los sarmientos no son suficientes para detener el crecimiento de los barrancos en algunos casos se hacen obras de ingeniería, recubriendo las bajadas de los barrancos con hormigón que por lo elevado de su coste se hallan entre las prácticas de conservación poco generalizadas (Usón, 1998).

2.5 Sumario

En la comarca del Anoia los cambios introducidos en el sistema de producción de la vid han modificado el paisaje y la dinámica de los procesos físicos de la zona. Sobre la base de las evidencias observables, dichos cambios parecieran estar provocando efectos concretos como los siguientes:

1. Pérdida del horizonte A original, que es sustituido por el afloramiento de capas profundas, trituradas mecánicamente, o por material de relleno. El nuevo horizonte es mezclado con enmiendas orgánicas, tratando de crear un horizonte con un mínimo condiciones para que se desarrolle la vid.
2. Disminución de la profundidad efectiva del suelo por cortes de nivelación, por erosión superficial y por la formación de capas compactas asociadas a la mecanización.
3. Pérdidas de los drenajes naturales y deficiencias en el diseño y mantenimiento de drenajes, con posibles efectos en el desarrollo de arroyaderos y cárcavas de forma y cursos irregulares, mayores pérdidas netas de suelo por erosión superficial y por deslizamientos, y mayor desarrollo y crecimiento regresivo de los barrancos.

Esta situación obliga a entender la nueva dinámica del agua en estos suelos e identificar claramente cuáles son los factores de mayor importancia en la evolución de la humedad en el perfil de suelo, a fin de abordar de una manera racional y efectiva el manejo de los diferentes suelos de una finca y mantener condiciones de humedad (sin riego), que garanticen un buen crecimiento de la viña.



Figura 1.1: Localización de la comarca del Anoia



Figura 1.2: Paisaje característico del área de estudio





Figura 1.3: Procesos de degradación en el área de estudio

3 Capítulo III. Aspectos metodológicos básicos de la investigación

3.1 Introducción

El trabajo se llevo a cabo en la comarca de la Anoia, Provincia de Barcelona en el término municipal de Masquefa, en terrenos de una finca comercial de 90 hectáreas, plantada en 1990 con viña para la producción de vinos y cava, (Figura 3.1). En esta finca se han realizado estudios previos de caracterización de los suelos y de los problemas de erosión, y es representativa de las fincas dedicadas a la producción de viña en la comarca del Anoia, en cuanto a suelos, a trabajos previos de adecuación de tierras, y a sistemas y prácticas de producción.

En este capítulo se describen aspectos metodológicos básicos de la investigación, como son la selección y ubicación de las zonas experimentales y el montaje de los ensayos. En capítulos posteriores se aborda con un mayor detalle la descripción de los materiales y métodos utilizados para realizar evaluaciones de carácter específico, a fin de conseguir los objetivos planteados.

3.2 Selección y ubicación de las zonas experimentales

Tomando como base la experiencia acumulada en el área, así como también las informaciones suministradas por el productor, se seleccionaron dos lotes o unidades de producción, con diferentes condiciones edáficas, producto de la intensidad con que se habían hecho los trabajos de adecuación de los terrenos. Una vez identificadas las unidades o zonas experimentales se delimitaron en ellas 2 áreas de trabajo de 60 m² cada una, donde se realizaron todas las evaluaciones de campo y la recolección de muestras para su posterior trabajo en el laboratorio.

Los suelos de la zona experimental I representan las condiciones edáficas más cercanas a las originales y fueron clasificados como Calcixercept Típico. Los suelos de la zona II, donde se habían realizado intensos trabajos de adecuación terreno, fueron clasificados como Xerorthent Típico, (Martínez, 1998). En ambos casos la viña de la variedad Chardonnay estaba plantada con un marco de plantación de 3 x 1,2 m, en espaldera y con la mecanización de la mayoría de las labores agrícolas incluyendo la vendimia, (Figura 3.2).

3.3 Montaje de la experimentación en campo

En las dos zonas experimentales seleccionadas se realizaron mediciones y evaluaciones físicas e hidrológicas de los suelos, que se complementaron con estudios del desarrollo radicular del cultivo.

El área de trabajo, donde se realizaron todas las evaluaciones y la recolección de muestras, estaba constituida por 60 m², incluía tres hileras de siembra y en la hilera central se realizó la excavación de una calicata de aproximadamente 1,5x 1,5x1 m. En la calicata se diferenciaron las capas de suelos con posible influencia directa en el desarrollo de las raíces del cultivo, y en la dinámica de humedad del suelo. Estas capas fueron dispuestas en forma de escalones, para disponer así de una superficie donde evaluar las condiciones físicas del suelo subsuperficial, y recolectar las muestras de suelo que serían utilizadas en el laboratorio. Asimismo en estas calicatas se realizó la caracterización del desarrollo radicular, utilizando la pared que coincidía con la línea de plantación de las cepas de vid. El área de trabajo restante se utilizó para realizar las evaluaciones de las condiciones físicas del suelo superficial, (Figura 3.3). Para complementar la información también se tomaron muestras superficiales de suelo para hacer algunos análisis químicos en el laboratorio.

En cada una de las zonas experimentales se llevó un registro continuo de la evolución de la humedad del suelo, a diferentes profundidades, de forma gravimétrica con una barrena y utilizando un equipo de reflectometría (TDR), durante los años 1998 y 1999. Conjuntamente se llevó un registro de lluvias diarias y de las intensidades de las precipitaciones, durante el periodo enero 1997 a diciembre de 1999. Se utilizó un pluviómetro totalizador ubicado en la zona de experimentación y además un pluviómetro de balancín conectado a

un data logger en un área vecina a la zona de trabajo dentro de la misma finca.

Las determinaciones se realizaron por triplicado en la mayoría de los casos, para permitir la determinación de la variabilidad de la muestra. En aquellos casos que no se pudo trabajar con triplicado, se tomaron muestras lo suficientemente grandes como para contrarrestar la variabilidad y suplir de cierta forma el requisito de replicación.



Figura 3.1: Panorámica de la finca donde se realizó el trabajo



(a) Zona experimental I



(b) Zona experimental II

Figura 3.2: Panorámicas de las zonas de experimentación donde se realizaron los ensayos y las evaluaciones de campo



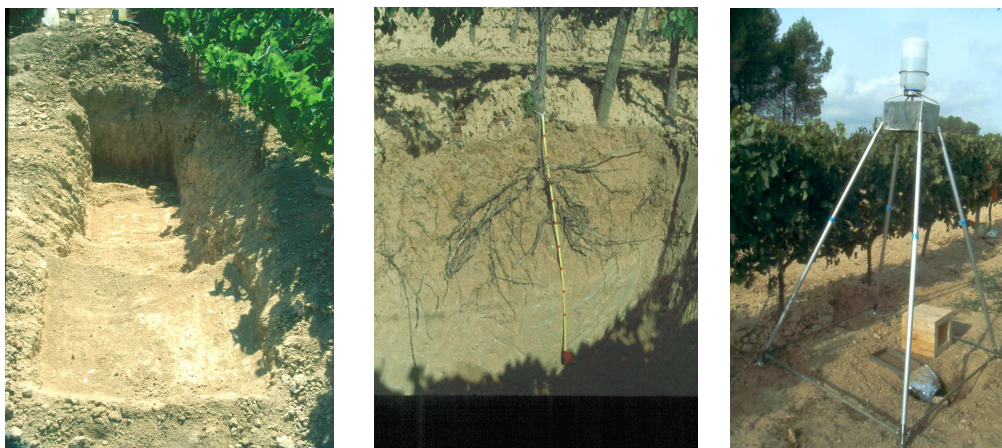


Figura 3.3: Vista de los ensayos y evaluaciones realizadas en el campo

4 Capítulo IV. Caracterización de las propiedades físicas de tierras con viña de secano en la comarca del Anoia

4.1 Introducción

Para lograr minimizar los efectos de la degradación de tierras en el área mediterránea, es necesario entender los procesos involucrados y las relaciones causa-efecto de sus consecuencias. La sostenibilidad en el uso de los recursos suelo y agua no puede alcanzarse si las condiciones físicas del suelo no se mantienen a un nivel satisfactorio. El estudio en campo, con observaciones y mediciones directas es una herramienta insustituible para obtener información que permita entender mejor la dinámica de los procesos físicos en el suelo y los cambios que provocan las intervenciones humanas.

Sin conocer el balance hídrico específico para la condición suelo-clima-cultivo que se está estudiando, no se puede realizar una buena evaluación de posibles prácticas de manejo que conlleven a una utilización más eficiente del agua ni seleccionar prácticas de manejo, que sean efectivas y sostenibles, bajo diferentes escenarios actuales y/o potenciales de suelos, clima, y topografía. Pero antes de establecer ese balance es necesario delimitar el ambiente físico que se va a estudiar, definiendo claramente cuáles son los factores críticos para cada situación en particular, (Hillel, 1998).

En este capítulo se ha realizado la caracterización de las propiedades mecánicas e hidrológicas de diferentes situaciones edáficas, producto de la intensidad con que se habían hecho los trabajos de adecuación de los terrenos antes de la plantación. Identificando los procesos físicos críticos, que deben ser tomados en cuenta en el manejo y la conservación de estos suelos.

4.2 Metodología

Se trabajo con un conjunto de metodologías rápidas, simples y poco costosas. Su selección, se baso en la experiencia adquirida en su uso, que ha permitido ir

adaptando y desarrollando metodologías y equipos con los que caracterizar las propiedades mecánicas e hidrológicas de los suelos en diferentes condiciones. (Pla, 1983; Nacci et al, 2002, Ramos & Nacci, 1999, Nacci, 2008).

De forma práctica, para la presentación de los métodos utilizados, se ha hecho una división de las metodologías en tres grandes grupos: aquellos métodos donde se busca evaluar los procesos de infiltración, transporte y retención de agua dentro del perfil de suelo bajo la influencia de diferentes formas de aportes de agua y manejo de suelo, (Dinámica hidráulica) ; aquellos en los que se evalúa la influencia de las condiciones estructurales del suelo en el movimiento de agua en el perfil (Condiciones estructurales) y aquellos en los que se evalúa la composición de la fase sólida del suelo (Características mecánicas).

Se dio preferencia a métodos de campo, directos, basados en relaciones físicas claras, teniendo en consideración el aspecto dinámico de las propiedades físicas del suelo, especialmente las dependientes de la estructura, y de la acción dinámica del crecimiento radicular. De forma complementaria, se utilizaron también métodos de laboratorio, intentando que las fuerzas aplicadas simularan las que actúan en el campo, bajo una condición similar a la estudiada.

También se considero oportuno realizar algunas determinaciones químicas básicas, como pH, CIC, % MO, CE y % CaCO₃, para complementar la información de los suelos. Las determinaciones químicas fueron hechas en el laboratorio de rutina del Departamento del Medio Ambiente y Ciencias del Suelo, de la UdL, siguiendo la metodología propuesta por Porta et al, (1986).

4.2.1 Dinámica hidráulica

La dinámica hidráulica de un perfil de suelos está supeditada a procesos como infiltración, retención y conductividad. Por ello estos procesos han de ser considerados para realizar un análisis cuantitativo del transporte de agua en el perfil del suelo, y una

evaluación racional de los cambios inducidos por las prácticas de manejo en el régimen de humedad del suelo bajo determinadas condiciones climáticas, (Hillel 1998; Gardner et al, 1999).

Infiltración

En el proceso de infiltración la superficie del suelo juega un papel crucial. Las características intrínsecas de dicha capa y la forma en que el agua llega a ella, determinan la cantidad de agua que infiltra o que queda en superficie, provocando encharcamiento y/o escorrentía. Con las metodologías seleccionadas para evaluar la infiltración, se busco simular diferentes formas de aportes de agua al suelo, para medir los cambios en velocidad de infiltración bajo las diferentes condiciones de la superficie del suelo que se generan en cada caso.

Infiltración bajo lluvia simulada

Se simulo el efecto de gotas de agua de lluvia que impactan la superficie del suelo, utilizando un simulador de lluvia portátil. Las pruebas de infiltración con lluvia simulada, se hicieron directamente sobre la superficie del suelo en el campo, así como también en condiciones controladas en el laboratorio, colocando debajo del simulador una caja o bandeja de erosión preparada con suelo superficial. (Pla, 1996; Cerda et al, 1997; Battany et al, 2000, Nacci, 2008). Se trabajo con intensidades entre 60 y 100 mm / hora para simular energías cinéticas del mismo orden de magnitud de las tormentas de clima mediterráneo. La velocidad de infiltración se calcula por la diferencia entre el volumen de agua aplicado y el volumen de agua escurrido en función al intervalo de tiempo y al área de la parcela o de la bandeja

Infiltración a través del sello superficial

Se midió la infiltración de agua en un suelo donde el sello superficial ya se había formado, tratando de simular la situación de sellos formados por efecto de eventos de lluvias anteriores. Partiendo de una superficie de suelo seca y sellada, se aplico agua en forma de gotas muy próximas a la superficie del suelo, con lo cual se forma una mancha más oscura y brillante en el punto donde cae la gota. El diámetro de esa

mancha, más o menos circular aumenta hasta que se estabiliza cuando el suelo del sello superficial alcanza una humedad cercana a saturación y el volumen del agua infiltrada por unidad de tiempo a través del área mojada es igual al aplicado con el gotero. Cuando se alcanza esa situación la velocidad de entrada de agua correspondería a la tasa de infiltración a través del sello que se forma en la superficie del suelo. (Valentin, 1989a; Pla, 1996, Nacci, 2008)).

Infiltración bajo condiciones de inundación

Se utilizó el método del doble anillo con algunas variantes para facilitar el trabajo de campo. El método consiste en inundar áreas de suelo delimitadas por un cilindro de metal midiendo los cambios en la velocidad de infiltración del agua de inundación en el suelo, determinados por cambios en la humedad y en las propiedades hidráulicas del perfil del suelo. Estos cambios se deben a la humedad y a las propiedades hidráulicas del perfil del suelo en su conjunto. (Pla, 1983; Pla, 1996; Cerda et al, 1997; Battany et al, 2000).

Conductividad hidráulica saturada

La conductividad hidráulica se midió directamente en el campo y de forma complementaria se hicieron pruebas en muestras no disturbadas bajo condiciones controladas en el laboratorio. Por los objetivos del estudio, interesaba evaluar los cambios en la conductividad hidráulica saturada de los diferentes horizontes del perfil de suelo y además, medir la conductividad hidráulica saturada de la superficie del suelo.

Conductividad hidráulica saturada (K_{sat}) de los diferentes horizontes del perfil de suelo

Mediciones en campo

Para esta determinación en cada uno de los horizontes de suelo, se esperó alcanzar condiciones de saturación del suelo para conseguir un valor constante de velocidad de penetración de agua, y se asumió que dicho valor corresponde aproximadamente a la conductividad hidráulica saturada del horizonte de suelo en que se hizo la prueba, siempre que ésta sea menor que

la de la capa siguiente (Pla, 1996). En esta prueba se midió el descenso de la lámina de agua en función del tiempo hasta alcanzar un valor constante. Con los valores obtenidos se calculo el valor de conductividad hidráulica saturada (K_{sat}), (Pla, 1983).

Mediciones en muestras no alteradas

Esta determinación se realizo con muestras de suelo no alteradas, previamente saturadas y sobre las que se mantiene una carga constante de agua en superficie y un flujo libre en el fondo de las mismas. Se midió el volumen de agua que pasa a través de la masa de suelo en un tiempo determinado, (Pla, 1983). Para esta determinación se utilizo un permeámetro de carga constante, que consiste en un soporte en acero inoxidable acondicionado para colocar la muestra de suelo, mantener una carga constante de agua sobre dicha muestra y recoger el flujo de agua que percola a través de ella, (Pla,1983, Nacci,2008)

Conductividad hidráulica saturada (K_{sat} .) del sello

En el proceso de sellado superficial del suelo por efecto del impacto de las gotas de lluvia, la conductividad hidráulica saturada del sello es el principal limitante de la infiltración. El método utilizado permite medir el descenso en la velocidad de percolación del agua a través de una capa de agregados de suelo y con ello calcular los valores de conductividad hidráulica saturada a medida que se forma el sello por el impacto de las gotas que caen a una intensidad constante sobre dichos agregados hasta alcanzar un valor mínimo constante (K_s), (Pla, 1996).

Retención de humedad del suelo

Se trabajo con dos métodos diferentes a fin de evaluar tanto la influencia de las características intrínsecas del material de suelo, (utilizando muestras de suelos alteradas en laboratorio), como las condiciones de drenaje interno del perfil sobre la retención de agua en el suelo, (realizando mediciones directamente en el campo). En ambos casos las determinaciones parten de condiciones iniciales de saturación en el suelo.

Conjuntamente en cada una de las zonas experimentales se llevo un registro de la evolución de la humedad durante los años 1998 y 1999, para conocer la humedad retenida por los diferentes horizontes del perfil de suelo a través de todo el ciclo de la vid.

Propiedades de retención de humedad del suelo

Para evaluar las características intrínsecas de retención de humedad del suelo se utilizaron muestras alteradas, a las cuales se les aplico presión en cámaras cerradas en el laboratorio (Black, 1965). Se colocaron las muestras de suelo disgregadas en platos de porcelana y se saturaron con agua por capilaridad, y posteriormente, utilizando cámaras de Richard, fueron sometidas a presiones de aire de 10, 30, 100 y 1500 kPa para extraer el agua retenida. (Black, 1965, Klute, 1986).

Índices de drenaje

Partiendo de una condición de saturación en los primeros 70 cm de profundidad del perfil de suelo, se midió por gravimetría, la cantidad de agua retenida en el suelo transcurridas 0, 24, y 48 horas con condiciones de drenaje libre en el perfil y sin pérdidas por evaporación. (Pla, 1986; Nacci, 2008)

Registro de la evolución de la humedad en el suelo

Durante los años 1998 y 1999, con una frecuencia quincenal en cada una de las zonas experimentales, se realizaron muestreos para determinar por gravimetría el contenido de humedad en los diferentes horizontes del perfil de suelo. Además, se instalaron 12 tubos de acceso, en cada una de las zonas experimentales, para utilizar un equipo de reflectometría con dominio en el tiempo (TDR-TRIME FM-7545), (Dirksen & Dasberg, 1993; Hartman ,1997), con el que se obtuvieron medidas in situ del contenido de humedad a través de todo el ciclo del cultivo.

4.2.2 Condiciones estructurales

Las mediciones de la estructura del suelo y su tasa de cambio son complejas, dado que las variables a evaluar tienen una importancia relativa según las

particularidades de la situación considerada. Esa situación dificulta representar en una sola cifra, los diversos aspectos de la estructura, y poder predecir sus diferentes efectos con una sola determinación. Por ello la caracterización de las condiciones estructurales del suelo se basó en una combinación de índices. La intención fue evaluar tanto el estado estructural de los suelos, como la dinámica de esa estructura en el tiempo, bajo la acción de factores externos como el agua y la mecanización.

El diagnóstico de las condiciones estructurales se hizo para cada uno de los diferentes horizontes del perfil y para la superficie del suelo. Aunque algunos de los índices utilizados fueron mediciones en el laboratorio, en muestras no alteradas o poco alteradas de suelo, siempre que fue posible, se dio prioridad a mediciones in situ, directamente sobre el suelo sin remover, a fin de no modificar la geometría del espacio poroso y poder así mantener la distribución y continuidad originales de dichos poros.

Porosidad

El tamaño de poros suele definirse por el método de medición, para el cual se aplican generalmente conceptos de capilaridad, mediante el desplazamiento del agua del suelo por aire y la separación del tamaño de poros en macro y micro poros, es por tanto algo arbitrario. En condiciones de clima mediterráneo, donde son comunes los aportes puntuales y concentrados de excesos de agua, es conveniente separar los poros que pierden o no pierden el agua cuando el suelo es sometido a una succión de 100 cm de columna de agua, lo cual corresponde a un potencial de agua en el suelo de -10 kPa. De acuerdo a la relación de capilaridad $r = 0,15/h$, con una succión de 100cm, el radio equivalente (r) de los poros que mantienen agua es menor de 15 micrómetros. Con los datos obtenidos se calculó la porosidad total, la macroporosidad (poros con radio equivalente mayor de 15 micrometros) y la microporosidad (por diferencia entre porosidad total y macroporosidad). También se calculó la densidad aparente de las muestras de suelo, por el método del cilindro.

Densidad aparente

La densidad aparente se define como la relación entre la masa del suelo secado en la estufa y el volumen total, que incluye el volumen de las partículas y el espacio poroso entre partículas. Es dependiente de las densidades de las partículas del suelo (arena, limo, arcilla y materia orgánica) y de su tipo de empaquetamiento. El método utilizado fue el de la excavación, (Pla, 1996) en él se relaciona el peso y el volumen del material de suelo que se recoge de una excavación hecha en el horizonte de suelo que se desea evaluar. Con los datos de volumen y peso obtenidos se calculo el valor de la densidad aparente para cada horizonte evaluado.

Resistencia a la penetración

A pesar de la diversidad de equipo y métodos utilizados para medir la resistencia a la penetración, existe evidencia de que la compactación del suelo, tanto la natural como la creada por el manejo, puede ser caracterizada adecuadamente por equipos de penetrometría (Herrick & Jones, 2002; Vaz, & Hopmans, 2001). Además, se han establecido algunas relaciones empíricas entre las medidas obtenidas con estos equipos y el crecimiento de raíces (Ehlers, et al, 1983) y parámetros como densidad aparente y contenido de humedad (Hartge et al 1985; Gabriel et al, 2001; Nacci, 2008).

En nuestro caso, se utilizó un equipo de impacto, (Black, 1965; Klute, 1986). La resistencia a la penetración se expresó como el número de golpes requeridos para hacer penetrar una punta cónica de metal en el suelo. Se llevó un registro del número de impactos necesarios para que la punta penetre 5 cm en el suelo, hasta una profundidad máxima de 100 cm. El número de impactos se puede expresar en unidades físicas utilizando una transformación empírica, donde se considera que cada golpe (G) ejerce una presión aproximada de 3 Kg/cm² y que la presión constante derivada del peso (P) del equipo (excluido el mazo) es de 1,9 Kg/cm², (Nacci et al, 1991; Nacci, 2008).

Susceptibilidad del suelo a la compactación

Las fuerzas de compactación que son ejercidas sobre el suelo por el tráfico vehicular, factor común en la agricultura moderna, tienden a reducir la porosidad e incrementar los valores de densidad aparente y resistencia a la penetración. Siendo la resistencia mecánica del suelo y la aireación factores que afectan e incluso determinan el desarrollo radicular de la mayoría de los cultivos.

Para evaluar la susceptibilidad de los suelos a la compactación se utilizaron muestras de suelo alteradas, que fueron equilibradas a diferentes contenidos de humedad y confinadas lateralmente para ser sometidas a un proceso de compactación uniaxial por impacto. La susceptibilidad a la compactación se caracterizó midiendo en las muestras compactadas la densidad aparente y la porosidad y relacionando los valores alcanzados con el contenido de humedad del suelo cuando se compactó, (Larson et al, 1980; Pla, 1990; Nacci & Pla, 1991).

Estabilidad de los agregados superficiales

La superficie del suelo está sometida al impacto de gotas de lluvias, y según sea la estabilidad de los agregados al efecto de humedecimiento e impacto de esas gotas de agua, habrá un mayor o menor grado de deterioro de la estructura superficial, que se pone de manifiesto en la disminución de la tasa de infiltración del agua, al ser está limitada por la conductividad hidráulica del sello que se forma.

Se hizo una comparación del comportamiento de la estructura de la superficie del suelo ante el impacto de la gota de agua con respecto al comportamiento de esa estructura, cuando es protegida con una cobertura y no sufre el impacto de la gota de agua. El comportamiento de la estructura se evaluó a través de la evolución de la conductividad hidráulica saturada que se establece, como consecuencia del impacto de gotas de agua sobre agregados de suelo desnudos (K_s) y de la conductividad hidráulica saturada que se establece cuando se protege con una cobertura los agregados de la superficie del suelo (K_c). Relacionando esos valores, se calcula un índice de

sellado (ISR) que puede ser interpretado como un índice de la estabilidad de la estructura de la superficie del suelo al impacto de las gotas de lluvia. (Pla et al, 1987; Ramos et al, 2003; Nacci, 2008).

Se utilizaron muestras de agregados de suelo de 2-4 mm de diámetro del horizonte superficial, En una primera etapa de la determinación las muestras estaban desnudas y se colocaron bajo un pequeño simulador de lluvia, para determinar la conductividad hidráulica saturada resultante, como consecuencia del impacto de gotas de agua sobre agregados de suelo desnudos (K_s). En la siguiente etapa de la prueba, se usaron muestras de suelo a las que se les colocó una cobertura y se les aplicó agua sin impacto de la gota de lluvia, con el fin de determinar la conductividad hidráulica saturada resultante cuando se protege con una cobertura los agregados de la superficie del suelo (K_c).

4.2.3 Características mecánicas de los suelos

La composición de la fase sólida del suelo es prácticamente invariable en el tiempo, y además tiene una fuerte influencia sobre el comportamiento físico y estructural del suelo. Por ello su evaluación sirve no sólo para conocer la composición granulométrica del suelo, sino que también permite entender mejor el comportamiento de otras características y propiedades físicas del suelo, que suelen ser más dinámicas en el tiempo y fuertemente influenciadas por factores externos.

Distribución de tamaño de partículas

Se utilizó la sedimentación en líquidos basándose en la ley de Stokes, (asumiendo que las partículas tienen forma esférica), para la fracción fina; y para la fracción arena, se realizó una segregación del material tamizándolo. También se determinó el contenido de elementos gruesos mayores de 2 mm por tamizado, (Black, 1965, Pla, 1986).

Limite inferior y superior de plasticidad

Para la determinación de estos índices se siguió la metodología descrita por Black, (1965), utilizando muestras de aprox. 20 g de suelo disgregado y pasado por un tamiz de 2 mm.

4.3 Resultados y discusión

4.3.1 Condiciones edáficas generales de los suelos

En toda la zona de estudio predominan los suelos desarrollados sobre lutitas, con clases texturales franco limosas o franco arcillosas. Las lutitas son rocas sedimentarias formadas por partículas de limo y arcilla. Constituyen un material poco duro y relativamente fácil de romper con el subsolador y el arado. Sin embargo, esta roca al fragmentarse mecánicamente no se disgrega en las partículas elementales que la conforman, sino que da lugar a bloques de menor tamaño. Son fragmentos o agregados con diámetro de grava y arena, que están constituidos por partículas cuyos granos tienen tamaño de limo y arcilla, (Boixadera et al ,1994).

Las zonas experimentales (I y II) son representativas de las variaciones que se presentan en el área de estudio en cuanto al volumen de suelo explorado por las raíces, a la pendiente y al grado de intervención que han sufrido los perfiles de suelo con respecto a la situación original antes de la nivelación de los terrenos. En este sentido, se puede señalar que la zona experimental I es una zona poco intervenida en el proceso de nivelación y movimiento de tierra, ocupa una posición alta en el paisaje, próxima y al mismo nivel que una zona bajo bosque que no ha sido aún desmontada. En este caso el material lutítico original se encontró por debajo de los 80 cm y además se identificó un horizonte B con un desarrollo estructural incipiente y concreciones duras y/o pulverulentas de carbonato cálcico tanto en ese horizonte b como en el resto del perfil.

En la zona experimental II se hicieron intensos trabajos de adecuación de terrenos para disminuir la pendiente, básicamente es un perfil de suelo

producto de actividad antrópica. En esta zona los primeros 20 cm del perfil de suelo están constituidos por un material muy alterado por las labores de labranza, con estructura granular o de bloques débiles. Aproximadamente, entre los 20 cm y 60 cm de profundidad, el suelo está constituido en más del 50% por lutita fragmentada en bloques. Dichos bloques están rodeados por un material lutítico triturado muy fino. Se observó que las raíces están concentradas en las grietas entre los bloques. Por debajo de esta capa, aproximadamente a los 60 cm de profundidad se encuentra el material lutítico original en forma de grandes bloques con pequeñas fracturas entre ellos. En este caso (II), los horizontes están constituidos básicamente por un conglomerado de material lutítico poco estructurado y con diferentes niveles de fragmentación y relativamente poca meteorización. Todo parece indicar que en este suelo, en el proceso de adecuación del terreno, el horizonte superficial fue decapitado dando lugar a la exposición en superficie del horizonte C, y que por el poco tiempo transcurrido, los procesos de edafogénesis son poco intensos. Posteriormente, a través de roturación mecánica e incorporando material orgánico en este horizonte se ha tratado de mejorar las condiciones edáficas de este perfil de suelo para favorecer el desarrollo radical de la vid.

La Figura 4.1 muestra la distribución de tamaño de partículas de los suelos estudiados. En general son suelos de texturas franco limosas, con un predominio (> 50 %) de la fracción fina (limo + arcilla), en los dos casos.

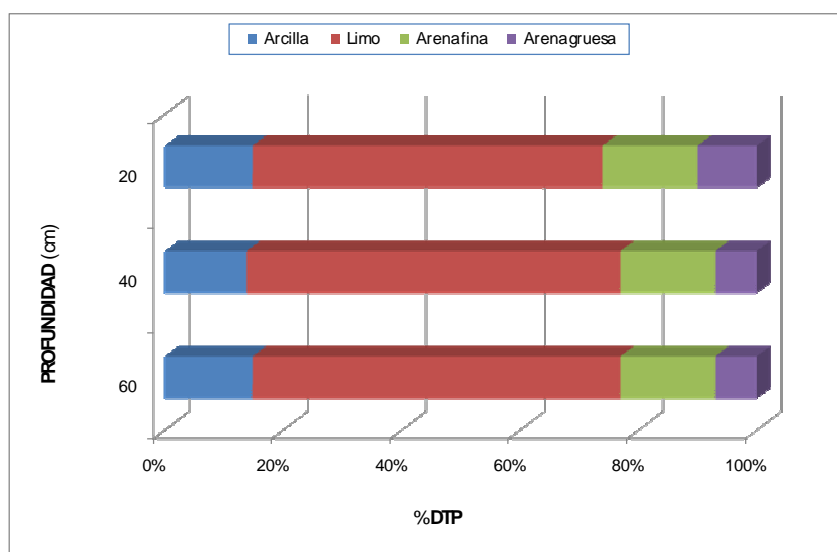


Figura 4.1: Distribución del tamaño de partículas de los suelos de la zona experimental I

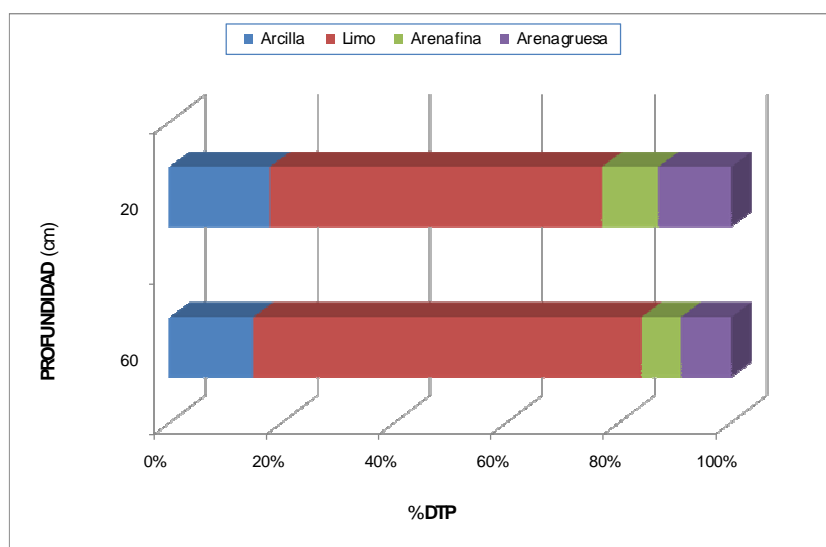


Figura 4.2: Distribución del tamaño de partículas de los suelos de la zona experimental II

Un aspecto a destacar en estos suelos es el porcentaje de esqueleto grueso, que es del orden del 10 al 30 % y está constituido por una mezcla de grava, lutita y concreciones de carbonato, en proporciones que variaban según los casos. En la zona experimental II se observó que predominan pedazos de lutita y en la zona I los nódulos y concreciones de carbonato cálcicos (Tabla 4.1).

Tabla 4.1: Porcentaje de esqueleto grueso y clases texturales de los suelos estudiados

Identificación Zona	Prof cm	% Esqueleto grueso >2000 μm	Clase textural Fracción fina
I	0-20	16	<i>Franco limoso</i>
I	20-40	10	<i>Franco limoso</i>
I	40-60	25	<i>Franco limoso</i>
II	0-20	30	<i>Franco limoso</i>
II	20-60	20	<i>Franco limoso</i>

En la Tabla 4.2 se muestran los cambios de consistencia de los suelos con la humedad. Se obtuvieron valores entre moderados y altos para el índice de plasticidad, dentro de esta tendencia general, en la zona experimental II los suelos presentaron valores más altos tanto del índice plástico como del límite líquido, lo que les confiere una mayor plasticidad que a los suelos de la zona experimental I.

Tabla 4.2: Límites de plasticidad de los suelos estudiados. (W: humedad gravimétrica g/g)

Identificación Zona	Prof cm	Limite líquido % W	Limite plástico % W	% partículas <2 μ m
I	0-20	26	19	15
I	20-40	25	20	14
I	40-60	26	20	15
II	0-20	33	21	19
II	20-40	27	18	14
II	40-60	30	19	15

Cuando los suelos son de características mineralógicas similares, su comportamiento plástico está muy relacionado con su textura, especialmente con el predominio de la fracción arcilla. Los suelos muestran una plasticidad mayor que la que pudiera esperarse para los contenidos de arcilla encontrados (entre 14 y 19 %), y con un coeficiente de correlación entre el índice de plasticidad y el contenido de arcilla de 0,62, que resulta bajo para este tipo de relaciones. De acuerdo al origen de estos suelos y al proceso intenso de adecuación de terrenos que han sufrido, pudiera pensarse que en la determinación del tamaño de partículas lo que se cuantificó como arenas, más que partículas de arena propiamente dichas, son pequeños fragmentos de concreciones de carbonato cálcico y de calcilutitas provenientes del material original, que no pudieron ser desintegrados completamente con el tratamiento (mecánico y dispersión) de las muestras para la determinación de la textura. Pero dado que, en la determinación del índice de plasticidad el material es sometido a un fuerte proceso de manipulación, (amasado, moldeado y mezcla), las partículas de arcilla y limo que constituyen los fragmentos de lutitas (> de 2000 micras de diámetro) si pudieron separarse. Con ello los valores de índices de plasticidad obtenidos corresponderían a muestras con mayor contenido de arcilla que el obtenido en la determinación de distribución de tamaño de partículas con el método utilizado.

Por otra parte, aun sin producirse la separación física de las partículas que constituyen la lutita, ese tipo de material con un diámetro medio entre 50 – 2000 micras, que es incluido en la fracción arenas, es un material que posee una cierta porosidad, lo que hace que su comportamiento físico coincida más con el de la fracción fina que con el de la fracción arena. Todo esto explicaría el hecho de que estos suelos tengan mayor plasticidad que la esperada, a partir de su “aparente” distribución de tamaño de partículas. También cabe resaltar, que los valores de humedad para el límite plástico supera a los de porosidad total, siendo este último representativo de la humedad a saturación. Estas diferencias podrían deberse a que los contenidos de humedad dados para el límite plástico son valores obtenidos en una muestra donde muchas de las partículas compuestas (fragmentos de lutita) de la fracción arena son desintegradas en partículas de limo y arcilla, con lo que se incrementa la porosidad total en relación al suelo original con mayor contenido de partículas en la fracción arena y esqueleto grueso en las que se determinó la porosidad total.

En cuanto a las características químicas de estos suelos se obtuvieron valores moderados de capacidad de intercambio catiónico, (16 a 21 cmol/ kg de suelo, para I y II respectivamente). El pH de los suelos oscila entre valores de 8,4 a 8,7, acorde con el carácter calcáreo de los suelos. El contenido de materia orgánica está en el intervalo de 0,84 a 1,29 % para los horizontes superficiales y de 0,18 a 0,65 % para los subsuperficiales, valores bajos, a pesar de la práctica habitual de aplicaciones de materiales orgánicos (estiércol y compost) a razón de 50 000 kg / ha con una frecuencia de tres años. La conductividad eléctrica es del orden de 0,13- 0,24 ds/m, lo que corresponde a una solución saturada de carbonato de calcio sin la presencia de otras sales. Hay un ligero aumento de los valores de CE con la profundidad, especialmente en zona I. El contenido de carbonato cálcico oscila entre un 33 y un 55 %, con pocas diferencias en los horizontes superficiales y los subyacentes, encontrándose los valores más altos en la zona I. En ambas zonas experimentales se trata de suelos calcáreos que difieren poco en cuanto a su composición química, si bien el proceso de adecuación del

terreno ha provocado principalmente alteraciones del tipo físico sobre un mismo material original, (Tabla 4.3).

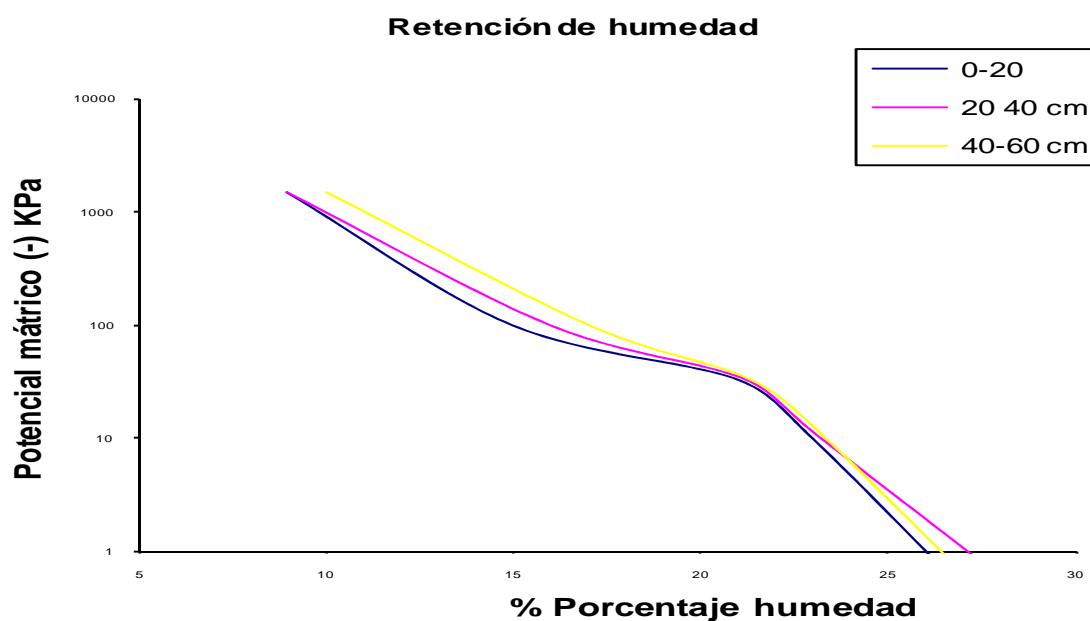
Tabla 4.3: Características químicas de los suelos estudiados

Identificación	Prof cm	pH	MO %	Conduct. Electrica ds/m 25° C	CaCO ₃ %	CIC cmol/kg
I	0-20	8.5	0.84	0.13	39	21
I	20-40	8.5	0.65	0.22	43	
I	40-60	8.4	0.63	0.24	43	
II	0-20	8.4	1.29	0.14	35	16
II	20-40	8.7	0.18	0.16	38	
II	40-60	8.7	0.22	0.17	37	

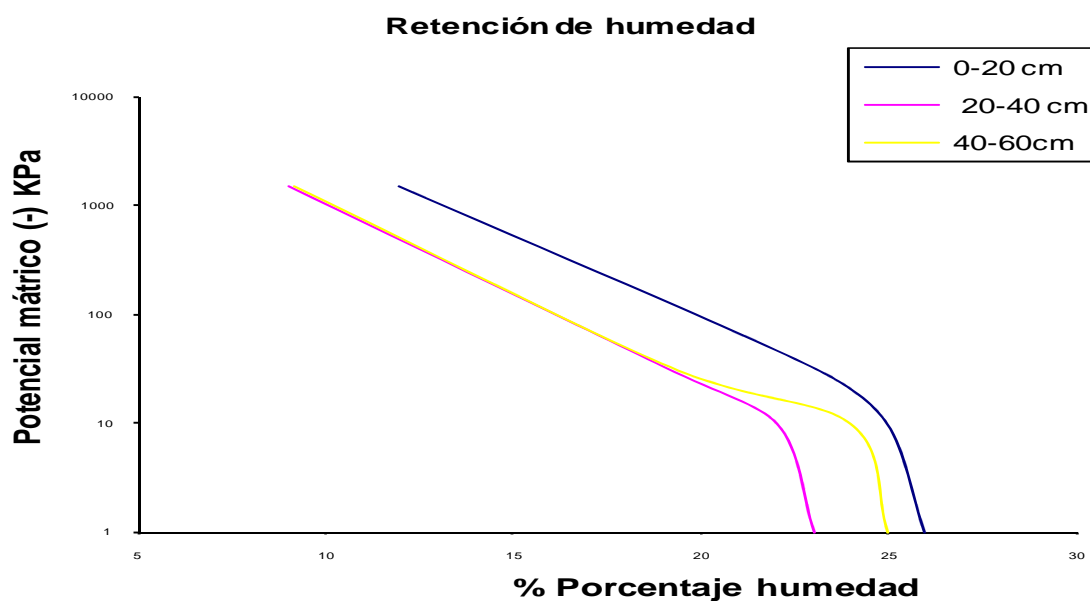
4.3.2 Retención, penetración y movimiento del agua en el suelo

Retención del agua en el suelo

En la Figura 4.3 (a y b) se muestran los valores de retención de humedad de los suelos estudiados a las diferentes presiones aplicadas en las cámaras de Richards (correspondientes al negativo del potencial mátrico del agua retenida). Dicha retención de agua está determinada básicamente por las características de retención intrínsecas al material de suelo más que por las condiciones de drenaje interno del perfil en condiciones de campo, y por ello se corresponde con las similitudes texturales y de material parental de estos suelos. En ambos casos los valores de retención de humedad a 10 y 33 kPa no superan el 26% de humedad gravimétrica, y las diferencias entre los valores de humedad retenidos a esos potenciales mátricos están en un intervalo entre el 2% y el 6%.



(a) Zona I



(b) Zona II

Figura 4.3: Características de retención de humedad de los suelos estudiados.
(% Humedad W)

Los resultados obtenidos a presiones de -1500 kPa se corresponden aproximadamente con el punto de marchites permanente, ya que errores en la apreciación del potencial, no se reflejan en contenido de humedad, dado lo poco que varía la humedad en ese intervalo de presiones.

Las diferencias de humedad gravimétrica entre -33 kPa y -1500 kPa de presión matricia oscilan en un intervalo del 8 % al 13 % de humedad, bastante cercano al 10 % de humedad señalado en la literatura como límite crítico para el establecimiento de cultivos anuales bajo agricultura de secano (Pla, 1983). Desde el punto de vista de uso de agua por el cultivo, la curva característica de retención de humedad para la zona I no muestra cambios bruscos entre saturación y 1500 KPa, siendo su evolución bastante gradual, por lo que podría esperarse que el suelo mantenga una suplencia continua de agua para la vid. Para la zona II destacan las pocas diferencias que hay entre la humedad retenida a -33 y -100 kPa de potencial mátrico.

Los valores de capacidad de campo para el horizonte superficial y para la zona radicular se muestran en la Tabla 4.4. Estos representarían la capacidad máxima de retención de agua en el suelo disponible para las plantas. Los valores de capacidad de campo oscilaron entre 0,31 y 0,35 en fracción de volumen, determinado tanto por las propiedades de retención de agua del material de suelo en sí, como por las condiciones de drenaje interno del perfil de suelo, (a su vez dependiente de la porosidad de cada capa de suelo y de la disposición de las mismas dentro del perfil). En el perfil de suelo el patrón de drenaje de cualquier horizonte es influido por las propiedades hidráulicas del horizonte que le sigue, y se cometen grandes errores al expresar la capacidad de campo como una característica de un material aislado sometido a succión, cuando en realidad está determinada fuertemente por la tasa de drenaje de todo el perfil.

Al respecto, Ritchie, (1986), señala que con lluvias de distribución irregular, la evaluación de la cantidad de agua que las raíces pueden extraer del suelo, basada en mediciones de laboratorio, puede llevar a graves errores. Las situaciones que se presentan en campo son mucho más complejas que las reflejadas por las características de retención y movimiento de agua en muestras de suelo aislado y para mediciones con equipos de laboratorio.

Tabla 4.4: Retención humedad en el perfil de suelo (índices de drenaje) de cada una de las zonas experimentales. (PER: Profundidad en la que se desarrolla más del 90 % de las raíces, CC: Humedad retenida en el suelo después de 48 horas de drenaje libre; PMP: Humedad retenida a -1500KPa; AA: Agua aprovechable en lamina)

			Humedad retenida					
Identificación Zona	Prof cm	PER mm	Saturación □ mm	Capacidad campo □ mm	PMP □	AA mm		
I	0-20		0,39	79	0,31	63	0,12	39
I	20-80	600	0,43	260	0,35	212	0,12	135
II	0-20		0,37	74	0,34	67	0,19	29
II	15-60	450	0,38	171	0,34	154	0,18	73

En el caso de la zona II existen en pequeñas diferencias entre capacidad de campo y saturación, lo que podría estar relacionado con dificultades en el drenaje rápido de los excesos de agua. Los valores de capacidad de campo obtenidos para los 2 suelos (expresados en forma gravimétrica) se acercan bastante a los valores de humedad retenida a -10 kPa, lo que indica posibilidades de restricción en el drenaje interno en la zona II

La humedad aprovechable para el cultivo fue tomada como la diferencia entre los valores de humedad retenidos a capacidad de campo y los retenidos a -1500 kPa (punto de marchites permanente). El agua aprovechable de los suelos estudiados es de 73 mm para la zona II y de 135 mm para la zona I, partiendo del supuesto que toda esa agua lograra entrar en el perfil.

Las características de retención de agua para cada caso obedecen a las particulares condiciones de drenaje interno de los perfiles, donde además de la influencia de la matriz del suelo en la retención, está la influencia que tiene el material lutítico con muy diferentes grados de fragmentación y meteorización a diferentes profundidades. En general, los valores de retención de humedad son altos para las texturas de los suelos, por lo que los fragmentos de material lutítico (con cierta porosidad), incluidos en el material menor de 2 mm podrían estar contribuyendo en esa capacidad de retención.

Diferentes investigadores (Hanson & Blevins, 1979; Arkley, 1981; Flint & Child, 1984; Montagne et al., 1992; Jones & Graham, 1993; 1998; Brouwer & Anderson, 2000), han señalado que fragmentos de material grueso provenientes de rocas de material original meteorizado pueden retener volúmenes de agua disponibles para las plantas y que éstos deberían ser considerados dentro de la estimación de la capacidad de almacenamiento del suelo. Jones & Graham (1993) señalan que muchas especies vegetales son capaces de desarrollar raíces dentro de la roca fracturada y parcialmente meteorizada, por lo que cualquier cantidad de agua que este tipo de materiales pudiera retener sería directamente aprovechado por las plantas. Montagne et al (1992), señalan que fragmentos de roca limosa podrían retener un promedio de 0,10 m³ de agua disponible por m³ de suelo. Por lo tanto para el cálculo de la disponibilidad de agua para las plantas en un pedión con una proporción significativa de estos fragmentos porosos de roca, ha de considerarse el agua retenida en dicho tipo de material.

Dadas las evidencias observadas y las referencias encontradas en cuanto al comportamiento de los fragmentos de material lutítico, se decidió caracterizar la capacidad de retención de agua de dicho material (Figura 4.4). Para ello se aplicaron diferentes presiones sobre las placas de Richards a bloques de lutita cálcarea de aproximadamente 100 mm de diámetro. Posteriormente estos mismos bloques se disgregaron para obtener fragmentos entre 4 y 8 mm y menores de 2 mm diámetro en los que también se midió la capacidad de retención de humedad. En los bloques grandes de lutita se determinó también la densidad aparente, en base al volumen y masa seca.

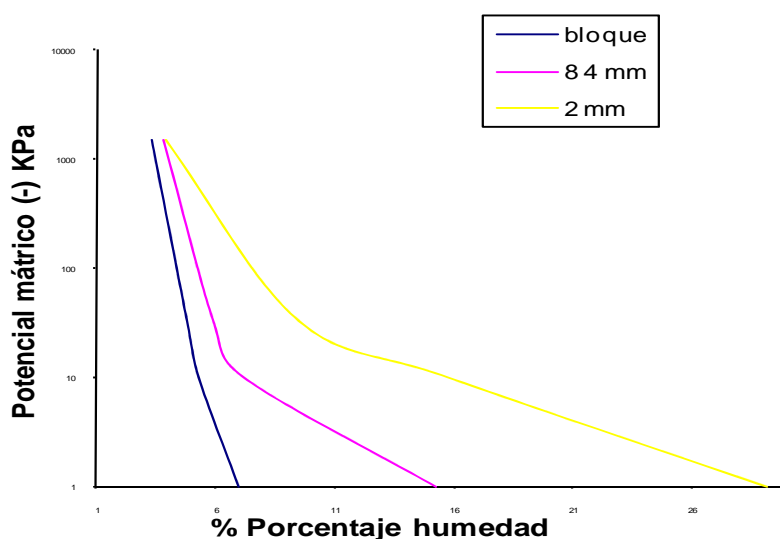


Figura 4.4: Características de retención de humedad del material lutítico. (%W humedad)

En la Tabla 4.5 se puede observar que el material lutítico es capaz de retener agua, sobre todo a bajas succiones. También se observa que cuando el material es triturado aumenta su capacidad de retención hasta valores similares a la de los suelos, dado que aumenta la superficie externa de los fragmentos y la porosidad entre ellos capaz de retener agua incluso a succión de -10 kPa, que corresponde a aproximadamente a la capacidad de campo de estos suelos. A succión de -1500 kPa, cuando el agua es retenida en los

poros dentro de los fragmentos, los valores de retención de humedad no están influidos por el grado de fragmentación del material.

Tabla 4.5: Retención de humedad en el material lutítico. (W: Humedad gravimétrica)

	(-) Potencial mátrico kPa			
Tamaño de los bloques de lutita	0	10	33	1500
Diámetro mm	Retención de humedad W (%)			
100	7	5	5	3
8-4	15	7	6	4
< 2	29	16	10	4

Para los suelos estudiados la posible aportación de agua disponible por encima de lo aportado por el material menor de 2 mm podría ser equivalente a una lámina de 20 mm, si asumimos una retención de agua promedio para el material grueso (fragmentos de lutitas) de 10%, una profundidad efectiva de la zona radical de 60 cm, un porcentaje de esqueleto grueso del 20%, una densidad aparente de 1700 kg/m³. Se podría esperar que parte del agua que pueda ser almacenada en la capa de lutita consolidada en el fondo del perfil de suelo pueda ser utilizada por las raíces de la viña que este en contacto o que penetren en las grietas de dicha capa.

En base a los valores de retención de humedad y porosidad determinados en el material lutítico y sus diferentes fragmentaciones, podríamos calcular la posible reserva de agua aprovechable para la vid proveniente del agua retenida dentro de las partículas y fragmentos derivados de dicho material:

En un suelo con una densidad aparente de 1,500 Kg/m³ y una densidad real de 2650 Kg/m³, la porosidad total calculada, (asumiendo que no hay poros dentro de las partículas) sería de un 43% del volumen del suelo:

$$porosidad = 1 - \frac{1500}{2650} = 0,43 \implies 43\%$$

Con ello el 57% restante del volumen del suelo serían partículas. Si esas partículas son derivadas de la fragmentación física de la lutita original, con una densidad aparente de 2200 Kg/m³, y una densidad real de 2,65 Kg/ m³:

$$\text{porosidad} = 1 - \frac{2200}{2650} = 0,17 \implies 17\%$$

Su porosidad sería un 17% del volumen de esas partículas, ó un 10% del volumen total del suelo ($0,57 * 0,17 = 0,10\%$ (10%)).

Este valor se corresponde con lo obtenido a partir del contenido gravimétrico de humedad a saturación de la lutita (0,07 g/g=>(7%)) y de su densidad aparente de 2200 Kg/m³ ($0,07 * 2200 = 0,16$), un 16% del volumen de partículas, o sea un 10% del volumen del suelo. Con ello la verdadera porosidad total del suelo subiría a 53% (43+10). Considerando que la retención de agua de la lutita a succión de 1500kPa es de un 7% de su volumen, resulta que la contribución de la porosidad dentro de las partículas a la capacidad de retención de agua aprovechable del suelo para la vid podría ser de un 5% ($(0,16 - 0,07) * 0,57 = 0,05 \implies (5\%)$) de humedad volumétrica.

De estas estimaciones se desprende que en estos suelos las características de retención de humedad obedecen a las particulares condiciones de drenaje interno de los perfiles, donde además de la influencia de la matriz del suelo en la retención, está la influencia que tiene el material lutítico con diferentes grados de fragmentación, así como también de la profundidad del mismo dentro del perfil. En aquellas situaciones de sistematización de los terrenos sin capaceo (donde el perfil de suelo ha sido decapitado y es poco profundo), la retención de humedad de ese material lutítico, que con diferentes grados de fragmentación forma parte de la matriz del suelo, puede llegar a disminuir significativamente el periodo de estrés hídrico entre aportes de lluvia.

Penetración de agua en el perfil de suelo

Los resultados de las experiencias realizadas tanto en campo como en el laboratorio para evaluar la infiltración del agua en el suelo se muestran en la Tabla 4.6. Los valores reportados indican que las mayores limitaciones en la infiltración de agua de lluvia en cualquier circunstancia se presentan en la

zona II, con el suelo superficial original removido por las labores de sistematización del terreno, y donde el suelo actual está formado exclusivamente por fragmentación física del material original subyacente de lutitas calcáreas. Los fragmentos superficiales, muy inestables al impacto de gotas (valores muy bajos de K_s), se mantienen estables con protección superficial (K_c altos), pero la baja conductividad hidráulica del material subyacente, hace que la velocidad de infiltración básica sea tan baja como la infiltración con sellado superficial. También los valores de suelo removido por erosión por unidad de volumen de escorrentía son mayores en la zona II. Para la zona I, los valores de conductividad hidráulica del sello, y de velocidades de infiltración bajo todas las condiciones son los más altas. Además en zona I es mucho más baja la concentración de material de suelo en el agua de escorrentía.

Tabla 4.6: Valores de velocidad mínima de infiltración (diferentes métodos), de conductividad hidráulica saturada (suelo superficial con y sin sello) y de suelo erosionado (Kg suelo/ m³ de agua de escorrentía) en cada una de las zonas experimentales.

Identificación	Método utilizado	Im	Im	Im	Im	Ksat (Agregados superficiales)		Is	Se
						Sin sello Kc	Con sello Ks		
Zona		Goteo sobre superficie sellada	Infiltrómetro Cilindro	Simulador lluvia campo (I=60 mm/h)	Simulador lluvia laboratorio (I=60 mm/h)			Kc/Ks	Si lat
	Unidades	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h		
I		18	45	30	27	37	5,0	7,4	
II		6	6	8	10	78	0,9	86,7	

(**I**: Intensidad de la lluvia simulada; **Im**: Infiltración mínima; **Ksat**: Conductividad hidráulica saturada; **Is**: índice de sellado, **Se**: Suelo erosionado en bandejas utilizando simulador de lluvia).

Los valores de infiltración básica bajo inundación (infiltrómetro de cilindro) representan la velocidad mínima de penetración de agua en el suelo cuando no se forma sello por el impacto de las gotas de lluvia, la cual está determinada por las propiedades hidráulicas de cada una de las capas que forman el perfil de suelo. Al analizar los resultados obtenidos, es necesario tener en cuenta que los valores de conductividad hidráulica del sello (K_s) y de infiltración mínima, obtenidos con el infiltrómetro de cilindro, se refieren a un gradiente hidráulico de aproximadamente uno, mientras que los valores de infiltración mínima con sello y lluvia simulada en el laboratorio y campo están determinados tanto por la conductividad hidráulica saturada del suelo superficial como por el gradiente de potencial hidráulico entre la superficie del suelo (saturada con agua) y el suelo por debajo del sello. Este gradiente puede ser muy grande en el caso de las pruebas con lluvia simulada en campo y laboratorio, con suelo completamente seco al inicio de la prueba, y algo menor en el caso de la medición en sellos ya formados en el campo, con el suelo subyacente no tan seco. Por otro parte, en el caso del sello formado en la medición de K_s , todas las partículas removidas por impacto de las gotas de lluvia simulada se vuelven a depositar sobre la superficie del suelo, mientras en las pruebas en campo y con bandejas de erosión, con pendientes, parte de esas partículas son continuamente removidas por el agua de escorrentía. En el caso de los sellos ya formados en el campo, en sitios seleccionados más o menos planos, puede presentarse una situación intermedia entre los casos anteriores.

La información aquí generada sobre los procesos de infiltración se utilizó en el cálculo del balance de agua en el perfil de suelo. Para ello los siguientes criterios, fueron tomados en cuenta:

- 1- Los valores de K_c pueden utilizarse en referencia a valores iniciales de velocidad de infiltración de agua en el suelo superficial protegido con residuos, cuando dicho suelo está seco y roturado.
- 2- Los valores de infiltración básica, con inundación, pueden utilizarse en referencia a la velocidad de infiltración cuando el suelo está protegido con

vegetación o residuos, no roturado en superficie y húmedo inicialmente. Reflejan la influencia de capas de suelo cercanas a la superficie con menor conductividad hidráulica saturada que el suelo superficial (zona II).

3- Los valores de velocidad mínima de infiltración en sellos superficiales ya formados pueden utilizarse en referencia a posibilidades de infiltración de agua de lluvia cuando está cae en suelo ya seco en superficie y con sellos ya formados por lluvias anteriores.

4- Los valores de velocidades de infiltración mínima obtenidos con lluvia simulada en campo y bandejas o cajas de erosión en laboratorio, reflejan los valores de infiltración de agua de lluvia cuando está cae en suelo con pendiente, seco y roturado superficialmente, una vez que se ha formado el sello y el exceso de agua se pierde por escorrentía. El tiempo en que se inicia la escorrentía es un valor importante que se obtiene durante las mediciones.

5- Los valores de suelo removidos por erosión, en suspensión en agua de escorrentía, medidos en la prueba de infiltración de lluvia simulada en bandejas de erosión en laboratorio, fueron utilizados como medida aproximada de la eficiencia de arrastre de suelo por erosión superficial por el agua de escorrentía generada, y a partir de ella hacer cálculos de erosión potencial en Mg / ha, por periodos de tiempo o derivados de eventos de lluvia específicos. Se ha encontrado una buena correspondencia entre dichos valores y los encontrados en mediciones, hechas con estructuras semipermanentes de recolección de sedimentos instaladas, en la zona de estudio, (Pla, 2002).

Movimiento del agua en el perfil de suelo

La velocidad de flujo del agua en el suelo está en gran parte determinada por la conductividad hidráulica. El valor final de velocidad de infiltración (infiltración básica), medida en el campo con el método del doble cilindro se corresponde aproximadamente con la conductividad hidráulica saturada del suelo hasta la profundidad de humedecimiento. En la Tabla 4.6 se reportan los valores de velocidad de infiltración básica en las dos zonas experimentales,

cuando se alcanzaron valores aproximadamente constantes, correspondiendo a profundidades de saturación del suelo de 40 a 50 cm según los casos.

También se reportan los valores de conductividad hidráulica saturada en cada una de las capas diferenciadas en cada uno de los perfiles de suelo estudiados. Como se aprecia, los valores de velocidades de infiltración básica corresponden bastante bien con la media armónica calculada a partir de los valores de conductividad hidráulica saturada de las capas hasta la profundidad de humedecimiento alcanzada, cuando se midió el valor final de velocidad de infiltración (K_{sat} (media armónica) = $(\sum P (n \text{ capas}) / P_{capa 1} / K_{sat 1} + P_{capa 2} / K_{sat 2} \dots + P_{capa n} / K_{sat n})$, siendo P: Espesor de cada capa). Los valores de conductividad hidráulica saturada medidas en laboratorio, con el permeámetro de carga constante, en muestras "no alterados" de suelo de 5 cm de altura y 5 cm de diámetro mostraron una gran variabilidad, y valores absolutos muchos más bajos que los obtenidos en el campo. Por ello, los valores utilizados para el cálculo del balance de agua fueron los obtenidos en campo. La alta variabilidad de los resultados y lo engorroso de la determinación de la conductividad hidráulica saturada en muestras de suelo no alteradas, solo hace recomendable esta determinación para casos muy especiales de suelos muy uniformes y con poco desarrollo estructural. Aunque las muestras no alteradas si son una buena opción cuando se utilizan para otras mediciones como distribución de tamaño de poros y retención de humedad a bajas succiones.

Se encontró que los valores de conductividad hidráulica saturada (K_{sat}) por capas reflejan la más alta permeabilidad de todo el perfil en zona I, y una baja permeabilidad de todo el perfil en la zona II, además de una fuerte limitación al flujo descendente del agua cuando se alcanza la capa de lutitas consolidada o poco alterada.

Tabla 4.6. Valores de conductividad hidráulica
:

Identif.	Prof cm	Ksat (Determinada en campo) mm/ h	Ksat. Muestras no disturbadas (Laboratorio) mm/ h			Infiltración básica (Infiltrómetro) mm/ h	Media armónica Ksat. (Campo) mm/ h
I						45 (En el perfil)	45,8 (0-40 cm)
I	0-20	37	Rep I	Rep II	Rep III		
I	20-40	60	7,0	1,2	0,5		
I	40-60	35	14,0	3,0	8,0		
II						6 (En el perfil)	7,6 (0-30 cm)
II	0-20	8	Rep I	Rep II	Rep III		
II	20-40	7	0,4	1,6	3,0		
II	40-60	3	2	0,4	0,5		

En todos los casos estudiados, cuando en el horizonte superficial se forma sello, la conductividad hidráulica saturada (Ksat) del sello es menor que la Ksat de las otras capas del perfil de suelo. Cuando esto sucede, la Ksat en esos primeros milímetros de suelo es la que rige el movimiento de agua en el resto del perfil. El grado de restricción en cada caso difiere. Aunque en general se obtuvieron valores bajos, en la zona I los valores de Ksat del sello son más altos que los obtenidos para la zona experimental II. Cuando la superficie del suelo, fue protegida para que no se formara sello, la conductividad hidráulica (medida) era mayor que la conductividad con sello. De presentarse una situación similar en el campo, sería la conductividad hidráulica de las capas más profundas del perfil las que definirían el movimiento de agua en el perfil. La profundidad de capas con drenaje restringido también afecta la dinámica del agua en todo el perfil del suelo.

La relación entre Ksat con el suelo protegido y Ksat en suelo con sellado superficial (K_{ss}/K_{cc}), llamada "índice de sellado relativo" indica que bajo condiciones que no permitieran la formación de un sello superficial la velocidad de infiltración de agua en el perfil del suelo incrementaría más de

70 veces en la zona II y más de 30 veces en zona I. Dado que la conductividad hidráulica saturada del sello (K_s) refleja la estabilidad de la estructura superficial al impacto de la gota de agua; los valores más bajos de K_s en la zona II muestran la baja estabilidad al impacto de las gotas de los fragmentos de lutitas que forman su horizonte superficial, donde la materia orgánica aplicada aun no muestra efectividad en el mejoramiento de la estructura.

En las Figuras 4.5 y 4.6 se muestra la evolución en el tiempo del contenido de humedad gravimétrico de las zonas experimentales I y II respectivamente. En todos los casos el horizonte superficial (0-20 cm) presenta los cambios más drásticos en contenido de humedad, con una respuesta inmediata a los aporte de lluvia, y a las pérdidas de humedad por evaporación.

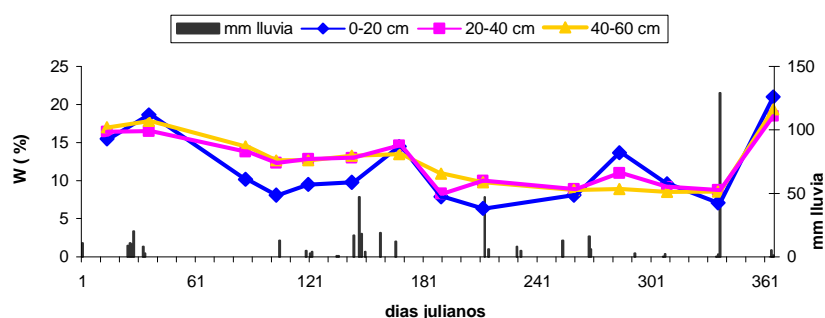
La evolución en el tiempo de la humedad en las capas más profundas presenta cambios más suaves, ya que no está tan afectada por la evaporación como en el suelo superficial y los aportes de agua a dichas capas a partir de eventos de lluvia se distribuyen más en el tiempo. Los eventos de baja intensidad y larga duración son los que más aportan agua a dichas capas. En general, la evolución de la humedad en el perfil de suelo depende de la profundidad, distribución y magnitud de los eventos de lluvia. Se observa que algunas lluvias de gran magnitud afectan drásticamente la humedad del horizonte superficial, con un efecto menor en la recarga de las capas más profundas.

En cuanto a la evolución de la humedad en el tiempo, se encontró que en todos los casos analizados el mayor almacenamiento en el suelo se presenta en el último trimestre del año, coincidiendo con las lluvias de otoño e invierno. La humedad acumulada durante ese periodo está disponible para el cultivo pero no es utilizada de inmediato por la vid, que en octubre- noviembre pierde sus hojas y entra en estado de latencia. Los meses de junio, julio y agosto son los meses más deficitarios en aporte agua de lluvia, y también son los meses con mayor demanda de agua por el cultivo, por lo que la planta utilizara la humedad acumulada en el último trimestre del año. Esa humedad disponible, (que depende tanto del aporte de agua por lluvia como de la que logre

infiltrar en el suelo y de la profundidad radicular efectiva), será la que básicamente servirá para satisfacer las demandas de la vid durante el envero y la maduración del fruto

Durante los dos años de trabajo experimental en campo se llevó el registro de la cantidad total de lluvias y la distribución de las mismas. En el año 1998 se registró un total de 522 mm año⁻¹, por debajo del promedio, pero con una distribución bastante regular. El año 1999 fue un año más lluvioso (611 mm) pero con una distribución más irregular y lluvias concentradas en zona pocos eventos a finales del año. Por ello, a pesar de ser dos años con desigualdades apreciables en la precipitación total no se manifiestan en marcadas diferencias entre ellos en cuanto a la humedad en el perfil del suelo.

(a) Año 1998



(b) Año 1999

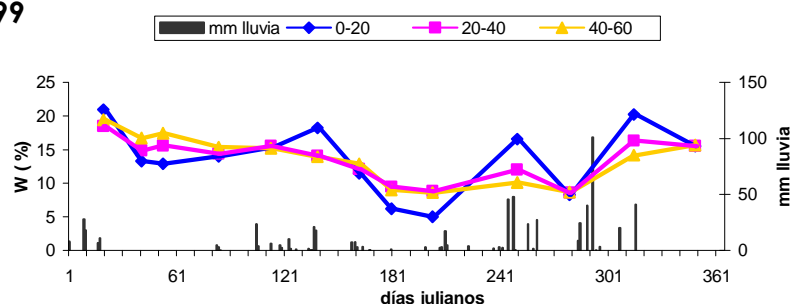
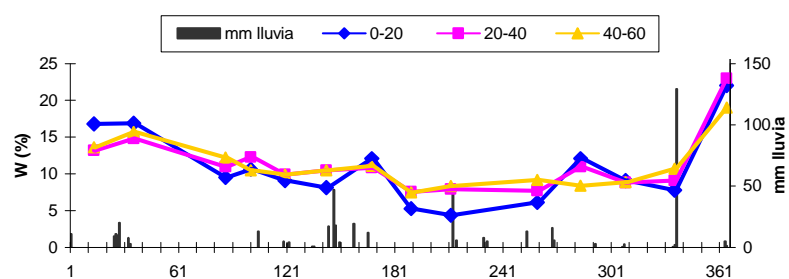


Figura 4.5: Evolución de la humedad en el tiempo en la zona experimental I a profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm 40-60 cm. (W: humedad gravimétrica)

(a) Año 1998



(b) Año 1999

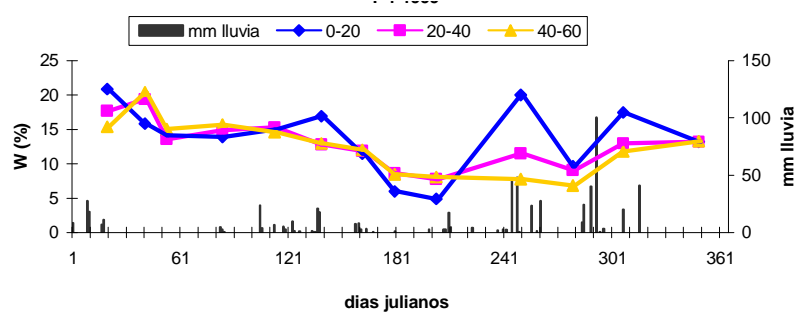


Figura 4.6: Evolución de la humedad en el tiempo en la zona experimental II a profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm 40-60 cm. (W: humedad gravimétrica)

Los valores obtenidos en los muestreos con barreno, expresados en base a volumen se compararon con los valores del TDR y se obtuvo un coeficiente de correlación de 0,79 (zona I y zona II). Teniendo en cuenta la influencia de la cantidad y tipo de esqueleto grueso presentes en estos suelos, tanto sobre los valores de densidad aparente como sobre la retención de humedad, se hizo un ajuste de los valores que permitió mejorar la correlación entre los valores de

humedad medidos por los dos métodos, (Figura 4.8 a y 4.8 b) Para hacer la correlación se considero que el esqueleto grueso (10-30%), está compuesto principalmente según el caso, por fragmentos de lutitas, cantos rodados o nódulos de carbonatos, con diámetros generalmente superiores a 1-2 cm, los cuales no están incluidos en las muestras tomadas con barreno, pero si en las muestras para la determinación de densidad aparente por el método de excavación. Los valores sin corregir y corregidos se calcularon con las siguientes ecuaciones:

$$(a) \text{ Humedad volumétrica (no corregida)} = W_{FF} * DA_s$$

$$(b) \text{ Humedad volumétrica (corregida)} =$$

$$(W_{FF} * M_{FF}) + (W_{EG} * M_{EG}) / (M_{FF} / DA_{FF}) + (M_{EG} / DA_{EG})$$

donde :

W_{FF} = Humedad gravimétrica del suelo medida en muestras tomadas con barreno.

DA_s = Densidad aparente del suelo (FF +EG) medida con el método de excavación

W_{EG} = Humedad gravimétrica en esqueleto grueso (EG), tomada como 0 si EG está compuesto de cantos rodados, o 0,05 (Ver tabla 4.) si el EG es compuesto principalmente por fragmentos de lutita calcárea.

M_{FF} = Fracción de masa del suelo que es FF (fracción fina)

M_{EG} = Fracción de masa del suelo que es EG (esqueleto grueso)

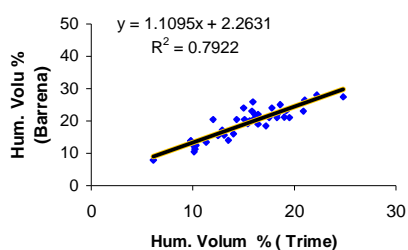
DA_{FF} = Densidad aparente de FF = $(DA_s - (DA_{EG} * M_{EG})) / M_{FF}$

DA_{EG} = Densidad aparente de EG, tomada como 2,65 g/ cm³ si el EG es principalmente cantos rodados, o 2,2 g/ cm³ (Ver IV.3.2.1) si el EG está compuesto por fragmentos de lutita calcárea.

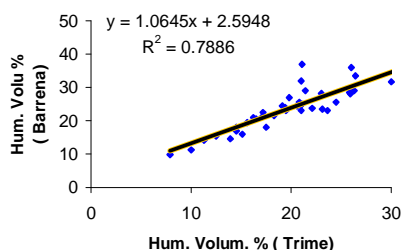
La corrección por esqueleto grueso incrementó significativamente la correlación, especialmente en la zona II, donde gran parte del esqueleto grueso son fragmentos de lutita calcárea. De la comparación de los valores de humedad volumétrica calculada en base a la humedad gravimétrica con

barreno (corregidos por esqueleto grueso) con los valores del TDR, se obtuvo una correlación de 0,86.

(a) Sin corregir

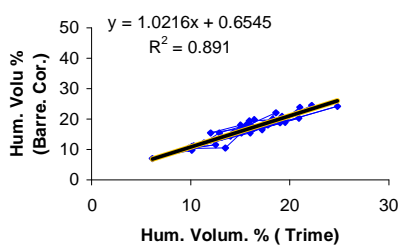


Zona I

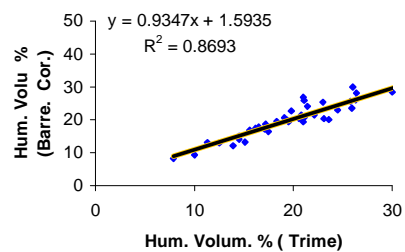


Zona II

(b) Corregido



Zona I



Zona II

Figura 4.7: Correlaciones entre los valores de humedad volumétrica medida con el equipo de reflectometría y los valores obtenidos en los muestreos con barrena, expresados en base a volumen.

4.3.3 Condiciones estructurales de los suelos

En la Tabla 4.6 se muestran algunos de los índices estructurales evaluados en los perfiles de suelos de las zonas de experimentación. Los valores obtenidos de densidad aparente y de resistencia a la penetración, evidencian diferencias entre los suelos y entre horizontes de un mismo perfil de suelo. Se observó en general que los horizontes superficiales presentaron los valores más bajos tanto de densidad aparente como de resistencia a la penetración, lo que está relacionado con el frecuente laboreo superficial, que se acostumbra realizar en la zona para control de humedad y malas hierbas. Los valores más altos de densidad aparente se obtuvieron en la zona II especialmente en los horizontes de 20-40 cm y 40-60 cm. Esta tendencia también se mantiene en los valores de resistencia a la penetración, medición realizada simultáneamente a la determinación de densidad aparente, y con humedades cercanas en los dos perfiles de suelo. En la zona II, los valores de estos parámetros indican que existe un alto grado de compactación en todo el perfil del suelo, que puede ser debido a que al realizar la nivelación dentro de las actividades de sistematización del terreno, se cortó el horizonte superficial original. Los horizontes que forman el perfil de este suelo están constituidos básicamente por una mezcla compleja de material fino y material lutítico con diferentes grados de fragmentación, relativamente poco meteorizados. En la zona I la densidad aparente muestra un ligero aumento con la profundidad, sin llegar a valores extremos. En los horizontes más profundos, la presencia de concreciones de carbonatos podría estar afectando los valores de resistencia a la penetración.

La densidad aparente y la resistencia a la penetración resultaron ser índices estructurales sensibles en la detección de condiciones estructurales diferentes tanto entre suelos como entre horizontes de un mismo suelo. Entre estos dos índices estructurales se obtuvo un coeficiente de correlación de 0,71, bastante alto, si se toma en cuenta que la resistencia a la penetración es un

parámetro sujeto a la influencia de otros muchos factores. Por otra parte, en este tipo de suelos con una alta proporción de material lutítico muy variado, en cuanto al grado de fragmentación y de meteorización, era conveniente trabajar con el método de la excavación para determinar la densidad aparente, por el mayor volumen de muestra con el que se trabaja, lo que mejora la representatividad de la misma, factor de suma importancia en suelos muy heterogéneos.

Las Figuras 4.8 (a) y 4.8 (b) muestran la evolución en el tiempo de la resistencia a la penetración para cada una de las zonas experimentales. Se observa que los valores de resistencia fluctúan a lo largo del año obedeciendo a cambios en el contenido de humedad en el suelo, por aportes de agua de lluvias y a la realización de alguna labor agrícola que modifica las condiciones estructurales. Dentro de esa tendencia, los valores más altos de resistencia se registraron en los horizontes más profundos, especialmente aquellos que limitaban con la capa de lutitas no alterada. La zona II presentó los mayores valores de resistencia a la penetración coincidiendo con las densidades aparentes más altas.

Tabla 4.6: Algunos de los índices estructurales evaluados en los suelos estudiados. (W: Humedad gravimétrica)

Identificación Zona	Prof cm	Densidad aparente	Resistencia	Humedad
		Método excavación Kg/m ³	Penetración MPa/cm	%W
I	0-20	1360	0,4	8
I	20-40	1420	0,8	16
I	40-60	1590	0,9	16
II	0-20	1700	0,7	14
II	20-40	1820	1,7	16
II	40-60	1850	1,8	14

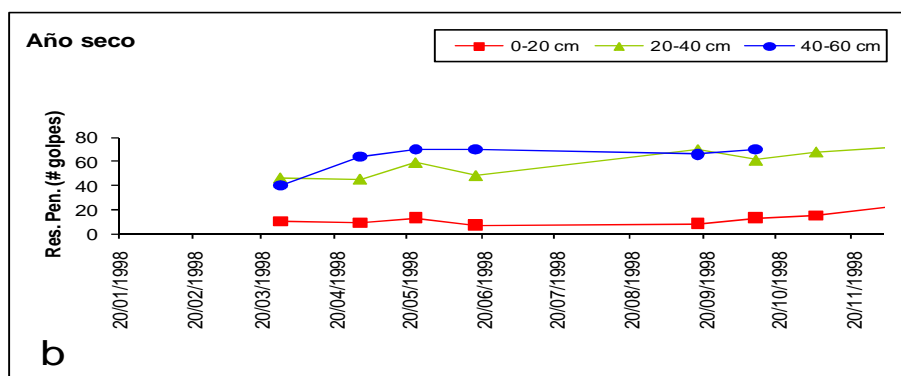
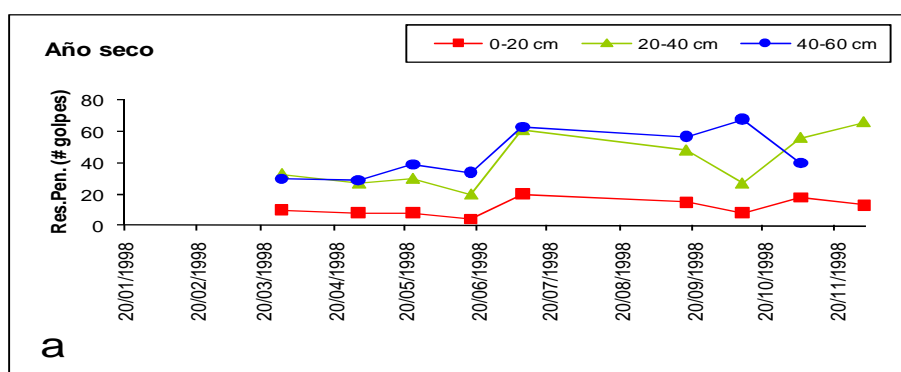


Figura 4.8 a: Evolución de la resistencia a la penetración en el tiempo.
 ((a) zona experimental I y (b) zona experimental II).

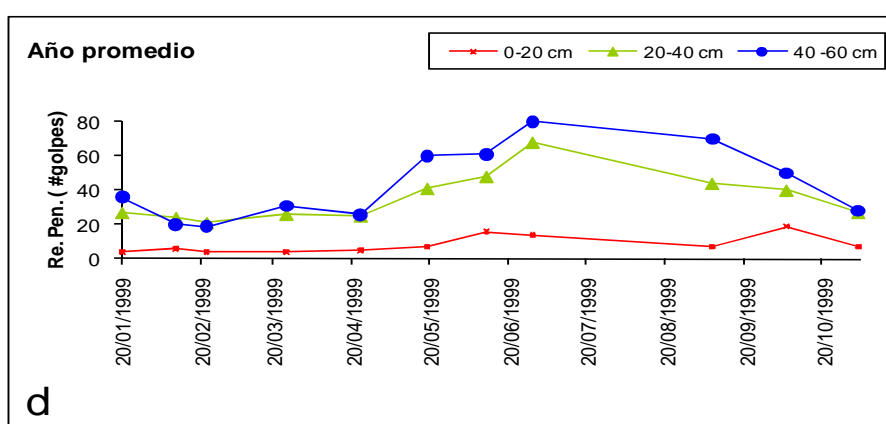
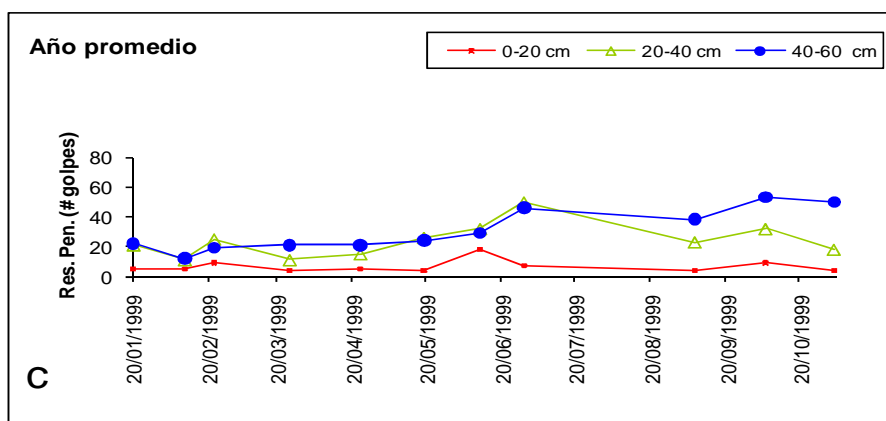


Figura 4.8 b: Evolución de la resistencia a la penetración en el tiempo. ((c) zona experimental I y (d) zona experimental II).

A lo largo del año 1998, que fue un año seco, los valores de resistencia a la penetración muestran una tendencia a incrementarse en el tiempo. En el año 1999 (promedio) después de los aportes de cada lluvia se observó una inflexión descendente de la resistencia a la penetración, que se mantenía de acuerdo a la humedad almacenada y al tiempo que tardaba en aparecer otro nuevo evento de lluvia. Dentro de cada año las lecturas críticas correspondieron a la época de sequía y dentro de esa tendencia, la fluctuación de los valores guardaba cierta relación con la capacidad del perfil de almacenar agua entre nuevos aportes de lluvia. En las capas superficiales (0-20 cm) que están continuamente sometidas a roturación mecánica se registraron valores bajos de resistencia a la penetración aún a bajos contenidos de humedad. A partir de los 15 cm las características de textura y estructura del suelo se reflejaban en las lecturas, correspondiendo las lecturas más altas a la zona II.

La resistencia a la penetración es un parámetro influido por un gran número de características físicas del suelo. En el caso de penetrómetros de punta cónica la resistencia está compuesta de un componente de presión para expandir la cavidad, y de un componente de fricción del cono con las paredes. Esa resistencia no es una propiedad particular del material, sino que es una suma de los efectos de diferentes características y propiedades presentes en el suelo, tales como densidad aparente, contenido de humedad, tamaño de partículas, estructura composición mineral y orgánica. En nuestro caso cuando fue evaluada la evolución en el tiempo de los valores de resistencia a la penetración en las dos zonas experimentales se encontró que las lecturas realizadas en el campo estuvieron muy afectadas por la humedad del suelo, a excepción del horizonte superficial, donde las continuas labores de roturación enmascararon dicha relación (Figura 4.9).

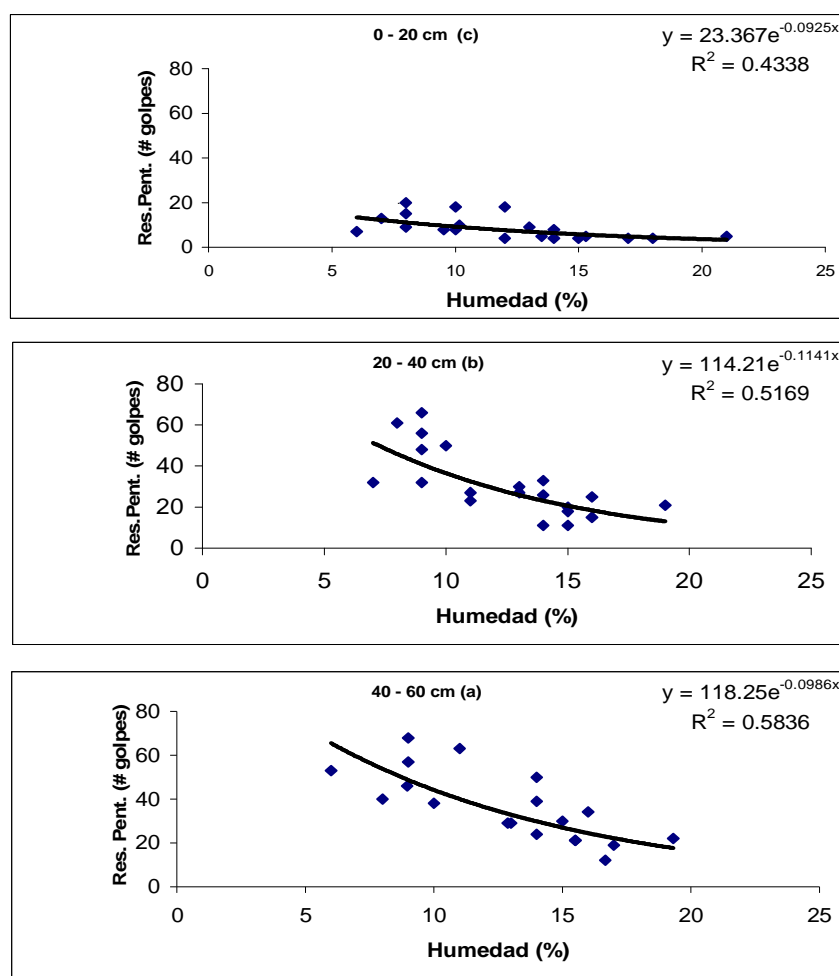


Figura 4.9: Relación encontrada entre los valores de resistencia a la penetración y la humedad del suelo

En la Tabla 4.7 se muestra el porcentaje promedio de volumen de poros sobre volumen de suelo (porosidad total) y el porcentaje promedio de volumen de suelo con radio de poros mayor y menor de 15 micras (macro y micro porosidad), obtenido en muestras no disturbadas de los diferentes horizontes de los perfiles de suelo. En general entre los dos perfiles de suelo se encontraron diferencias entre los % de poros totales, pero no en la distribución de poros. Aunque se tomaron todas las precauciones posibles para cuidar la estructura de las muestras, los resultados mostraron una alta variabilidad entre repeticiones.

Tabla 4.7: Porosidad de los perfiles de suelos de las zonas experimentales.
(Expresada en % de volumen de poros sobre volumen de suelo)

Identificación Zona	Prof cm	Porosidad total (Medida)	Macroporos	Microporos
		%	%	%
I	0-20	39	8	31
I	20-40	43	11	32
I	40-60	44	7	37
II	0-20	37	10	27
II	20-40	38	7	31
II	40-60	36	6	30

La susceptibilidad de los suelos a la compactación está reflejada en la Tabla 4.8 donde se muestran los valores de densidad aparente que se alcanzaron en las muestras una vez que habían sido compactadas. Esta prueba se realizó con muestras de suelo de 0-20 cm y con un contenido de humedad similar en las 2 zonas de experimentación, ya que el grado de compactación que

alcanza un suelo está vinculado al contenido de humedad presentes en el. En todos los casos los suelos sufrieron compactación con el consecuente deterioro de sus condiciones físicas, como se refleja en el aumento de los valores de densidad aparente con respecto a los valores originales medidos en campo, destacándose los valores alcanzados en los suelos de la zona II, por ser los más extremos.

Tabla 4.8: Valoración de la susceptibilidad del horizonte superficial de los suelos estudiados a la compactación. W: humedad gravimétrica.

Identificación Zona	Prof cm	Densidad aparente <i>(Condiciones de campo)</i> Kg/m ³	Densidad aparente <i>(Después de la compactación)</i> Kg/m ³	Humedad de la muestra <i>(Al ser compactada)</i> %W
I	0-20	1360	1520	26
II	0-20	1600	1800	26

4.4 Conclusiones

El proceso de adecuación del terreno ha provocado principalmente alteraciones del tipo físico en suelos que se han desarrollados sobre un mismo material original (roca arcillosa (lutita) calcárea) y con pocas diferencias en su composición química.

En los suelos estudiados, las características de retención de humedad obedecen a las particulares condiciones de drenaje interno de los perfiles, donde además de la influencia de la matriz del suelo en la retención, está la influencia que tiene el material original con cierta porosidad y capacidad de retención de agua, relacionada con su grado de fragmentación, roturación y

la profundidad del mismo dentro del perfil. En ese sentido, para los suelos estudiados esa posible aportación de agua disponible, por encima de lo aportado por el material menor de 2 mm, podría ser equivalente a una lámina de 20 mm, asumiendo una retención de agua promedio para el material grueso (fragmentos de lutitas) de 10%, una profundidad efectiva de la zona radical de 60 cm, un porcentaje de esqueleto grueso del 20%, una densidad aparente de 1700 kg/m³.

Como consecuencia de los trabajos de corte y nivelación de los terrenos, el material lutítico subyacente aflora en superficie; este material muy sensible al impacto directo de las gotas de agua se sella rápidamente, por lo que se establecen valores muy bajos de K_{sat} que reducen drásticamente la posibilidad de infiltración del agua de lluvia al perfil de suelo.

Los valores de "índice de sellado relativo" son indicativos de que bajo condiciones que no permitieran la formación de un sello superficial, la velocidad de infiltración de agua en el perfil del suelo aumentaría; específicamente para el caso de los perfiles de suelo donde el material lutítico está en superficie ese incremento podría ser de más de 70 veces con respecto a la situación actual.

La profundidad efectiva de desarrollo radicular es menor (450 mm de profundidad) en aquellos perfiles de suelo afectados por los cortes y rellenos de las labores de nivelación de los terrenos. Esto es un factor crítico para el almacenamiento de agua de lluvia en el suelo, dada la no coincidencia en el tiempo de los aportes de agua con el periodo de mayor demanda de agua por la vid.

En la obtención, procesamiento e interpretación de los resultados obtenidos en las diferentes mediciones físicas de campo y laboratorio hay que tomar en cuenta la naturaleza y características particulares de los suelos, especialmente de los más alterados por la sistematización de los terrenos. Ello debido a que en estos suelos, de escaso desarrollo pedogenético, y donde el material original son predominantemente rocas arcillosas (lutitas) calcáreas, hay un contenido elevado de material grueso, con porosidad y capacidad de retención de agua, y las otras fracciones más finas (arena, limo y arcilla) son en

su gran parte un simple producto de desintegración física de dichas rocas. El método de muestreo, manipulación y tratamiento de las muestras puede cambiar dicho grado de roturación o distribución de tamaño de partículas y con ello afectar significativamente los resultados.





Figura 4.10: Imagen de algunos de los equipos utilizados para caracterizar las propiedades físicas

5 Capítulo V. Desarrollo de la vid en las condiciones edáficas estudiadas

5.1 Introducción

Las condiciones edáficas son determinantes en el desarrollo de la vid y para la producción de vinos de calidad, y especialmente lo son, aquellas condiciones, que rigen la dinámica de agua en el suelo, pues tienen un efecto directo sobre el equilibrio entre el vigor vegetativo y producción de uva, (Seguin, 1986, Van Leeuwen & Seguin, 1994; Rawson, 2002).

A pesar de que la vid es un cultivo con una alta resistencia a la sequía, si durante el periodo de máximas necesidades hídricas del cultivo, la capacidad de reserva de agua en la zona radicular es insuficiente y son escasos los aportes de agua de lluvia, esto puede dar lugar a un largo periodo de déficit de agua en el suelo, afectando el crecimiento, la producción y la maduración de la vid, (Matthews & Anderson, 1988).

Otro factor determinante en la disponibilidad de agua para los cultivos es un adecuado desarrollo radicular. Un pobre desarrollo radicular tiene un efecto restrictivo en la productividad del cultivo, ya que la suplencia de agua y nutrientes a la planta depende del grado de colonización de las raíces en el suelo. A su vez el desarrollo radicular está determinado por las condiciones edáficas y fundamentalmente por la estructura del suelo (porosidad, resistencia), y por la humedad. (Valentin 1989a, Moroke, 2005).

En este capítulo, se caracteriza el desarrollo del cultivo y se relaciona con las condiciones físicas de los suelos, tanto de las zonas alterada por la adecuación de los terrenos como los de las zonas no intervenidas. Para ello se hizo una caracterización de las raíces in situ, y algunas estimaciones de rendimiento.

5.2 Materiales y métodos

Hay una gran variedad de métodos para estudiar el desarrollo radical que van desde el simple examen visual del perfil de suelo, hasta métodos más sofisticados que consumen mucho tiempo y dinero. Lipiec & Hakansson, (2000),

señalan que en los estudios de raíces no hay un método universal para todas las situaciones, y por lo general las evaluaciones son diseñadas para satisfacer necesidades específicas sobre todo de modelos de simulación que incluyen parámetros de desarrollo de raíces.

En nuestro caso se requería información sobre el desarrollo del sistema radical para relacionarlo con las condiciones físicas en el suelo y se buscaba sencillez y eficacia en el método. En ese sentido, el método seleccionado tiene bajos requerimientos de tiempo y equipos, proveyendo al mismo tiempo la información requerida para la mayoría de los fines perseguidos en la evaluación física de los suelos. El método utilizado para la caracterización de las raíces es una adaptación del método de la trinchera, que consiste en exponer el sistema radicular completo de la planta, removiendo el suelo que lo rodea. Dicha exposición permite hacer observaciones directas de profundidad, distribución y densidad de raíces, complementados con dibujos y fotografías para evaluaciones semi cuantitativas posteriores. El método es sencillo, rápido y ha demostrado reflejar bien las relaciones suelo-raíces. (Pla, 1996; Nacci, 2008).

En cada una de las zonas experimentales se trabajó en la calicata abierta para la caracterización física de los suelos y se utilizó la pared paralela a la línea de siembra para realizar la descripción y cuantificación del desarrollo radicular de una cepa de vid. Primeramente, en las plantas seleccionadas para estudiar su sistema radicular, se hicieron mediciones de altura de planta, etapa de desarrollo y otras informaciones complementarias.

La excavación de las raíces se hizo lo más cerca posible del tallo de la planta, con unas dimensiones mínimas de 1 metro en sentido horizontal, abarcando todo el desarrollo horizontal de las raíces a estudiar, y con una profundidad de 20-30 cm. por debajo de la máxima profundización de las raíces.

Sobre la raíz expuesta de la planta, se colocó una lámina de acetato, sujeta a un marco de madera. A continuación se dibujó a escala original la distribución de todo el sistema radicular en la lámina de acetato superpuesto al corte del terreno, usando un marcador indeleble, marcando con puntos o

líneas, la posición de las raíces expuestas. El dibujo se complementó con fotos de la pared de suelo con la raíz desnuda.

El dibujo realizado en campo se llevó al laboratorio y se colocó sobre una cuadrícula (5 x 5 cm), contándose el número de cuadros que a cada intervalo de profundidad contiene alguna raíz. El número de cuadros con la presencia de raíces en las diferentes profundidades del suelo, se representó en un gráfico con la profundidad en el eje de las ordenadas, y el número de cuadros con raíces en el eje de las abscisas. El gráfico obtenido dio información sobre la distribución y la profundidad de enraizamiento.

Conjuntamente se hicieron estimaciones de rendimiento para detectar diferencias entre las zonas experimentales. Durante el tiempo que duró el montaje de los ensayos en campo, en cada zona experimental se vendimiaron y pesaron los racimos de 10 cepas de vid. A partir de esa información se hicieron las estimaciones de rendimiento tomando en cuenta el marco de plantación.

5.3 Resultados y discusión

5.3.1 Caracterización del desarrollo radicular

En la zona de estudio, toda la producción comercial de vid se basa en plantas injertadas, por lo que el sistema radical es del tipo adventicio. Las raíces nacen lateralmente sobre la porción del tallo utilizada como estacilla, no existiendo una raíz principal única sino varias principales que dan nacimiento a las raíces secundarias y estas a su vez a las radículas, que en conjunto constituyen la cabellera.

Es muy común en la zona la utilización de aperos de labranza que cortan las raíces más superficiales, a fin de fomentar la profundización de las mismas. Como consecuencia de esta práctica, en todos los casos se observa, una escasa presencia de raíces entre 0-15 cm de profundidad. Por otra parte, la profundidad efectiva alcanzada por las raíces, estaba relacionada con la

profundidad en la que aparece la capa de lutitas (material originario de estos suelos) y del grado de consolidación o roturación de la misma.

En las Figuras 5.1 y 5.2 se muestra el dibujo y la correspondiente foto del sistema radicular de las plantas de vid estudiadas. En el caso particular de la zona experimental donde no se realizaron trabajos de adecuación del terreno (I), se encontraron varias raíces principales bien desarrolladas, con un ángulo geotrópico entre 20 y 45 grados. A partir de estas raíces principales se desarrollan las raíces secundarias y raicillas conformando así la cabellera radicular, que en un 90 % estaba distribuida entre los 20 y 80 cm de profundidad (profundidad efectiva radicular). En este perfil de suelo, la capa de lutitas consolidada se encuentra a más de 80 cm de profundidad y casi la totalidad de la masa radicular se desarrolla por encima de esa profundidad. En la zona II, había poca presencia de raíces y una menor profundización de las mismas en el perfil de suelo. El 90 % de las raíces se encontraba entre 15-60 cm de profundidad, (profundidad efectiva radicular). Se trata en este caso de un perfil creado por la acción antrópica, y que está constituido por una capa de lutitas consolidada a 60 cm de profundidad, sobre la cual se encuentra un horizonte constituido mayoritariamente por material lutítico con diferentes grados de roturación, formando bloques por entre los cuales se desarrollan la mayoría de las raíces.

En la zona experimental II, el desarrollo de raíces primarias fue menor y se apreció un predominio de las raíces secundarias y raicillas laterales sobre las raíces primarias. Al respecto, Glinski & Lipiec, (1990), señalan que una respuesta común del sistema radicular al incremento del nivel de compactación es el decrecimiento del diámetro. El decrecimiento del tamaño de la raíz resulta en mayores distancias entre las raíces vecinas y afecta la toma de nutrientes y agua (Tardie, 1988). En ese sentido, Crossett & Campbell (1975) encontraron, que cuando hay horizontes compactados en el perfil de suelo, se da una acumulación de etileno típica de una baja difusión de oxígeno, que hace que se incremente el tejido meristemático en raíces laterales y cabellos radicales, por lo que hay una mayor proporción de éstas en la masa radicular. También se observó que el mayor desarrollo de las raíces secundarias se concentra en las grietas existentes entre los bloques de material lutítico alterado. La

presencia de estas grietas, de un diámetro mayor que las raíces, es una importante discontinuidad estructural que es utilizada por las raíces como una vía alternativa para su expansión en los horizontes compactados.

A partir de esta información y tomando como criterio la profundidad en la que estaban distribuidas el 90 % de las raíces, se estimó una profundidad efectiva radicular de 600 mm para la zona sin modificar (I) y de 450 mm para la zona donde se realizaron trabajos de adecuación de terrenos (II).

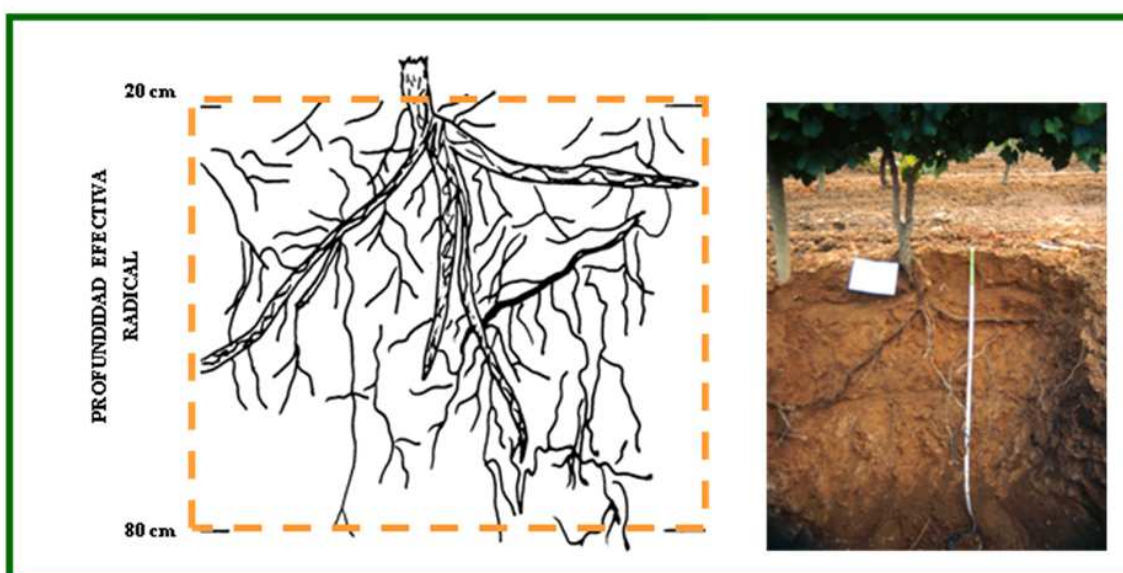


Figura 5.1: Desarrollo radicular en la zona experimental I

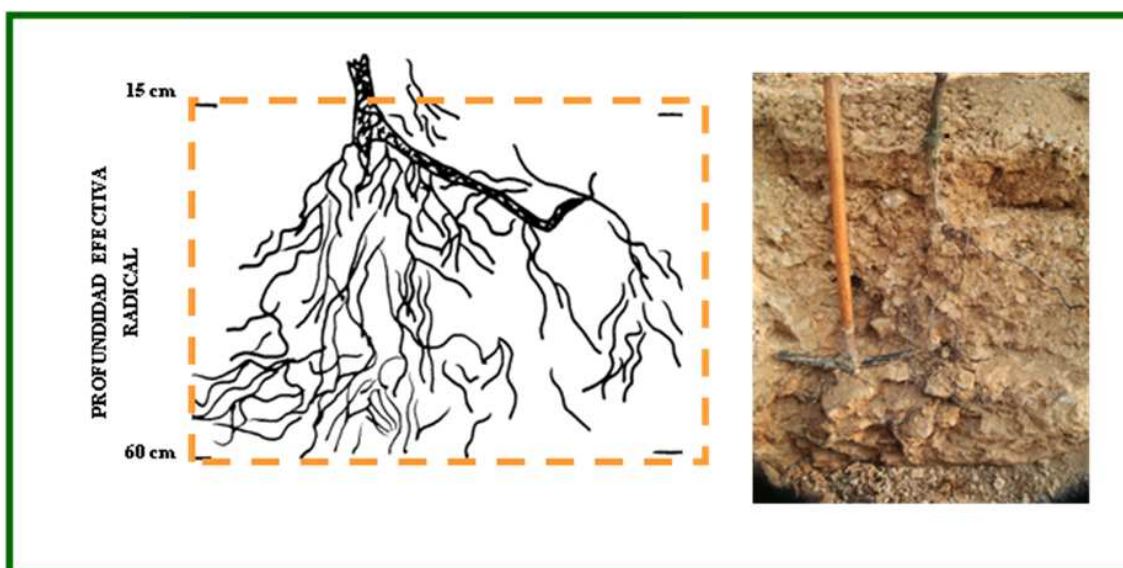


Figura 5.2: Desarrollo radicular en la zona experimental II

5.3.2 Estimación de rendimiento

Tomando un marco de plantación de 3 x 1,2 m, se hizo la estimación del rendimiento en Mg/ha de uva para los años 1998 y 1999, (Figura 5.3).

Tanto para el año 1998 como para el año 1999 las estimaciones de rendimiento más altas se obtuvieron en la zona I (terrenos no transformados), coincidiendo con que en esa zona también se detectó una mayor profundidad radicular. Por contraposición, los rendimientos más bajos se obtuvieron en la zona II, coincidiendo con la menor profundización del sistema radicular, y unas condiciones físicas que dificultan la infiltración de agua de lluvia. Aunque cabe destacar que en ambos casos el rendimiento se mantuvo dentro del rendimiento promedio de la zona de estudio que es de 6,5 Mg/ha. Taylor & Brar, 1991 señalan, que la morfología de la raíz responde a las facilidades que le brinde el medio ambiente, y que alteraciones en su morfología no siempre se manifiestan en merma del desarrollo de la planta. Una raíz a pesar de sufrir una disminución en longitud puede estar suministrando toda el agua y los nutrientes demandados por la planta, si estos se mantienen a niveles adecuados dentro del volumen de suelo en el que las raíces llegan a desarrollarse por muy reducido que sea dicho volumen.

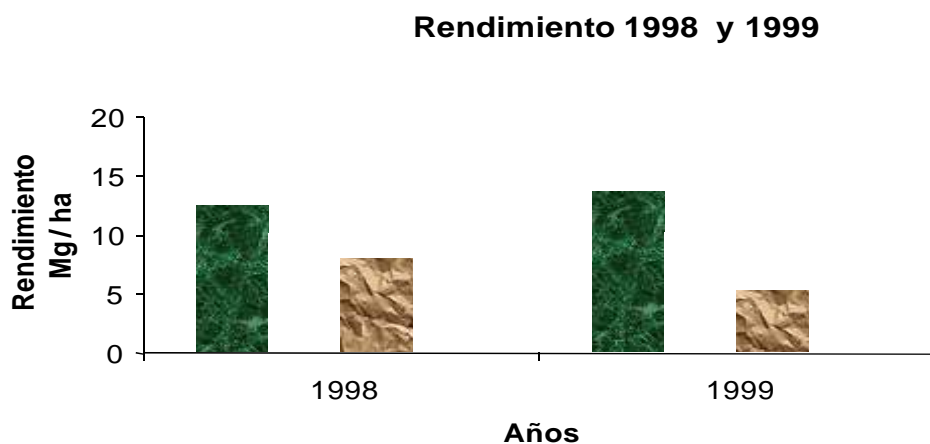


Figura 5.3: Rendimiento por hectárea obtenido en las zonas experimentales.

Zona I 

Zona experimental 

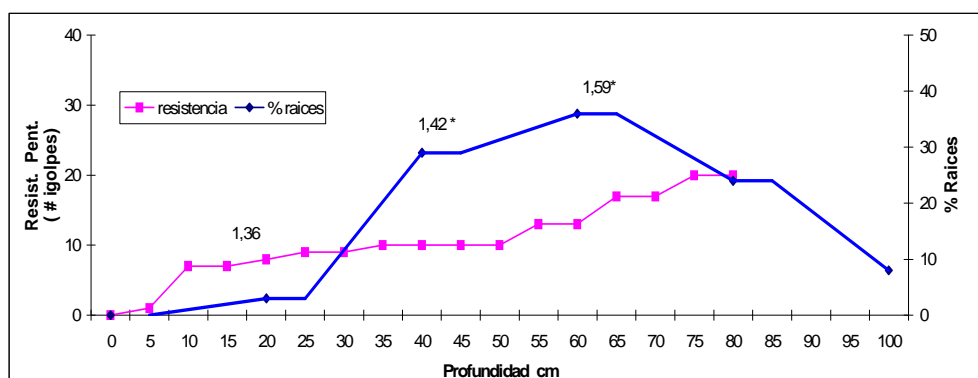
5.3.3 Desarrollo radicular del cultivo y condiciones físicas de los suelos

En todos los casos, la distribución de las raíces de la viña estuvo supeditada, a las particulares condiciones estructurales de los perfiles de suelo de cada zona experimental; y la profundidad efectiva alcanzada dependía especialmente, de la profundidad en que aparecía la capa de lutitas y del grado de consolidación o roturación de la misma. Al respecto Reynier (1995), señala que el sistema radicular de las viñas adultas suele desarrollarse entre los de 20-50 cm de profundidad, debido a que por encima sufren las sequías o prácticas culturales y por debajo su penetración es frecuentemente dificultada por la presencia de piedras, asfixia y el mantenimiento de bajas temperaturas en primavera. Por su parte, McKenry, (1984,) y Fregoni (1998), indican que la profundidad de colonización de las raíces aumenta con la edad de la planta y que la mayoría de las raíces de viña cultivada suelen desarrollarse por encima de los 100 cm de profundidad, aunque no se descarta que algunas raíces pudieran desarrollarse a profundidades mayores de hasta 6 m.

En la Figura 5.4(a, b) se relacionan los valores de resistencia a la penetración y densidad aparente con el desarrollo radicular, para cada uno de los perfiles

de suelo estudiados. En todos los casos evaluados se observó que el desarrollo de raíces es muy escaso a partir de la profundidad en la se presentan, durante gran parte del año, valores de densidad aparente superiores a 1700 kg/m^3 y de resistencia a la penetración mayores de $1,3 \text{ MPa/cm}$, (correspondientes a 80 golpes/ 20 cm con el penetrómetro de impacto utilizado). A pesar de ello, no se observó ninguna modificación morfológica de la raíz como consecuencia de la capa compacta creada por el laboreo, y que fue detectada por las mediciones de densidad y resistencia a la penetración. Taylor & Brar, (1991) señalan que la compactación del suelo en terrenos cultivados presenta una alta irregularidad en su distribución espacial, presentándose planos débiles o contenidos de humedad en ciertos periodos cruciales que permiten que las raíces atraviesen la capa restrictiva y continúen profundizando.

(a) Zona I



(b)Zona II

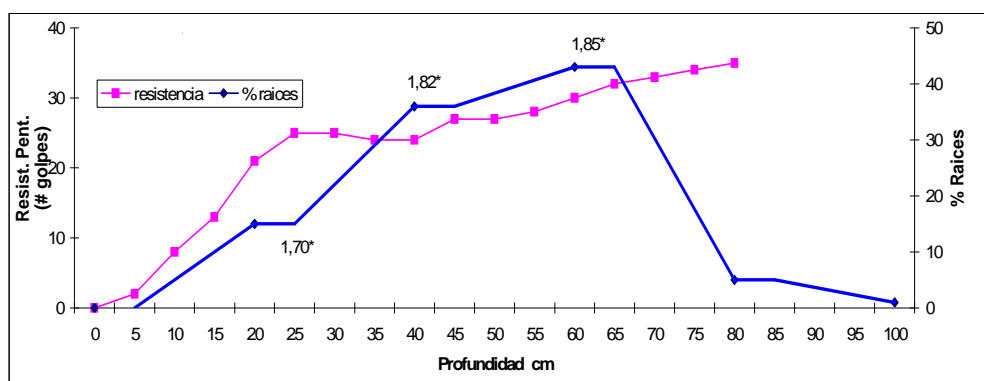


Figura 5.4: Distribución de raíces y valores de densidad aparente (*) y resistencia a penetración en cada una de las zonas de experimentación (Zona I (a) Zona II (b)).

Tomando como referencia la profundidad en la que estaban presentes más del 90% de las raíces (que en el caso de la zona I era de 600 mm y en la zona II era de 450mm) y las características de retención de humedad (Capítulo IV), se estimó cual sería la capacidad de almacenamiento de agua aprovechable para el cultivo expresada en lamina total de agua, (Tabla 5.1). La disponibilidad máxima de agua aprovechable estaría comprendida entre 73 mm para la zona II y 135 mm para la zona I, siempre que toda esa cantidad de agua lograra entrar en el perfil. La capacidad de almacenamiento de agua en el suelo disponible para el cultivo estuvo muy influida por la profundidad efectiva radicular.

Tabla 5.1: Capacidad de almacenamiento de agua aprovechable en el suelo en cada zona experimental

Identificación	Prof. Efectiva	Humedad	Humedad	Lamina de agua

Zona	radical mm	retenida -10 Kpa (potencial mátrico)	retenida -1500 Kpa (potencial mátrico)	total AA mm
I	600	0,35	0,12	135,0
II	450	0,34	0,18	72,90

5.4 Conclusiones

Para los objetivos de este trabajo el método de excavación de trinchera resultó adecuado para cuantificar la respuesta de la raíz de la vid a las condiciones físicas del perfil de suelo, creadas por la nivelación y el laboreo. La información semi-cuantitativa generada permitió definir la profundidad efectiva radicular, que fue utilizada para expresar en lámina la disponibilidad máxima de agua para el cultivo, en cada uno de los casos estudiados.

La distribución de las raíces de la viña en todos los casos obedecía a las particulares condiciones estructurales de los suelos de cada zona de experimentación. En todos los casos evaluados se observó que:

1. La profundidad efectiva alcanzada dependía especialmente de la profundidad de la capa de lutitas y de su grado de consolidación o roturación.
2. Hay una escasa presencia de raíces entre 0-15 cm de profundidad debido a la utilización de aperos de labranza que cortan continuamente las raíces más superficiales para fomentar la profundización de las mismas.
3. El desarrollo de raíces es muy escaso a partir de la profundidad en la se presentan, durante gran parte del año, valores de densidad aparente superiores a 1700 kg/m^3 y de resistencia a la penetración mayores de $1,3 \text{ MPa/cm}$ a una humedad gravimétrica de aproximadamente 10-15%.

6 Capítulo VI. Régimen de humedad en el suelo

6.1 Introducción

La predicción del régimen de humedad de los suelos requiere de información climática y de propiedades físicas e hidrológicas de los suelos a niveles adecuados y tomando en cuenta la variabilidad espacial y temporal del clima y de los suelos. La integración de esta información en modelos de simulación facilita la interpretación y prospección en el tiempo de parámetros climáticos y propiedades hidrológicas del suelo en relación a efectos sobre producción e impactos ambientales, y en relación a los sistemas y prácticas de uso y manejo de los recursos suelo y agua.

Los modelos de simulación constituyen una herramienta fundamental para entender la complejidad que caracteriza los sistemas ecológicos y ambientales. Su empleo se enfoca generalmente a comprender mejor los problemas y anticipar la realidad que se investiga. Un buen modelo es capaz de revelar interacciones entre los diferentes componentes que no eran evidentes al estudiar cada uno de los procesos separadamente y permitirá ensayar experimentos que no se podrían realizar en el sistema real. En la práctica la utilización de un tipo de modelo u otro depende, entre otros factores, del tipo de datos disponibles, las salidas deseadas y la complejidad de los procesos a simular. Hay una gran gama de modelos, y siguen apareciendo, y además hay una gama de trabajos adaptando modelos, pues no hay un modelo universal.

Para la aplicabilidad de un modelo debe buscarse un compromiso entre el realismo y la facilidad de manipulación, con un tamaño y grado de complejidad manejables, incluyendo variables fácilmente disponibles o estimables a través de evaluaciones rápidas y razonablemente fáciles de llevar a cabo (Pla, 1996).

El modelo de simulación SOMORE, ya validado bajo muy diferentes condiciones, (Pla, 1989; 1992; 1998; 2001; 2002a; Nacci et al., 2002; Fonseca, 2006), es un modelo basado en procesos hidrológicos que simula la evolución

del balance diario de agua en el perfil del suelo, requiriendo cómo entrada información de suelos y de clima fácilmente obtenible. (Pla, 1997; 2006). Este modelo podría usarse para predecir el régimen de humedad del suelo, , bajo diferentes condiciones de suelo, topografía, clima, vegetación, cultivos y manejo y Las predicciones pueden utilizarse para identificar los procesos de degradación más probables, y para la selección de las mejores alternativas, para cada combinación de suelos, clima y de topografía.

En este capítulo se integró la información de suelo, clima, cultivo y manejo generada en capítulos anteriores para estimar el balance de humedad de los suelos en las condiciones actuales utilizando el modelo SOMORE (Pla, 1995). El modelo permitió pronosticar la evolución de la humedad en la zona radicular del suelo, así como también las posibilidades de generación y concentración de escorrentía superficial y sub superficial a lo largo del año. La validación del modelo para la zona experimental se hizo comparando los valores simulados con los calculados a partir del registro continuo de la evolución del contenido de humedad a diferentes profundidades, durante los años 1998 y 1999.

6.2 Materiales y métodos

La información generada sobre los diferentes procesos físicos del suelo (Capítulo IV) y de cultivo (Capítulo V) combinada con información climática se utilizó para definir el balance de agua. El balance de agua provee un excelente mecanismo para evaluar el régimen de humedad del suelo y poder así definir los periodos de disponibilidad de agua para el cultivo; periodos que pueden ser definidos y cuantificados a través de los componentes del balance. La demanda de agua fue representada por la evapo-transpiración máxima y la oferta por el volumen de suelo enraizable, por el desarrollo radical y por los procesos de retención, infiltración y transmisión de agua del suelo.

Para la caracterización climática se utilizó la información disponible de la estación meteorológica de Sant Sadurni, localizada en las coordenadas UTM X= 399 344; Y= 4 587 798; Z 125 m (1980-2000), que señala una precipitación

media anual de 564 mm año⁻¹, con una distribución con dos máximos anuales, un máximo absoluto en otoño (septiembre - octubre) y un máximo relativo en la primavera (mayo). El mínimo absoluto se da en el mes de julio. La ETP usando Thornwaite es de 826 mm de media anual, con un valor máximo de 152 mm para julio y un mínimo de 10 mm en enero.

Con un pluviómetro totalizador de campo instalado en la zona de experimentación se registraron las lluvias diarias durante el período enero 1998 a diciembre de 1999. También se disponía de un pluviómetro de balancín en un área vecina a la zona de experimentación que permitió registrar las lluvias diarias y estimar las intensidades de las de las tormentas durante los años 1998-99. El pluviómetro de balancín, con una sección colectora de 200 cm³ y una capacidad de balancín de 0,2 mm, estaba conectado a una data logger que permitía almacenar los datos con registro de cada dos minutos. Los registros diarios de lluvia del año 1998 (522 mm año⁻¹) y 1999 (611 mm año⁻¹) se utilizaron para la determinación de los balances de agua en cada una de las situaciones estudiadas.

En base a la información sobre evapotranspiración (ETP) en viña descrita por Pascual, (1994); Fregoni (1998); Hidalgo (1999), se establecieron los valores de la evapotranspiración real (ETR) de la viña para la zona. Se escogieron factores en base a lo citado en la literatura para modificar la evapotranspiración potencial calculada por Thornwaite, que era la única información que se disponía. Este factor variaba según la época del año con un valor de 0,02 para los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero; de 0,8 para junio, julio y agosto y de 0,4 para septiembre, octubre, marzo, abril y mayo. Durante el periodo de noviembre, diciembre, enero y febrero en los días con precipitación se tomaron los valores máximos de ETP para el 1°, 2° y 3° día (después del evento) cuando la cantidad de lluvia caída así lo permitía.

Utilizando el modelo de simulación, con base hidrológica, SOMORE (Pla, 1989; 1992; 1997)) y un programa de ordenador basado en él, se calcularon para los años 1998 y 1999, (años en que se realizaron ensayos y pruebas en el campo), los balances diarios de agua en el suelo para las dos zona experimentales (I y II), bajo las condiciones actuales del suelo superficial y de la profundidad

efectiva del desarrollo radicular. La validación del modelo para la zona, se hizo comparando los resultados del modelo con los registros continuos de la evolución del contenido de humedad a diferentes profundidades, durante los años 1998 y 1999.

6.2.1 Bases teóricas del modelo utilizado

El modelo se fundamenta en una descripción de los procesos hidrológicos más importantes en suelos y de los efectos sobre ellos del uso y prácticas de manejo, bajo climas semiáridos a sub húmedos. Introduce algunas simplificaciones en la formulación de los diferentes procesos hidrológicos, las cuales han probado no afectar significativamente la precisión de las salidas, y que al reducir el número y clase de parámetros de entrada sobre clima, suelos y plantas, hacen aplicable el modelo (Pla, 1996a).

El modelo SOMORE en su desarrollo integra procesos con una sólida base teórica, basándose en experiencias de campo bajo muy diferentes condiciones de clima, topografía, suelos y manejo. Con fines prácticos, utiliza como entradas al modelo parámetros de clima, suelos, cultivos y manejo, que son de fácil aseguibilidad o pueden medirse directamente sin gran dificultad.

En la Figura 6.1 se presenta el flujograma que sirvió de base para el desarrollo del modelo de simulación SOMORE (Pla, 1992, 1997, 1999). Para prever las posibles influencias de diferentes combinaciones de prácticas de manejo de suelos y agua sobre el régimen de humedad del suelo, el modelo requiere de una previa identificación y evaluación de los principales factores críticos que afectan los problemas de degradación de suelos y de suministro de agua a las plantas. Los datos son utilizados para simular el comportamiento de una condición particular o de un sistema de manejo en años diferentes, y por lo tanto, basándose en ese comportamiento previsto se podría seleccionar o diseñar los mejores sistemas de manejo con una base probabilística. El modelo también hace posible predecir los procesos de degradación de suelos y sus efectos potenciales, con diferentes períodos de retorno, para cada condición de uso o manejo de tierras propuesto. Utiliza la selección de ciertos periodos

de retorno para la información climática, a la hora de determinar los requerimientos de prácticas de manejo y estructuras de conservación. Para ello una estación o año en particular es descrito o analizado con relación a la variabilidad a largo plazo, basado en récords de lluvia del pasado. La predicción que se pueden hacer con el modelo sobre concentraciones en la escorrentía superficial y sub superficial, y de las condiciones de humedad del suelo, permite prever en que días, semanas, meses o años se presentan los mayores peligros de inundaciones, erosión y sedimentación, y cuál será el proceso más probable de erosión (Pla 1992; 1993; 1996b).

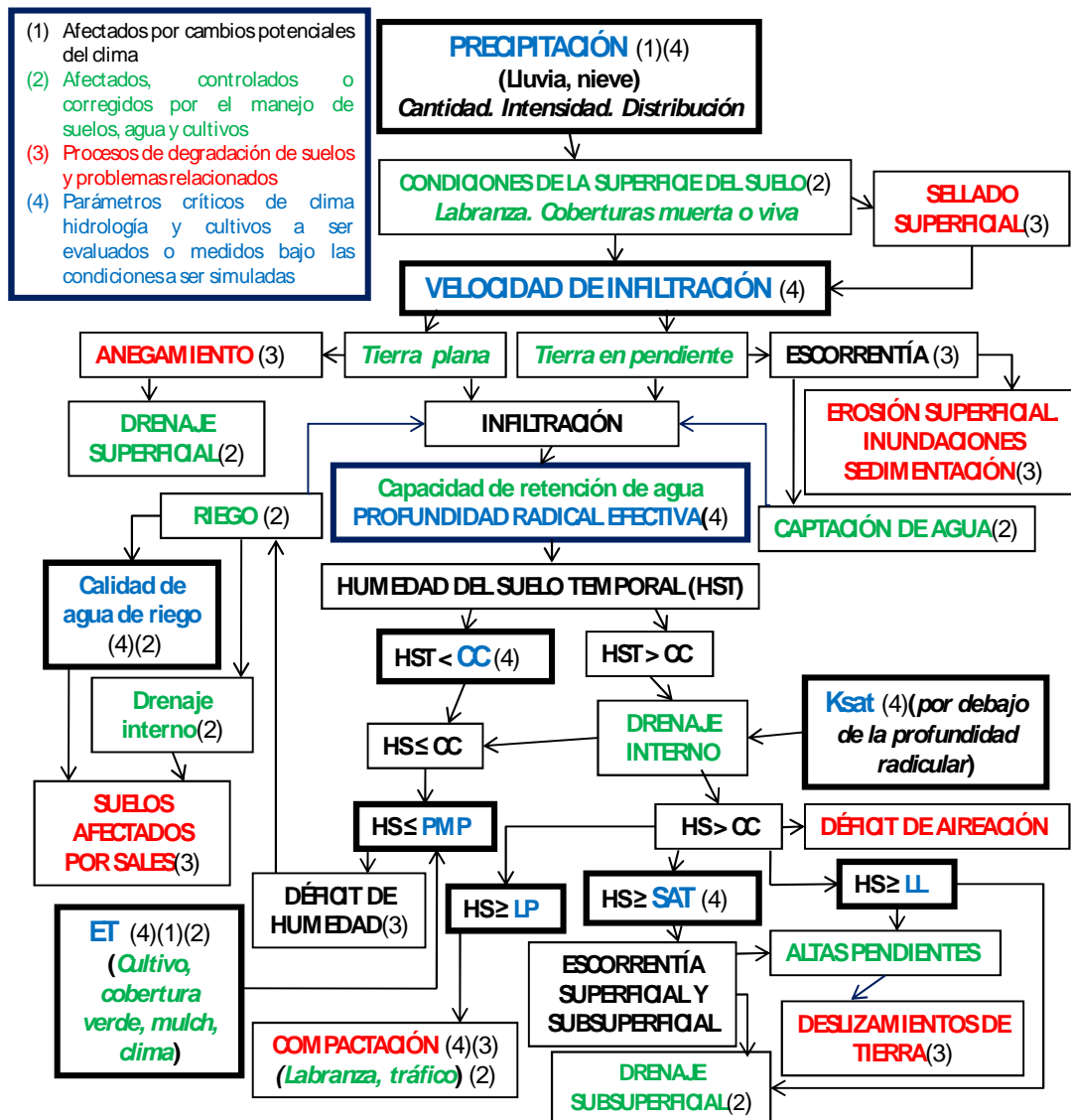


Diagrama de flujo de un modelo de simulación (SOMORE) basado en procesos hidrológicos para predecir el balance y el régimen de humedad del suelo y los procesos derivados de degradación de suelos bajo diferentes escenarios de clima, suelos y prácticas de manejo de suelos y agua (Adaptado de Pla, 1997, 2000, 2006) (HS: Humedad del suelo; CC: Capacidad de campo; PMP: Punto de marchitez permanente; SAT: Saturación; LP: Límite plástico; LL: Límite líquido; ET: Evapotranspiración; Ksat: Conductividad hidráulica saturada)

Figura 6.1: Fundamentos teóricos del modelo de simulación utilizado

6.2.2 Datos de entrada y salida del modelo de simulación

SOMORE requiere como entradas básicas antes de comenzar la simulación, las condiciones del suelo que tienen influencia en la velocidad de infiltración, en las pérdidas por escorrentía, en el drenaje interno, en la retención de humedad en el suelo y en la evapotranspiración, y en el desarrollo radicular. Tales condiciones son expresadas a través de parámetros basados en mediciones de campo y laboratorio, o en estimaciones, utilizando metodología y equipos sencillos, pero suficientemente precisos para cubrir las necesidades al menor costo posible. Para la profundidad radicular (o profundidad de la capa limitante) se debe definir el contenido de agua a saturación, el límite líquido, el límite plástico, la capacidad de campo y el punto de marchitez temporal o permanente (humedad retenida a 0,15 y 1,5 MPa), los cuales se pueden medir en el campo y en el laboratorio (que fue la alternativa escogida en este caso), o ser estimados a través de funciones de pedotransferencia.

La principal salida del modelo es el régimen de humedad del suelo con una base diaria, incluyendo la humedad promedio hasta la profundidad radicular, y las pérdidas de agua por escorrentía y drenaje interno. La humedad del suelo se calcula con un intervalo de un día (24 horas), dependiendo de los datos de entrada de lluvia y evapotranspiración, y de las salidas de escorrentía y drenaje interno. El anegamiento y la escorrentía dependen de la relación entre la intensidad de las lluvias, la tasa de infiltración y la capacidad de retención de agua del suelo por encima de la capa limitante, afectados o no por el efecto de sellado superficial y del gradiente de la pendiente.

El régimen de humedad del suelo predicho puede ser interpretado en relación a problemas de sequía o exceso de agua en el suelo donde se pueden desarrollar las raíces, en diferentes épocas y etapas de crecimiento de un cultivo o vegetación particular, y también en relación a requerimientos de riego y drenaje, posibilidades de operaciones de labranza, y peligros de degradación por diferentes procesos de erosión.

6.3 Resultados y discusión

Se calcularon los balances diarios de agua en el suelo en las zonas de experimentación (I, II), durante los años 1998, 1999, en que se llevo a cabo un registro continuo de las condiciones de humedad del suelo, de las lluvias y de los procesos de degradación física de los suelos. La información obtenida se representa en los gráficos de la Figuras 6.2. (a, b) y 6.3 (a, b)). En estos gráficos además de la evolución a lo largo del año de la humedad total almacenada en la zona radicular de la vid, (medida o calculada), se representan como base de comparación los valores en mm de retención de humedad a saturación, a capacidad de campo, y a 1500 KPa de succión, que se toma como valor aproximado de punto de marchites permanente. En los mismos gráficos se representan los eventos de lluvia (mm) durante el año, y la parte de dicha humedad que se pierde por escorrentía y/o por drenaje interno.

Los años de experimentación 1998 y 1999 fueron diferentes en cuanto a la cantidad y distribución de lluvias. El año 1998 fue más seco, con lluvias concentradas a finales de año, mientras que en el año 1999, más húmedo, las lluvias estuvieron mejor repartidas en el tiempo y en número d eventos.

6.3.1 Régimen de humedad en la zona experimental I

La zona experimental I, es la que más se asemeja a la situación edáfica original, aunque en las condiciones actuales se maneja sin coberturas y alta mecanización, la velocidad de infiltración del agua en el perfil, aun sin protección superficial, es alta en comparación con la otra zona experimental. En la Figura 6.3 (a,b) se muestra la evolución del régimen de humedad para dicha zona, apreciándose que en el año 1998 la humedad almacenada en el suelo por los aportes de lluvia del invierno de 1997 se mantienen en valores intermedios entre capacidad de campo y 1500 KPa (PMP), con un agotamiento lento hasta aproximadamente mediados de julio (día 165), (Figura 6.2a.) A partir de ese momento se aprecia un descenso de la humedad del suelo, con ciertas oscilaciones por la contribución de varios eventos de lluvia de baja magnitud, hasta situarse en valores cercanos a PMP. Esa

situación se mantiene hasta fines de noviembre, cuando los aportes de lluvia más importantes de 1998 permiten de nuevo el ascenso del contenido de humedad hasta alcanzar la capacidad máxima de almacenamiento (capacidad de campo). Tanto el régimen de humedad del suelo medido y como el simulado presentan una tendencia semejante, aunque los valores absolutos en el "medido" tienden a ser algo más altos en el periodo más húmedo y un poco más bajos en el periodo más seco.

La evolución del régimen de humedad del suelo en la zona I, para el año 1999, año más lluvioso que el año 1998, pero con la mayor proporción de lluvias concentradas en el periodo otoño-invierno, es representado en la Figuras 6.2b. La humedad del suelo al inicio del año no había alcanzado la máxima capacidad de almacenamiento, pero unas pocas lluvias de gran magnitud caídas durante la primera quincena de enero de 1998, además de incrementar la humedad almacenada en el suelo generaron pérdidas de agua por escorrentía y por drenaje interno. El descenso de la humedad almacenada hasta valores límite de PMP ocurrió cerca del día 181. Estos bajos valores de humedad en el suelo se mantuvieron de forma continua sin fluctuaciones (hasta los 241 días) pues no hubo pequeños aportes de las lluvias de verano como sí ocurrió el año 1998. Las lluvias de otoño-invierno se presentaron temprano en 1999, por lo que ya a principios del mes de septiembre se comienza a recuperar la humedad almacenada en el suelo, hasta llevarlo a su capacidad máxima de almacenamiento (CC) antes del día 290.

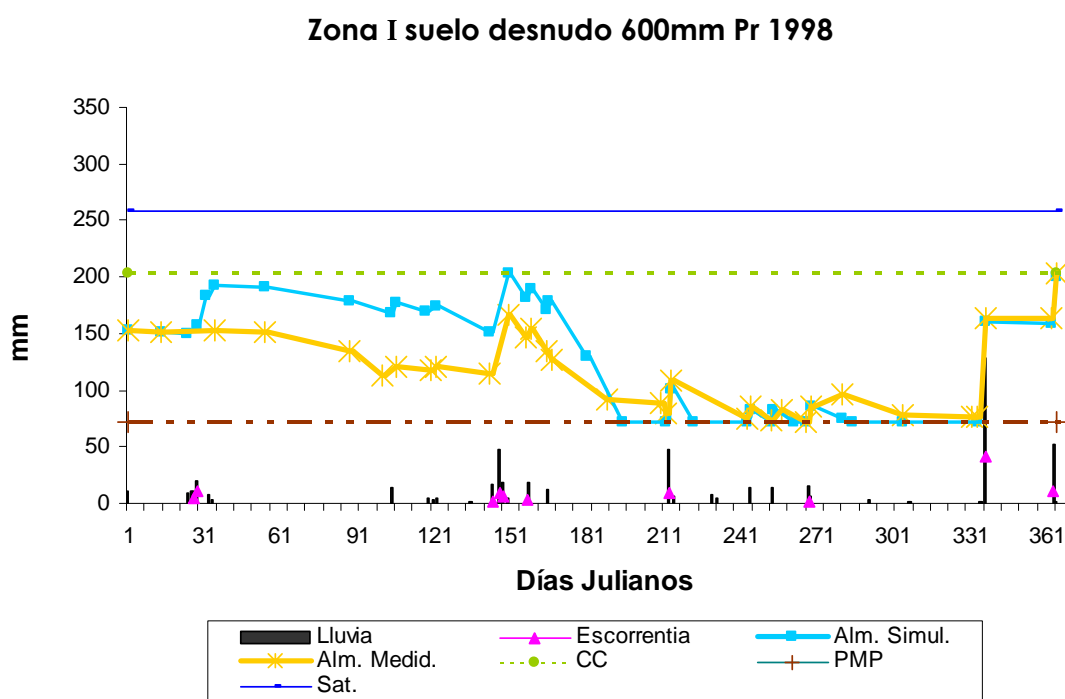


Figura 6.2a: Régimen de humedad de la zona experimental I en el año 1998.
 (Medido: Alm. Medido; Simulado: Alm Sim; Profundidad efectiva radicular: Pr)

Zona I suelos desnudo 600 mm Pr año 1999

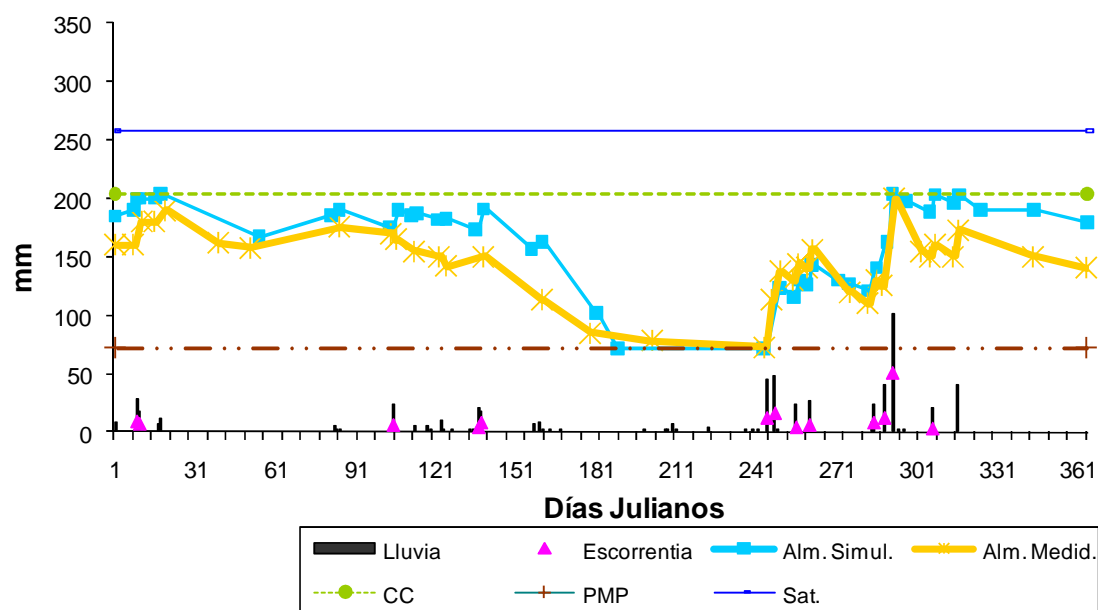


Figura 6.2b: Régimen humedad de la zona experimental I en el año 1999.
(Medido: Alm. Medid ; Simulado: Alm Sim; Profundidad efectiva radicular: Pr)

6.3.2 Régimen de humedad para la zona experimental II

La zona experimental II es la que presenta mayores cambios en relación a la situación original del terreno. Fue un lugar de corte en el proceso de adecuación de los terrenos, presenta una alta susceptibilidad al sellado superficial, baja velocidad de infiltración y una menor profundidad efectiva de desarrollo radicular (450 cm). En las Figuras 6.3 (a, b) se muestra la evolución del régimen de humedad para el caso de la zona II, apreciándose que las pérdidas por escorrentía son considerables.

Entre los valores estimados y los medidos, las tendencias generales se mantienen igual que en el caso discutido anteriormente, aunque en valores absolutos existen pequeñas diferencias. La evolución del régimen de humedad calculado a partir de las mediciones de humedad realizadas en el campo igualmente pareciera indicar que durante el periodo seco la viña está utilizando agua retenida a potenciales más negativos que 1,5 MPa. Particularmente, en la zona II fue frecuente observar en el campo que ciertas

raíces de la viña lograban desarrollarse entre las grietas del material geológico original más allá de la zona de mayor concentración de raíces. Dadas las características de retención de agua en ese material lutítico podría pensarse que dicho material contribuye en cierta medida con la humedad disponible para la viña.

En el régimen de humedad para el año 1998 se puede observar que hubo un descenso muy temprano, desde principios de mayo del agua almacenada. La humedad en el suelo llegó a valores límites de succión de 1,5 MPa en el mes de julio, manteniéndose a esos niveles hasta que se presentaron las lluvias del periodo otoño-invierno, que estuvieron concentradas en muy pocos eventos en el último mes del año. Específicamente en el año 1998, en ese periodo de déficit, la ocurrencia de pequeñas lluvias hace fluctuar ligeramente los niveles de agua almacenada en ese periodo. Un comportamiento similar se obtuvo para el año 1999.

Zona II suelo desnudo 450 mm Pr año 1998

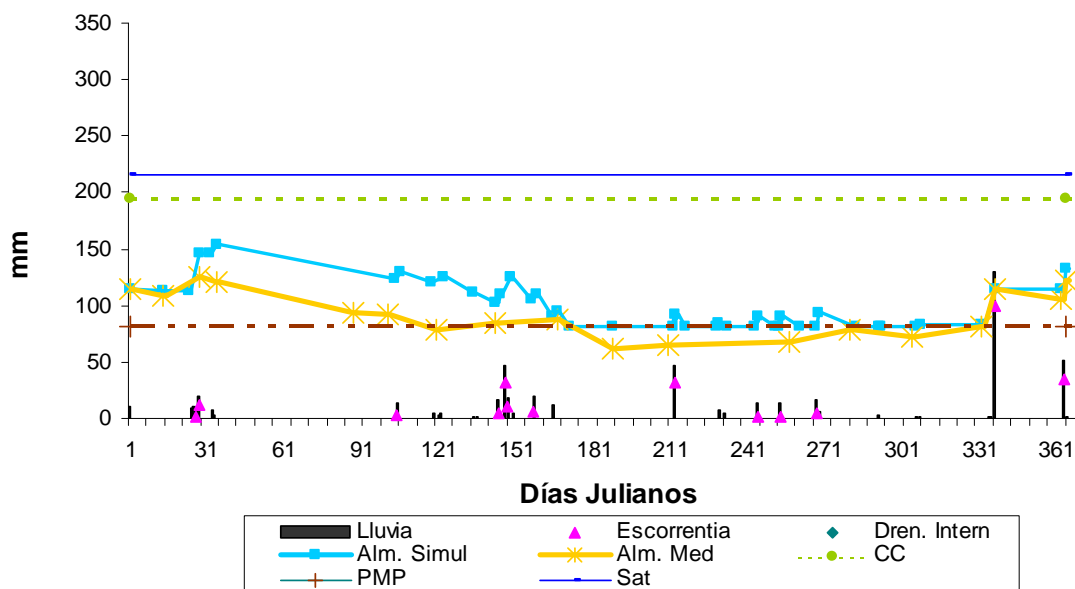


Figura 6.3a: Régimen humedad de la zona experimental II en el año 1998.
 ((Medido: Alm. Medid ; Simulado: Alm Sim; Profundidad efectiva radicular: Pr)

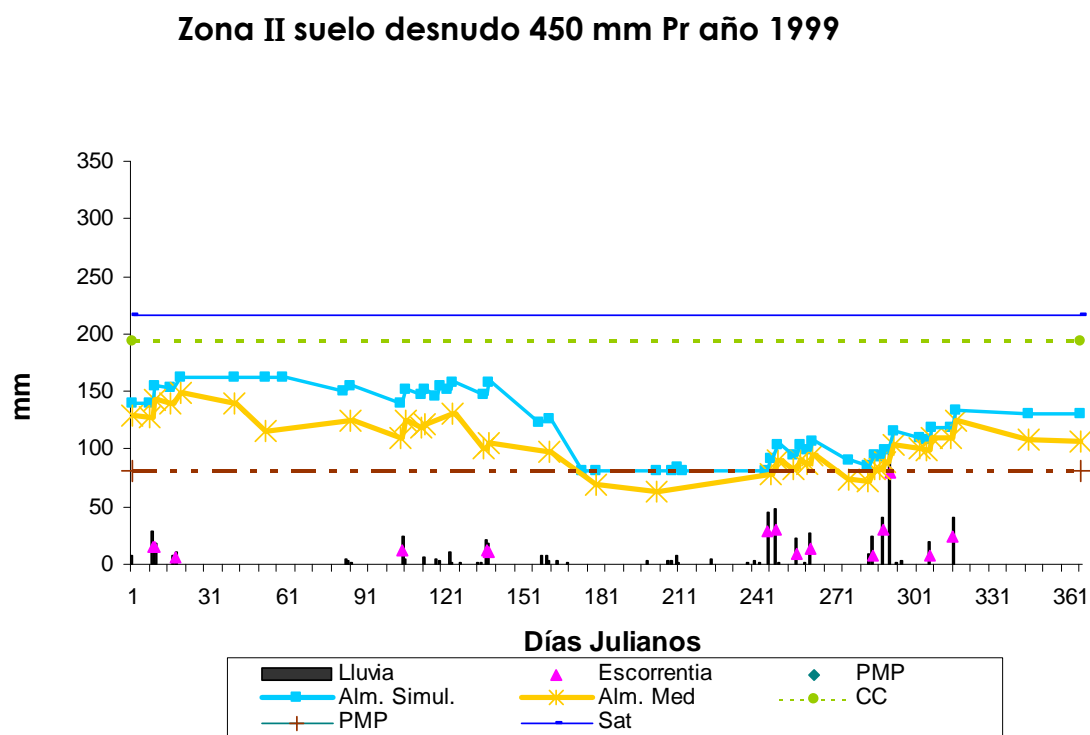


Figura 6.3b: Régimen humedad de la zona experimental II en el año 1998.
 (Medido: Alm. Medid ; Simulado: Alm Sim; Profundidad efectiva radicular: Pr)

Diferencias entre el régimen de humedad medido y simulado

Entre las posibles causas de las diferencias observadas entre la evolución de la humedad entre años simulados y años medidos podrían señalarse las siguientes:

- Un mayor consumo de agua por la planta que lo estimado en base a lo reportado en la bibliografía durante los periodos de crecimiento.
- Mayores pérdidas de agua por escorrentía que las calculadas en base a los parámetros hidrológicos del suelo y la características de la lluvia

En cuanto a los valores de humedad medidos en algunos casos inferiores a los simulados en los periodos de máxima ET, pudieran explicarse por:

-
- La utilización en el modelo de valores promedio de humedad en el intervalo de profundidad del suelo con mayor desarrollo de raíces de la vid
 - Posibilidad de la viña de utilizar agua del suelo a potenciales inferiores a 1,5 MPa, que se utiliza como límite en el modelo
 - Ligeros errores en la determinación de humedad del suelo a presiones de 1,5 MPa en el laboratorio, lo cual es muy común por la dificultad de alcanzar, o determinar, cuando se alcanza la condición de equilibrio en las muestras.
 - En este caso, también puede contribuir a que los valores de retención de humedad a presiones de 1,5 MPa sean más altos, el que la determinación se usa solo la fracción fina del suelo, descartando el esqueleto grueso, que en estos suelos representa una fracción importante. Estos errores puede también contribuir a que los valores simulados más altos de humedad en las etapas de menor consumo de agua.

6.4 Conclusiones

Se considera adecuada la correspondencia entre los valores medidos durante los años 1998 y 1999, y los valores previstos utilizando el modelo predictivo SOMORE. Aunque el modelo no da una simulación exacta de las situaciones reales, permite obtener resultados aproximados de acuerdo a las simplificaciones asumidas; ayudando a entender situaciones complejas, mediante una descripción cuantitativa de los procesos más significativos. Su utilización en el área de estudio como herramientas de trabajo, para simular bajo diferentes escenarios los posibles efectos de prácticas de manejo para reducir riesgos de degradación de suelos, resultaría adecuada.

Al estimar la evolución de la humedad en el suelo para los años 1998 y 1999, integrando la información generada de suelo y cultivo con información de

clima, se identificaron también cuáles son los procesos físicos más críticos para cada situación y para cada periodo de tiempo considerado.

7 Capítulo VII. Simulación del régimen de humedad de los suelos bajo diferentes escenarios

7.1 Introducción

Los requerimientos de resultados más cuantitativos sobre probabilidades y riesgos de degradación de suelos y de su influencia sobre la producción de cultivos puede lograrse en parte con el uso de modelos, donde el gran número de variables involucradas en los procesos de degradación y sus interacciones pueden ser integradas (Pla, 1996). El proceso de modelización debe consistir en la selección de los factores de mayor relevancia que sean esenciales en la resolución de un problema y en la formulación de las relaciones que lo gobiernan (Hillel, 1989). La simulación y/o predicción de los procesos dinámicos de degradación de suelos y de sus efectos, debe partir de las relaciones entre las características físicas de los suelos y sus propiedades hidrológicas.

En este capítulo se utilizó el modelo de simulación, con base hidrológica, SOMORE (Pla, 1992, 1997, 1999) para analizar en la zona estudiada el efecto de una cobertura superficial y una mayor profundidad efectiva de raíces sobre los balances diarios de agua en el suelo, durante los años 1998, 1999, y durante años excepcionalmente secos (1985) o húmedos (1996).

7.2 Metodología

Se utilizó el modelo SOMORE, para predecir la evolución de la humedad en el suelo bajo posibles escenarios de condiciones creadas por prácticas de manejo. Las simulaciones se hicieron para el año 1998 y 1999, años en que se hicieron ensayos de campo, y para 1985 y 1996, años seleccionados como excepcionalmente seco y húmedo, respectivamente, en base a los registros climáticos disponibles en la estación meteorológica de Sant Sadurni. Se tomó un periodo de retorno de 10 años (probabilidad de ocurrencia de años secos

y años húmedos para la zona) y se selecciono 1985 como año seco con 364 mm año⁻¹ (1985) y 1996 como año húmedo con 722 mm año⁻¹ (1996).

Aparte de las condiciones actuales del suelo superficial (desnudo) y de la profundidad efectiva de desarrollo radicular (profundidad en que se desarrollan más del 90% de las raíces) en cada una de las zonas experimentales, se analizó el efecto hipotético de una cobertura superficial, que protegiera el suelo del impacto directo de las gotas de lluvia, y en la zona II, el efecto que tendría un incremento de la profundidad efectiva de raíces.

7.2.1 Evolución en el tiempo de la humedad en el perfil de suelo

Se simuló la evolución a lo largo del año de la humedad total almacenada en la zona radicular de la vid, tanto para condiciones de suelo superficial (desnudo) y profundidad efectiva de desarrollo radicular real, como para condiciones hipotéticas de una cobertura superficial, que protegiera el suelo del impacto directo de las gotas de lluvia, y además, en la zona II, con la menor profundidad efectiva de raíces (450 mm), el efecto que tendría su incremento a 650 mm.

También se hizo una estimación del balance de agua anual para cada una de las condiciones y años, distinguiendo la distribución del total anual en escorrentía, drenaje interno, evapotranspiración y cambios (ganancias y pérdidas) en la humedad almacenada en el suelo.

7.2.2 Disponibilidad de humedad para la vid durante su ciclo de desarrollo

Considerando los diferentes periodos de crecimiento de la vid, se calculó la distribución de la lluvia total, lluvia efectiva y agua evapotranspirada, para las diferentes condiciones actuales o hipotéticas de suelo superficial y profundidad efectiva radicular, en los ciclos de producción 1997-1998 y 1998-1999. Para evaluar la influencia de la disponibilidad de agua en cada una de las etapas del ciclo anual de la viña, el cual no coincide con un año

calendario o año juliano, se analizó el balance hídrico para los ciclos 1997-1998, (para la viña cosechada en el 1998) y 1998-1999 (para la viña cosechada en el año 1999). Cada ciclo se dividió en 4 etapas o periodos : reposo (270-60 días) ,brotación y floración (60-120 días), floración a envero (120-210 días) y envero-cosecha-caída de hoja (210- 270 días), (Hidalgo , 1998). Para cada una de esas etapas se analizo el posible efecto de diferentes condiciones de suelo y clima sobre el balance de humedad y su incidencia en la viña.

En cada uno de estos períodos se calculó la distribución de la lluvia total y la lluvia efectiva, deduciendo lo que se pierde por escorrentía superficial o drenaje interno y la disponibilidad de agua para cubrir las necesidades de la viña (evapotranspiración). Tomando como base que en climas mediterráneos, las viñas de secano requieren entre 300mm y 500mm de agua por ciclo de cultivo para una producción adecuada (rendimiento/calidad), la evapotranspiración para cada etapa se calculó considerando que del total del agua evapotranspirada, un 2% ocurre en el periodo de reposo, un 10% en el periodo de brotación-floración, un 60 % en el periodo floración–envero y un 30% en el envero-cosecha-caída de hoja (Hidalgo 1998; Fregonni,1999).

7.3 Resultados y discusión

7.3.1 Evolución en el tiempo de la humedad en la zona radicular

La simulación de la evolución a lo largo del año de la humedad total almacenada en la zona radicular de la vid, se representa en los gráficos de la Figura 7. 1(a, b, c, d, e, f) y 7.2(a, b, c, d, e, f, g, h). Además se representan como base de comparación, los valores en mm de retención de humedad a saturación, a capacidad de campo, y a 1500 KPa de succión, que se toma como valor aproximado de punto de marchitez permanente. En los mismos gráficos se representan los eventos de lluvia (mm) durante el año, y la parte de dicha humedad que se pierde por escorrentía y/o por drenaje interno.

La zona de experimentación I, es la menos afectada por el proceso de adecuación del terreno, aunque en las condiciones actuales se maneja sin coberturas y alta mecanización. La velocidad de infiltración del agua en el perfil, aun sin protección superficial, es alta en comparación con la otra zona experimental. Para el año 1998, no se encuentran grandes diferencias en la evolución de la humedad en el suelo cuando la superficie está desnuda (Figura 6.2a, capítulo 6) o cuando esta se mantiene con una cobertura (Figura 7.1a), debido a que este suelo, aun bajo condiciones de superficie desnuda mantiene una moderada velocidad de infiltración. Por ello, cuando los eventos de lluvia no son muy tormentosos no se presentan mayores diferencias en el almacenamiento de agua en el suelo con o sin cobertura. La diferencia que puede observarse entre suelo protegido o suelo sin protección, es en la escorrentía generada en el periodo de altas precipitaciones, que se presentan durante el otoño-invierno de 1998 y la cual puede generar erosión superficial; y afectar al mismo tiempo el almacenamiento de agua para el siguiente ciclo de cultivo.

Para 1999 tampoco se apreciaron grandes diferencias cuando se compara la evolución de la humedad del suelo con protección (Figura 7.1b) y sin protección (Figura 6.2.b, capítulo 6), ya que las diferencias recaen en la escorrentía generada durante los meses de concentración de lluvias septiembre-octubre, para cuyo caso, sin cobertura protectora, se generan grandes pérdidas de agua por escorrentía, mientras que para el caso con cobertura, al sobrepasarse en varias ocasiones la capacidad de almacenamiento (CC) se generan pérdidas apreciables de agua por drenaje interno.

El año 1985, seleccionado como seco en base al total de lluvia anual (con una probabilidad de ocurrencia 10 años), tenía dentro del patrón característico de distribución de lluvias para la zona, una cierta regularidad en la ocurrencia de los pocos eventos de lluvia que se dieron en el primer semestre del año. El que el total de lluvia anual sea menor y además esté repartido en un mayor número de eventos de baja intensidad, hace que las pérdidas por escorrentía superficial sean menores aumentando las probabilidades de que haya un mayor almacenamiento de agua en el suelo.

La evolución de la humedad en el suelo en este año seco 1985 no difiere marcadamente de la observada en los años 1998 y 1999 con mayores lluvias. Solo se observaron diferencias en las humedad almacenada en el último trimestre, pues en este año seco hubo un menor almacenamiento de agua en el suelo, lo que tendría influencia fundamentalmente en el desarrollo vegetativo de la viña del año siguiente. En este caso tampoco se aprecian grandes diferencias en la evolución del régimen de humedad con protección o sin protección del suelo superficial (Figura 7.1c y 7.1d).

En 1996, (seleccionado como año húmedo, con un periodo de recurrencia de 10 años), a pesar de que su distribución de lluvias se ajusta más al tipo bimodal, se presenta una fuerte concentración de lluvias en los últimos meses del año (Figuras 7.1 e y 7.1 f). Durante el primer trimestre, a diferencia de lo visto en los otros años, los aportes de lluvia no son significativos. Fueron significativos los aportes de agua por lluvias durante la primavera, lo cual retrasa hasta el día 200, el descenso de la humedad en el suelo a PMP. Desde los 200 hasta los 290 días, pequeños aportes de lluvia crean cierta fluctuación en los bajos valores de humedad alcanzados, hasta que se inicia el periodo de lluvias de otoño-invierno que permite que a los 310 días ya se llegue a la capacidad de almacenamiento máximo del suelo. El descenso de la humedad durante los primeros meses del año es más tardío que los años analizados anteriormente (10 días más tarde). Igual que en las situaciones anteriores hay pocas diferencia entre el tratamiento con y sin protección. Las diferencias que llegan a manifestarse tienen lugar durante el último periodo del año por las tasas de escorrentía generadas y las pérdidas por drenaje interno. A pesar de eso, en ambos casos al final del año los perfiles tanto con sello como con cobertura llegan a alcanzar la capacidad máxima de almacenamiento, (Figuras 7.1 e y 7.1 f).

(a) Zona I cobertura 600 mm Pr 1998

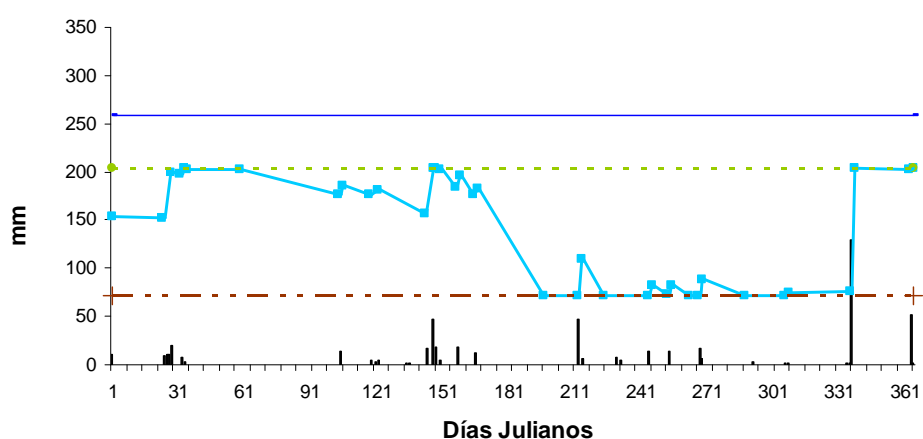


Figura 7.1 a: Simulación de la evolución de la humedad en el perfil de suelo. (Alm. Simul: Agua almacenada en el suelo calculada con el modelo SOMORE; Sat: Saturación; CC: Capacidad de campo; PMP: Humedad a succión de 1500 KPa. Todos los valores referidos a la profundidad del suelo con desarrollo radicular (Pr).

(b) Zona I cobertura 600mm Pr 1999

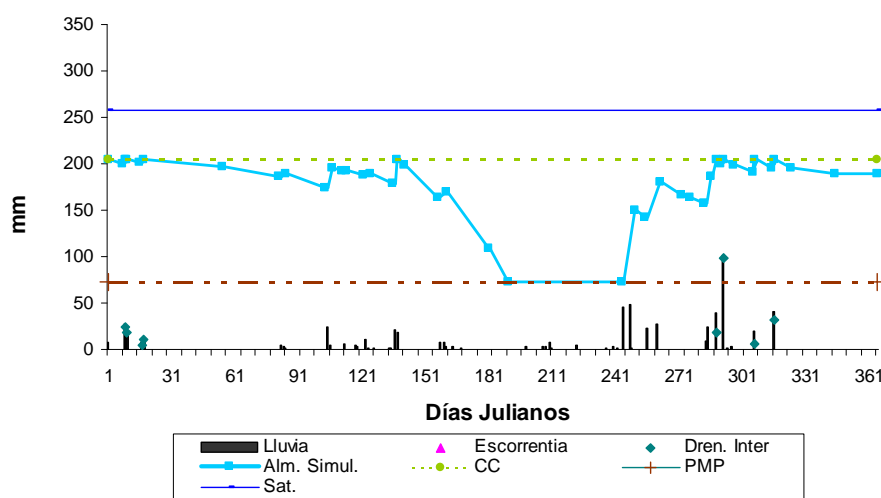


Figura 7.1 b: Simulación de la evolución de la humedad en el perfil de suelo. (Alm. Simul: Agua almacenada en el suelo calculada con el modelo SOMORE; Sat: Saturación; CC: Capacidad de campo; PMP: Humedad a succión de 1500 KPa. Todos los valores referidos a la profundidad del suelo con desarrollo radicular (Pr).

(c) Zona I año sello 600mm Pr año seco

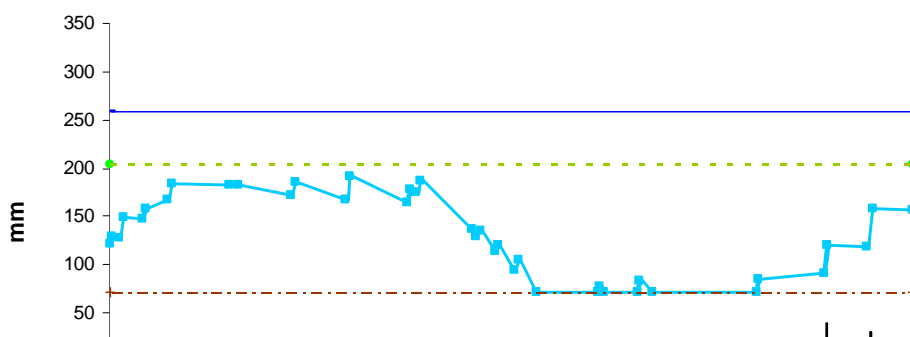


Figura 7.1 c: Simulación de la evolución de la humedad en el perfil de suelo. (Alm. Simul: Agua almacenada en el suelo calculada con el modelo SOMORE; Sat: Saturación; CC: Capacidad de campo; PMP: Humedad a succión de 1500 KPa. Todos los valores referidos a la profundidad del suelo con desarrollo radicular (Pr).

(d) Zona I año cobertura 600mm Pr año seco

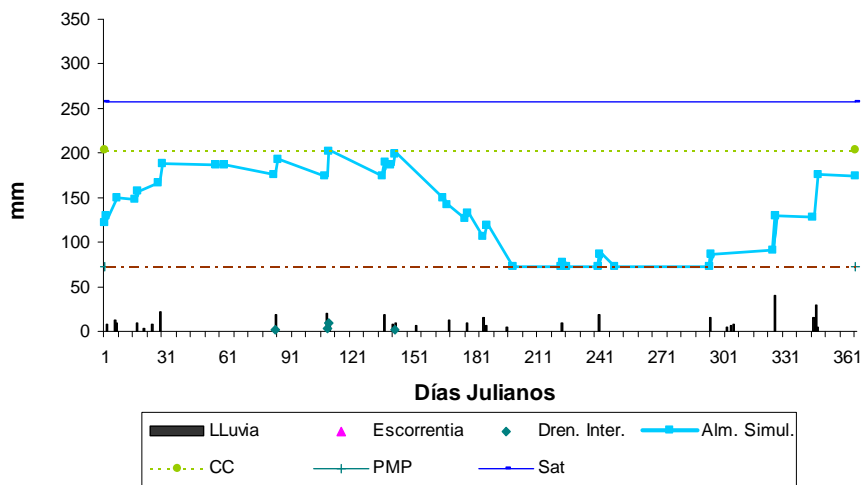


Figura 7.1 d: Simulación de la evolución de la humedad en el perfil de suelo. (Alm. Simul: Agua almacenada en el suelo calculada con el modelo SOMORE; Sat: Saturación; CC: Capacidad de campo; PMP: Humedad a succión de 1500 KPa. Todos los valores referidos a la profundidad del suelo con desarrollo radicular (Pr).

(e) Zona experimental I sello 600mm Pr año húmedo

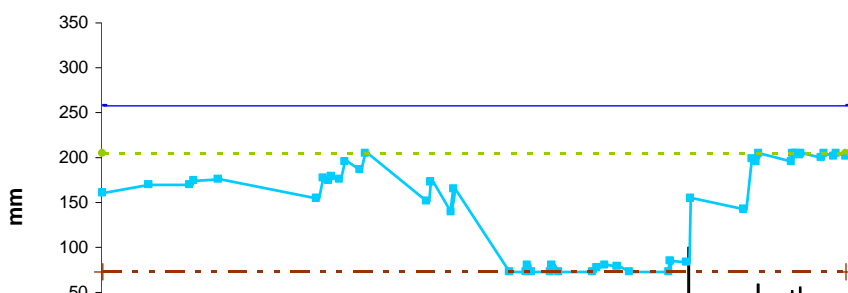


Figura 7.1 e: Simulación de la evolución de la humedad en el perfil de suelo.
 (Alm. Simul: Agua almacenada en el suelo calculada con el modelo SOMORE;
 Sat: Saturación; CC: Capacidad de campo; PMP: Humedad a succión de 1500
 KPa. Todos los valores referidos a la profundidad del suelo con desarrollo
 radicular (Pr).

(f) Zona I cobertura 600mm año húmedo

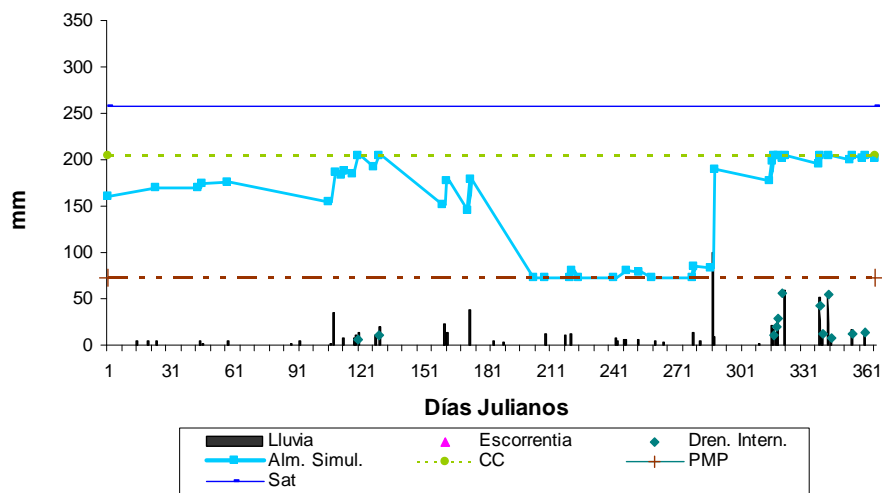


Figura 7.1 f: Simulación de la evolución de la humedad en el perfil de suelo.
 (Alm. Simul: Agua almacenada en el suelo calculada con el modelo SOMORE;
 Sat: Saturación; CC: Capacidad de campo; PMP: Humedad a succión de 1500
 KPa. Todos los valores referidos a la profundidad del suelo con desarrollo
 radicular (Pr).

La zona experimental II es la que presenta mayores cambios en relación a la condición original del terreno, fue un sitio de corte en el proceso de sistematización de los terrenos, presenta una alta susceptibilidad al sellado superficial, baja velocidad de infiltración y una menor profundidad efectiva de desarrollo radical (450 cm). En las Figuras 7.2 (a, b, c, d, e, f, g, h, i, j) se muestra la evolución de la humedad en el suelo para la zona II bajo las diferentes condiciones analizadas, en todas ellas las pérdidas por escorrentía fueron considerables.

En la evolución de la humedad en la zona II sin protección en el año 1998 (Figura 6.3. a; capítulo VI) se puede observar que hubo un descenso muy temprano, desde principios de mayo del agua almacenada. La humedad en el suelo llegó a valores límites de potenciales mátricos menores de 1,5 MPa (PMP) en el mes de julio, manteniéndose a esos niveles hasta que se presentaron las lluvias del periodo otoño –invierno, que estuvieron concentradas en muy pocos eventos en el último mes del año. Cuando se usa protección superficial, (Figura 7.2 a), existen pocas diferencias en la evolución de la humedad en el suelo, pues las pérdidas por escorrentía se siguen generando, aunque el volumen de las mismas se reduce. Todo esto unido a que las raíces se desarrollan a menor profundidad, hace que aun para el caso del suelo con cobertura, con niveles de humedad algo superiores, el periodo de déficit de agua se inicia y se prolonga con pocas diferencias con respecto al de sin cobertura. Específicamente en el año 1998 en ese periodo de déficit la ocurrencia de pequeñas lluvias hacen fluctuar ligeramente los niveles de agua almacenada en ese periodo. Donde las diferencias si son bien marcadas, es en la cantidad de agua almacenada al final del año, con un mayor almacenamiento para el año siguiente en el suelo con cobertura.

Cuando se analiza la influencia de una mayor profundización efectiva de raíces en la evolución de la humedad en el suelo (Figuras 7.2 b) no se observaron grandes diferencias a las tendencias ya discutidas para el caso sin cobertura, pues el factor limitante siguen siendo las pérdidas por escorrentía. Como puede observarse en ese caso aun en la época de otoño –invierno los eventos de lluvia de carácter tormentoso generaron una alta erosión superficial. Sin embargo este incremento de la profundidad donde se

desarrollan las raíces si resultado efectivo cuando va acompañado por una protección del suelo superficial, (Figura 7.2 c) al retrasar el inicio del periodo de sequía en aproximadamente 30 días (inicio a los 203 días) en relación al de cobertura con poca profundidad (inicio a los 177 días), debido que además de reducirse las pérdidas por escorrentía existe la posibilidad de que el agua que logra penetrar en el suelo pueda ser almacenada y estar disponible para el desarrollo de la viña. Para este año 1998 la mejor alternativa sería resolver simultáneamente el problema de la formación de sellado y la baja profundidad.

En el año 1999 (más húmedo que el 1998 pero con la mayoría de las lluvias concentradas en el otoño –invierno), las diferencias entre el suelo sin protección (Figura 6.3b; capítulo VI) y con protección (Figura 7.2 d) radican en que este último, durante los 160 días, la humedad en el suelo alcanza su capacidad máxima de almacenamiento y producen pérdidas por drenaje interno. Dichas pérdidas también están presentes y en mayor cuantía en el último trimestre del año. Además, aunque en ambos casos se dan pérdidas por escorrentía en el caso sin protección, estas llegan a ser muy altas sobre todo durante la época de otoño-invierno, a partir del mes de septiembre.

Cuando se analiza de forma conjunta para el año 1999 un aumento en la profundidad donde se desarrollan la mayor cantidad de raíces y la protección del suelo superficial, (Figura 7.2 f) se observa un retraso en el inicio del periodo crítico por déficit de agua. Esto obedece a que las lluvias caídas en el otoño–invierno del año precedente, podría por una parte infiltrar y por la otra ser almacenadas por lo que habría así una mayor disponibilidad de agua al inicio del año 1999 que en los casos analizados anteriormente. Esto hace que después de unas pequeñas lluvias caídas al inicio del año (enero) se presenten algunas pérdidas por drenaje interno. Estas pérdidas por drenaje interno también están presentes al final del año 1999, pues las lluvia de otoño - invierno tienen un inicio temprano (septiembre), lo que permite que el suelo alcance pronto su capacidad máxima de almacenamiento y a partir de ahí se presentan pérdidas de agua por drenaje interno. En el caso sin protección las pérdidas del agua aportada por las lluvias son por escorrentía y se concentran mayoritariamente en la época de otoño-invierno, (Figura 7.2.e).

En la evolución del régimen de humedad en la zona II durante el año considerado como seco (1985) fueron muy significativos los pequeños aportes de lluvia que durante la primavera se presentaron (Figura 7. 2. g y h). Ello motivó que en este año seco se pudiera presentar un agotamiento más tardío de la humedad que la que se produjo en el 1999, un año con mayor cantidad de lluvia anual pero con una distribución de las mismas muy concentradas. Las diferencia en la evolución de la humedad entre el suelo protegido(Figura 7.2 g) y no protegido (Figura 7.2 h) para el año seco se manifestarían en el almacenamiento que podría alcanzarse al final del año, que a pesar de ser bajos en ambos, en el caso del suelo protegido sería mayor. También en este año seco, el sellado y la poca profundidad serian los factores limitantes en la disponibilidad de agua para la zona de experimentación II.

Entre el suelo con protección y el no protegido en el año húmedo (1996), (Figura 7.2 h, i, j) no se observaron diferencias en el inicio del periodo de déficit de agua en el suelo durante el primer semestre. Durante la temporada de otoño-invierno, con una gran concentración de lluvias, en ambos casos se genera escorrentía (Figura 7.2 h, i). Las diferencias vienen dadas por que la escorrentía es de mayor cuantía en el sin protección y el caso del suelo con protección hay pérdidas por drenaje interno. A pesar de dichas pérdidas, el volumen de lluvias al final del año permitió que en ambos casos el perfil de suelo alcanzara su capacidad máxima de almacenamiento. En esta zona de pendientes y capas poco permeables, las pérdidas de agua por drenaje interno por debajo de la profundidad radicular crean la posibilidad de flujo subsuperficial en sentido de la pendiente.

La selección de años por lluvia total para analizar el comportamiento de las lluvias sobre la disponibilidad de agua para la vid no resulta ser la más apropiada. Cuando seleccionamos los años secos y húmedos con una probabilidad de recurrencia de 10 años nos encontramos con una situación similar. El año escogido como más seco (1985) fue un año con menor cantidad de lluvias anuales pero con una distribución más regular de las pocas lluvias caídas durante el primer semestre del año.

Durante el periodo de formación de grano y maduración los aportes de agua por lluvia son decisivos, pues coincide un alto consumo de agua por la viña con un bajo nivel de las reservas de agua en el perfil de suelo. Ese periodo donde hay más consumo de agua es el que se presenta con menores diferencias en número y magnitud de precipitaciones entre años secos y años húmedos. Esto da lugar a que a veces no se produzcan marcadas diferencias entre años seco y años húmedo en cuanto a disponibilidad de agua para las plantas durante la época de mayor demanda (180-260 días), aunque si existan diferencias por escorrentía asociadas a procesos de erosión en el periodo de reposo(otoño-invierno).

La concentración de fuertes lluvias de carácter tormentoso en el último trimestre de los años húmedos, hace que gran parte del agua de lluvia no penetre al suelo pues los aportes superan la velocidad infiltración, lo que genera un importante volumen de agua disponible para escurrir superficialmente creando problemas de erosión. No en todos los casos esas grande perdidas de agua por escorrentía llegan a afectar el almacenamiento del agua en el suelo para el siguiente ciclo de cultivo, e incluso en las estimaciones que se hicieron considerando la posibilidad de darle protección al suelo, la cantidad de lluvia concentrada en ese periodo era tal que no solo se llegaba a completar la capacidad máxima de almacenamiento sino que además ocurrían pérdidas por drenaje interno.

Cuando el único aporte de agua a las viñas lo constituyen las lluvias, si no existen grandes diferencias (en magnitud y frecuencia de las lluvias) entre años húmedos y años secos durante los periodos críticos de la viña (envero, maduración), tampoco habrá grandes diferencias en rendimientos. En los dos años (19998 y 1999) que se hicieron las mediciones de campo prácticamente no se observaron grandes diferencias en los rendimientos obtenidos, en relación al régimen de lluvias. Pareciera típico para la zona que en los años húmedos los mayores de volúmenes de lluvias anuales sean el reflejo de un aumento significativo de la concentración de lluvias solo en el periodo otoño-invierno, a pesar del carácter bimodal de la distribución de lluvias. Al respecto Ramos (2000) ha observado en la zona una cierta tendencia a la disminución de las lluvias en primavera.

Analizando particularmente el caso de la zona II, se observa que el factor limitante en la disponibilidad de agua para la viña sería la baja capacidad de almacenamiento del suelo, pues de los casos estudiados es el que tiene la menor profundidad radicular efectiva, además de una alta susceptibilidad al sellado superficial. La solución al problema de su alta susceptibilidad al sellado superficial no sería suficiente, ya que aunque se lograra una mayor infiltración de agua, el suelo no estaría en capacidad de almacenarla y se perdería por drenaje interno. Por otra parte, si se lograra aumentar la capacidad de almacenamiento, pero sin proteger la superficie, la baja velocidad de infiltración por efecto del sellado haría que gran cantidad de agua siguiera perdiéndose por escorrentía, por lo que no se aprovecharía la nueva capacidad máxima de almacenamiento de agua del suelo. La alternativa más eficiente para asegurar una mayor disponibilidad de agua para la viña sería en este caso aumentar la capacidad de profundización de las raíces y a la vez proporcionar a la superficie del suelo una protección. Así se lograría una mayor penetración de agua y la posibilidad de que esta pudiera ser almacenada.

(a) Zona II cobertura 450 mm Pr 1998

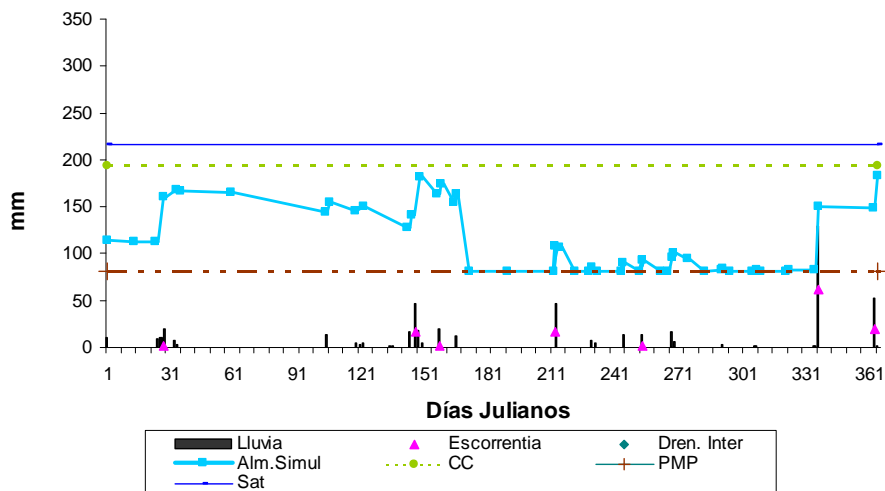


Figura 7.2 a: Simulación de la evolución de la humedad en el perfil de suelo. (Alm. Simul: Agua almacenada en el suelo calculada con el modelo SOMORE; Sat: Saturación; CC: Capacidad de campo; PMP: Humedad a succión de 1500 KPa. Todos los valores referidos a la profundidad del suelo con desarrollo radicular (Pr)).

(b) Zona II sello 650 mm Pr 1998

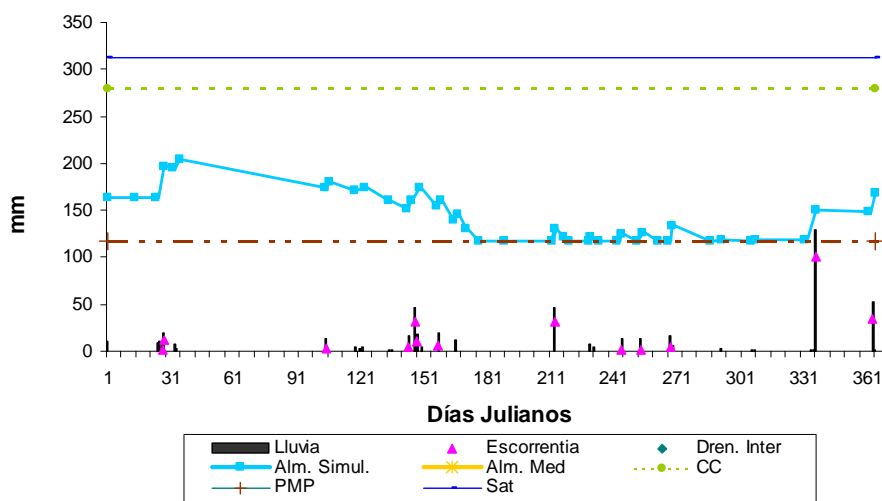


Figura 7.2 b: Simulación de la evolución de la humedad en el perfil de suelo. (Alm. Simul: Agua almacenada en el suelo calculada con el modelo SOMORE; Sat: Saturación; CC: Capacidad de campo; PMP: Humedad a succión de 1500 KPa. Todos los valores referidos a la profundidad del suelo con desarrollo radicular (Pr)).

(c) Zona II cobertura 650 mm Pr 1998

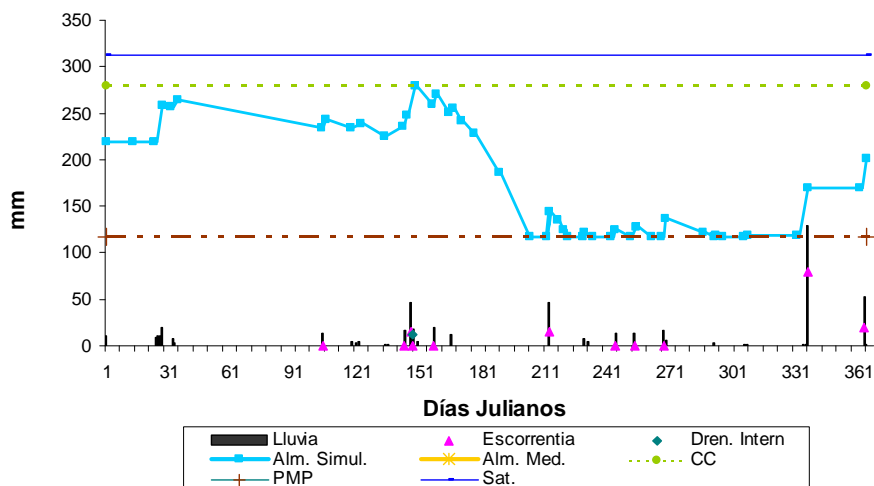


Figura 7.2 c: Simulación de la evolución de la humedad en el perfil de suelo. (Alm. Simul: Agua almacenada en el suelo calculada con el modelo SOMORE; Sat: Saturación; CC: Capacidad de campo; PMP: Humedad a succión de 1500 KPa. Todos los valores referidos a la profundidad del suelo con desarrollo radicular (Pr)).

(d) Zona II cobertura 450 mm Pr 1999

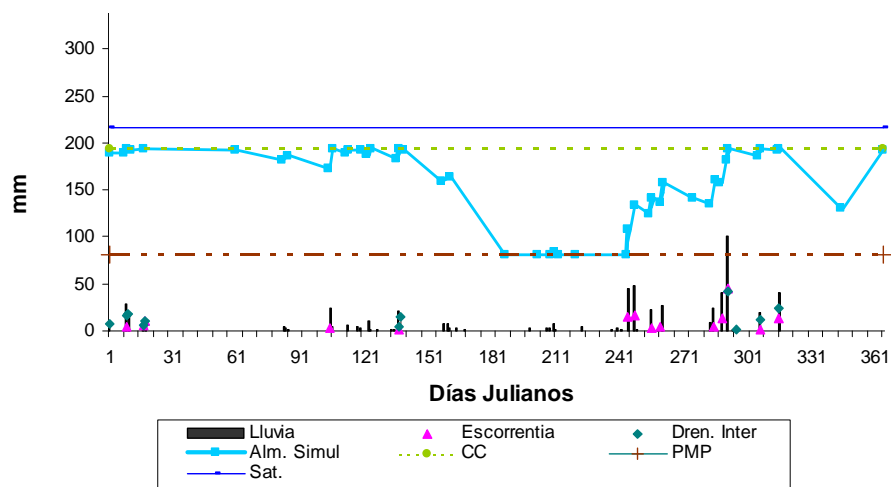


Figura 7.2 d: Simulación de la evolución de la humedad en el perfil de suelo. (Alm. Simul: Agua almacenada en el suelo calculada con el modelo SOMORE; Sat: Saturación; CC: Capacidad de campo; PMP: Humedad a succión de 1500 KPa. Todos los valores referidos a la profundidad del suelo con desarrollo radicular (Pr)).

(e) Zona II sello 650 mm Pr 1999

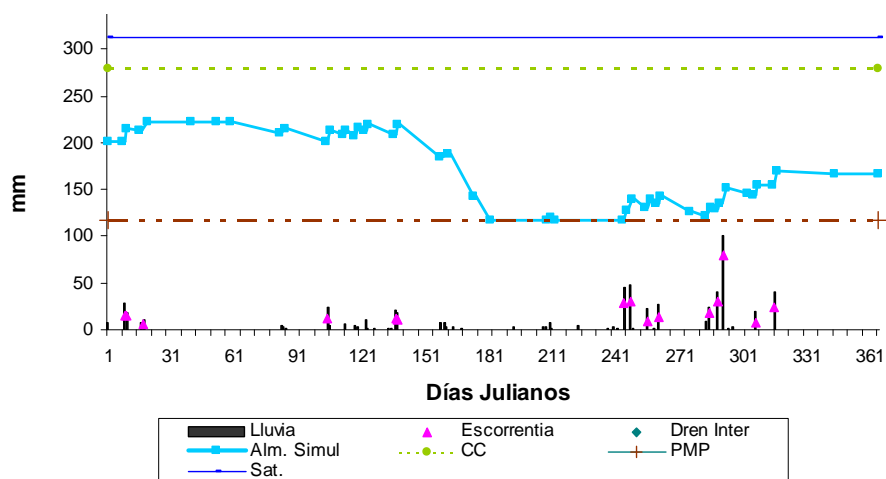


Figura 7.2 e: Simulación de la evolución de la humedad en el perfil de suelo. (Alm. Simul: Agua almacenada en el suelo calculada con el modelo SOMORE; Sat: Saturación; CC: Capacidad de campo; PMP: Humedad a succión de 1500 KPa. Todos los valores referidos a la profundidad del suelo con desarrollo radicular (Pr)).

(f) Zona II cobertura 650mm Pr 1999

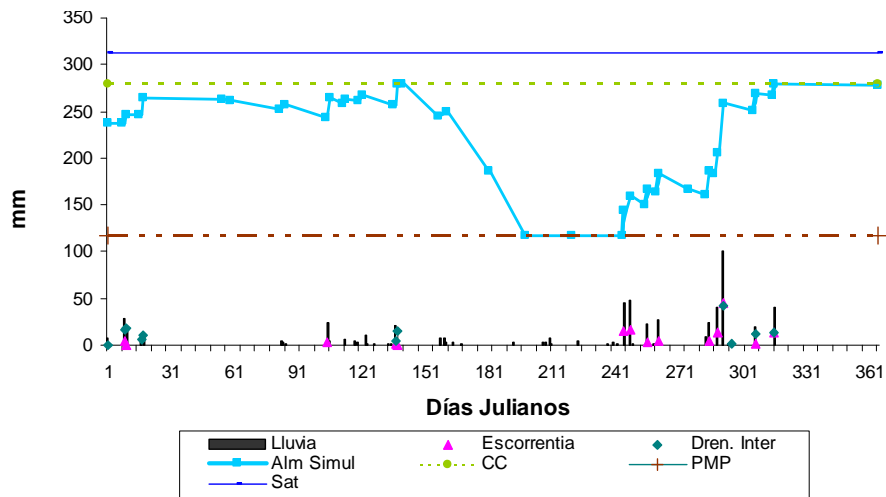


Figura 7.2 f: Simulación de la evolución de la humedad en el perfil de suelo. (Alm. Simul: Agua almacenada en el suelo calculada con el modelo SOMORE; Sat: Saturación; CC: Capacidad de campo; PMP: Humedad a succión de 1500 KPa. Todos los valores referidos a la profundidad del suelo con desarrollo radicular (Pr)).

(g) Zona II cobertura 450 mm Pr año seco

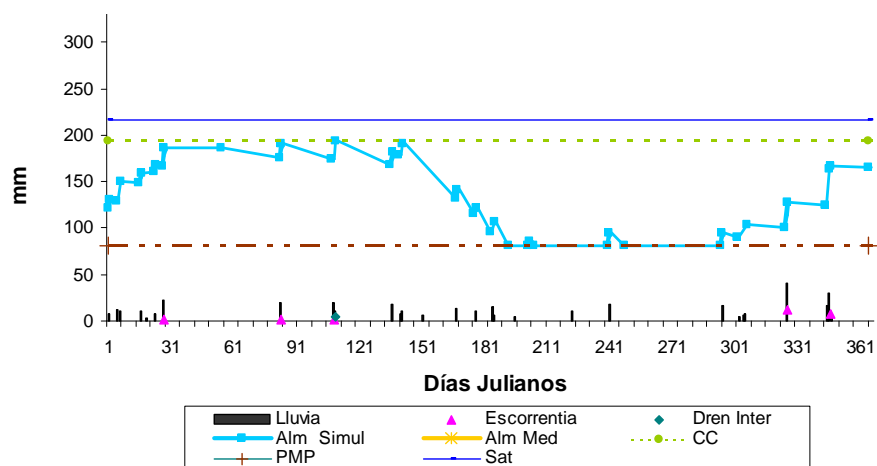


Figura 7.2 g: Simulación de la evolución de la humedad en el perfil de suelo. (Alm. Simul: Agua almacenada en el suelo calculada con el modelo SOMORE; Sat: Saturación; CC: Capacidad de campo; PMP: Humedad a succión de 1500 KPa. Todos los valores referidos a la profundidad del suelo con desarrollo radicular (Pr)).

(h) Zona II sello 450 mm Pr año seco

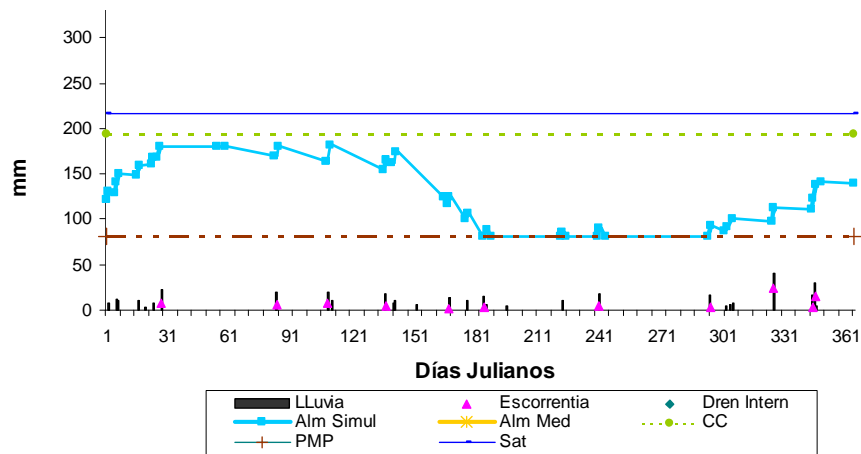


Figura 7.2 h: Simulación de la evolución de la humedad en el perfil de suelo. (Alm. Simul: Agua almacenada en el suelo calculada con el modelo SOMORE; Sat: Saturación; CC: Capacidad de campo; PMP: Humedad a succión de 1500 KPa. Todos los valores referidos a la profundidad del suelo con desarrollo radicular (Pr)).

(i) Zona II cobertura 450 mm Pr año húmedo

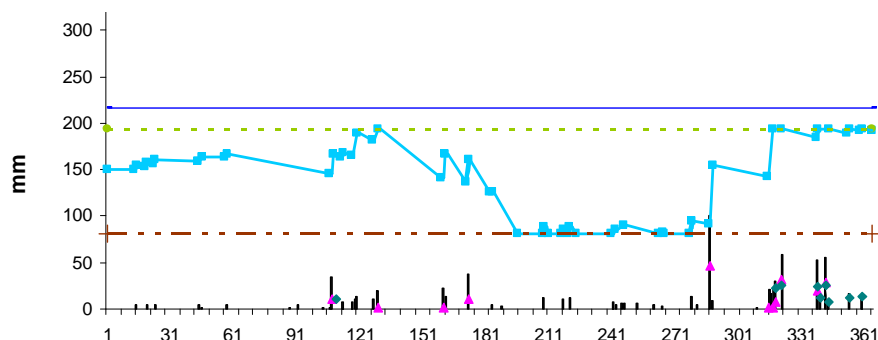


Figura 7.2 i: Simulación de la evolución de la humedad en el perfil de suelo. (Alm. Simul: Agua almacenada en el suelo calculada con el modelo SOMORE; Sat: Saturación; CC: Capacidad de campo; PMP: Humedad a succión de 1500 KPa. Todos los valores referidos a la profundidad del suelo con desarrollo radicular (Pr)).

(j) Zona II sello 450 mm Pr año húmedo

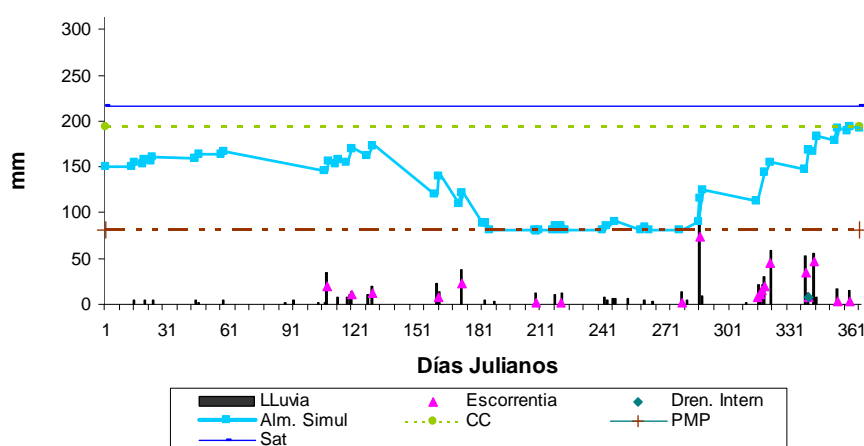


Figura 7.2 j: Simulación de la evolución de la humedad en el perfil de suelo. (Alm. Simul: Agua almacenada en el suelo calculada con el modelo SOMORE; Sat: Saturación; CC: Capacidad de campo; PMP: Humedad a succión de 1500 KPa. Todos los valores referidos a la profundidad del suelo con desarrollo radicular (Pr)).

7.3.2 Balance anual del agua de lluvia en la zona radicular

En la Figura 7.3 (a, b) se presenta el balance de agua anual para cada una de las condiciones y años considerados, distinguiendo entre la distribución de

la lluvia total, lluvia efectiva (lluvia total menos pérdidas por escorrentía y drenaje interno), y evapotranspiración real (calculada en base a los cambios de humedad en la zona radicular del suelo medidos o simulados), para cada periodo de los ciclos de producción de la vid 1997-1998 y 1998-1999, y para cada una de las condiciones de superficie y profundidad efectiva del suelo consideradas, en las cuatro zonas experimentales.

En la figura 7. 3.a se observa que en la zona I durante el año 1998, en condiciones de suelo desnudo se pierde casi una quinta parte del agua de lluvias (89 mm) por escorrentía, y que cuando se analiza cual sería la influencia de proteger el suelo, se observa que se perdería una cantidad similar (79 mm) del agua de lluvia por drenaje interno, lo que hace que la cantidad de agua almacenada disponible para la vid sea aproximadamente igual en ambos casos.

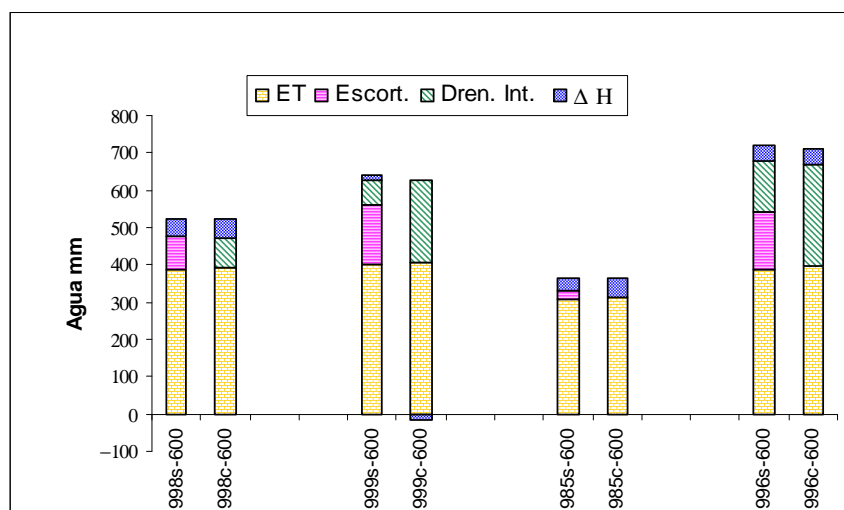
En el año 1999, a pesar de ser más húmedo, en el caso del suelo sin cobertura gran parte del agua de lluvias se pierde por escorrentía (161 mm). La alternativa de proteger la superficie del suelo evitaría que se produjera escorrentía, pero se presentarían tales pérdidas de agua por drenaje interno (220 mm) que en ambos casos la disponibilidad de agua para la viña sería semejante. En ese año 1999, las mayores pérdidas por escorrentía y/o drenaje interno ocurren durante el periodo de reposo del cultivo (otoño - invierno) por lo que no afecta los valores de agua disponible para evapotranspiración (aproximadamente 400 mm) en ambos casos (suelo protegido y sin proteger), y parecidos a los del año 1998.

En el año seco 1985, se aprecia una reducción en el agua total disponible para evapotranspiración, con respecto a los otros años analizados. En este mismo año las pérdidas por escorrentía en el suelo sin proteger serían bajas, pero contrario a este hecho está el descenso que ocurre en la humedad almacenada en el suelo a inicios del año.

En el año 1996, a pesar de ser el año más húmedo de todos los analizados, el agua total disponible para evapotranspiración (390 mm) es muy similar a la disponible en los años 1998 y 1999. Las pérdidas apreciables de agua por escorrentía y drenaje interno prevista para este año húmedo (294 mm y 274

mm para suelo desnudo o protegido respectivamente) se derivan de la concentración de gran parte de las lluvias en el periodo final del año, cuando la viña esta en reposo. En el caso del suelo sin protección a parte de las pérdidas de agua por escorrentía, hay pérdidas de agua por drenaje interno, pues para esa magnitud de las lluvias el agua infiltrada supera la capacidad de almacenamiento del suelo. En el caso de suelo protegido todas las pérdidas son por drenaje interno.

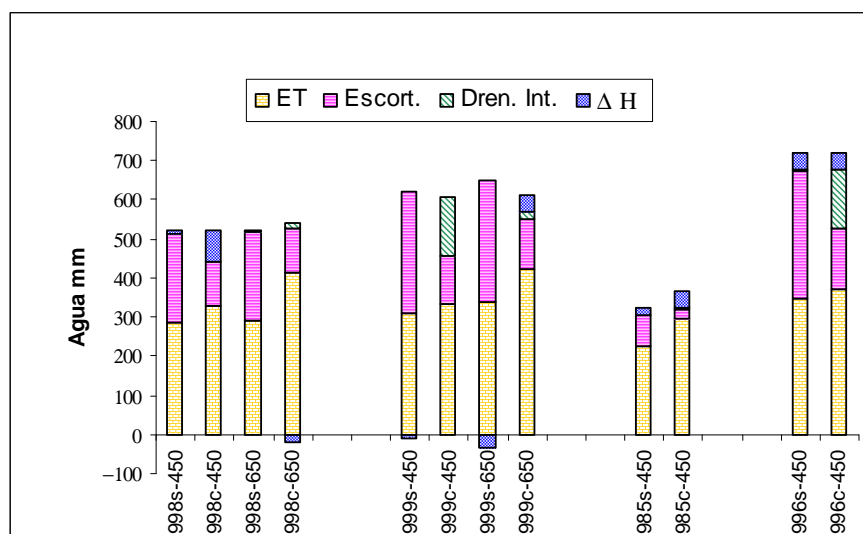
Zona I



Condición	1998s-600	1998c-600	1999s-600	1999c-600	1985s-600	1985c-600	1996s-600	1996c-600
ET	386	392	400	406	308	312	388	396
Escorrentía	89	0	161	0	22	0	153	0
Dren. Inter.	0	79	65	220	0	0	139	274
Δ Hum S(Δ H)	47	51	15	-15	34	52	42	42

Figura 7.3 a: Balance de agua anual (años experimentales 1998 y 1999, y años excepcionalmente seco, 1985, y húmedo, 1996), calculado con el modelo de simulación SOMORE, bajo diferentes condiciones de suelo superficial (s: desnudo; c: protegido y profundidad efectiva radical (600 mm))en la zona experimental I.

Zona II



condición	1998s-450	1998c-450	1998s-650	1998c-650	1999s-450	1999c-450	1999s-650	1999c-650	1985s-450	1985c-450	1996s-450	1996c-450
ET	287	329	291	414	312	333	338	425	277	298	349	369
Escorrentía	227	114	227	114	309	125	309	125	80	23	323	160
Dren. Inter.	0	0	0	12	0	149	0	21	0	4	7	150
Δ Hum S (Δ H)	8	79	4	-18	-10	131	2	-36	40	17	43	43

Figura 7.3 b: Balance de agua anual (años experimentales 1998 y 1999, y años excepcionalmente seco, 1985, y húmedo, 1996), **calculado con el modelo de simulación SOMORE, bajo diferentes condiciones de suelo superficial** (s: desnudo; c: protegido y profundidad efectiva radical (450, 600, 650 mm)) **en la zona experimental II**

En la zona II se presentan valores más bajos de agua disponible para evapotranspiración, tanto en suelo protegido como en suelo sin proteger, con diferencias considerables entre ambas condiciones. En el caso sin protección superficial se pierden 227 mm por escorrentía, lo cual se reduciría a 114 mm si la superficie estuviese protegida. La utilización de cobertura en la superficie del suelo incrementa la cantidad de agua almacenada en el suelo al final del año, con efectos en el ciclo de cultivo del año siguiente, (Figura 7.3. b).

Aunque en 1999 en la zona II se incrementa ligeramente la cantidad de agua disponible para evapotranspiración en relación al año 1998, está aún sigue siendo baja. A pesar que las pérdidas por escorrentía en el 1999 son mayores (309 mm en el suelo desnudo y de 125 mm en el suelo protegido) que en el 1998, un inicio temprano de la estación de lluvias de otoño-invierno (septiembre) hace que el periodo de sequía extrema a pesar de lo continuado sea más corto que en el año 1998.

Analizando la distribución anual de la lluvia en la zona II durante el año seco (1985) y el año húmedo (1996) observamos que en el año seco, la disponibilidad de agua para evapotranspiración es baja (277 mm en suelo desnudo y 298 mm en suelo con cobertura), aunque no son muy diferentes a los del año 1998. En el año seco la cantidad de lluvias fue menor, y los eventos de lluvia más distribuidos y de menor intensidad, hacen que la proporción de agua perdida por escorrentía sea mucho menor.

En el año húmedo (1996) hay un incremento en la disponibilidad de agua para evapotranspiración (349 mm en suelo desnudo y 369 mm en suelo con cobertura), aunque los valores siguieron siendo bajos en relación a lo de los otros sitios experimentales.

Esto obedece a que a finales del año hay grandes pérdidas de agua por escorrentía y drenaje interno. Las pérdidas por drenaje interno, que inclusive

ocurren en el suelo desnudo, se deben a la baja profundidad radicular de la zona II.

Al simular cuales serían los efectos en la zona II de un incremento en la profundidad radicular efectiva, estos varían según el caso analizado. En el año 1998 con el suelo sin protección, los efectos no son apreciables, pues aun las pérdidas de agua por escorrentía serían siendo el factor crítico. En cambio, cuando además de mejorar la profundidad efectiva se mantiene protegido el suelo, hay un incremento del agua disponible para evapotranspiración que hace que los periodos de sequía se reduzcan.

En el año 1999, en suelo sin protección, el incremento de la profundidad radicular efectiva provocaría solo un ligero aumento del agua disponible para la evapotranspiración (338 mm), porque aún la escorrentía sigue siendo alta. Por ello, solo si se protege el suelo superficial para evitar el sellado se logrará que una mayor profundidad radicular pueda almacenar más agua disponible para la viña.

En climas mediterráneos, algunos investigadores (Fregonni, 1999; Hidalgo, 1998) consideran que las necesidades hídricas de la viña de secano dependen de la densidad de plantación y de la variedad y están en un intervalo de 350 - 500 mm de agua, para lograr una producción con una adecuada relación rendimiento/calidad. Teniendo en cuenta esta información se encontró que en aquellas situaciones donde los suelos fueron muy alterados en las prácticas de adecuación de terrenos en zona de pendientes, y que presentan una baja profundidad radicular, el agua disponible para evapotranspiración está muy determinada por la variable precipitación total, pero aún más por la proporción de agua de lluvia que logra infiltrar y por la que se pierde por drenaje interno. En estos casos el agua disponible para evapotranspiración está por debajo o en el límite mínimo de 350 mm. Excepto en años muy secos, el sellado superficial y la profundidad efectiva radicular (condiciones determinadas por el manejo del suelo) son los principales factores limitantes de la cantidad de agua disponible para el cultivo en su ciclo de desarrollo.

De las alternativas analizadas, las que pudieran llegar a mitigar o neutralizar los efectos negativos de la irregularidad en la distribución anual de lluvias, deben contemplar tanto un incremento en la profundidad efectiva radicular como disminuir las posibilidades de que se forme el sellado superficial del suelo. Con ello se lograría que el agua disponible para evapotranspiración sea cercana a los 500mm. Aunque en los casos con mayor profundidad radicular, sí hay problemas de sellado superficial, los valores de agua disponible llegan a estar cerca o ligeramente por debajo de los 350 mm señalados como mínimo. Además de los efectos sobre la disponibilidad de agua para la viña, en el balance hídrico anual hay que tener en cuenta que la cantidad de agua de escorrentía va a estar asociada a posibles pérdidas de suelo por erosión superficial. Esto viene favorecido tanto por la alta susceptibilidad de los suelos al sellado superficial, como por las altas pendientes y concentraciones de las lluvias en pocas tormentas de alta intensidad. En aquellas situaciones donde se puedan generar pérdidas de agua por drenaje interno, también es posible que estas contribuyan a la contaminación de las aguas subterráneas de la cuenca con elementos provenientes de los productos químicos y residuos orgánicos utilizados en el cultivo.

7.3.3 Disponibilidad de agua y ciclo anual de la viña

Para el ciclo 1997-1998 en la zona I (Figura 7.4 a) más de la mitad de las lluvias ocurren en el periodo de reposo, con una muy pequeña cantidad de lluvia que ocurre durante el periodo de brotación y floración y luego hay una moderada cantidad de lluvia que ocurre en los periodos de brotación-envero y envero-cosecha-caída de hojas. Esta zona es la que tiene menos problemas de sellado, con lo cual cuando se calcula la lluvia efectiva, se observa que aun en el caso de suelo sin protección, la reducción en relación a la lluvia total no es muy grande, presentándose las mayores reducciones de lluvia efectiva por pérdidas por escorrentía en el periodo de reposo, en el que se concentra casi la mitad de la lluvia. Al analizar el efecto que tendría utilizar una cobertura, se observa que la lluvia efectiva pasa a ser casi igual a la lluvia total, y solo hay una cierta reducción de la lluvia efectiva en el periodo de floración-envero por pérdidas por drenaje interno. El agua total

evapotranspirada tanto en el suelo sin proteger como en el suelo con protección superficial es muy parecida, (alrededor de 390 mm) y estaría por encima del valor mínimo (350 mm) citado por la bibliografía. La distribución de la evapotranspiración en los diferentes etapas del ciclo de la viña esta también dentro de los porcentajes de requerimientos de consumo del cultivo. Esto parece indicar que para la zona experimental I (suelo sin alterar), las lluvias del ciclo 1997-1998 permitieron satisfacer los requerimientos de la viña en cada uno de las etapas de su ciclo anual. Como gran parte de la lluvia ocurre en el periodo de reposo, coincidiendo con el periodo que hay menos consumo de agua, es importante que esa agua que cae en ese periodo pueda penetrar y además almacenarse en el perfil de suelo como reserva para ser utilizado durante la floración y el envero que es cuando hay mayores consumo de agua y pocos aportes por lluvia. Esto ocurre en la zona I, porque la velocidad de infiltración y la capacidad de almacenamiento de agua de este perfil de suelo lo permiten.

Durante el ciclo 1998-1999, (Figura 7.4b), el total de lluvias fue mayor y la distribución de las lluvias totales fue diferente, cuando lo comparamos con el ciclo 1997-1998. Esa mayor cantidad de lluvias totales en el ciclo 1998-1999 se concentró en ciertos periodos. Llovió más en el periodo de brotación-floración y en el de envero-cosecha-caída de hoja, y sin embargo llovió menos que en el ciclo 1997-1998 durante la floración-envero. Esto se traduce en una menor lluvia efectiva en el total del ciclo 1998-1999, especialmente en los periodos I y III, y una mayor lluvia efectiva en los periodos II y IV. En ese mismo ciclo 1998-1999, debido a que las lluvias ocurrieron en tormentas mucho más concentradas y tormentosas se observa que con una cobertura superficial se incrementa la lluvia efectiva. En el caso del suelo no protegido las pérdidas totales de agua por escorrentía y por drenaje interno fueron más altas, y eso hace que la lluvia efectiva y por tanto el almacenamiento del agua en el suelo, sea menor.

Las diferencias observadas en relación a la lluvia efectiva entre el ciclo 1997-1998 y el ciclo 1998-1999 no se mantienen en la evapotranspiración. Así, en el ciclo 1998-1999 se presentan prácticamente los mismos valores de evapotranspiración que en el 1997-1998, con alguna pequeña diferencia

concentrada en el cuarto periodo. Si dividiéramos el cuarto periodo en dos etapas (antes y después de la maduración) se podría distinguir que fue determinante que las lluvias en ese último periodo ocurren antes de completar la maduración, y así la lluvia efectiva se traduce en agua disponible para evapotranspiración dentro de ese ciclo del cultivo, y no como agua de reserva en el suelo para el ciclo siguiente.

Los rendimientos de vid para los ciclo 1997-1998 y 1998-1999 fueron respectivamente 12,5 Mg/ha y 13,6 Mg/ha. Esto indica que en estos suelos no alterados con condiciones bastante parecidas al suelo original, la mayor infiltración y el almacenamiento de agua en el suelo tuvo un efecto amortiguador sobre las fluctuaciones climáticas de un año a otro, logrando mantener una producción más elevada y más regular que en las otras zonas

Zonal

Ciclo 1997-1998

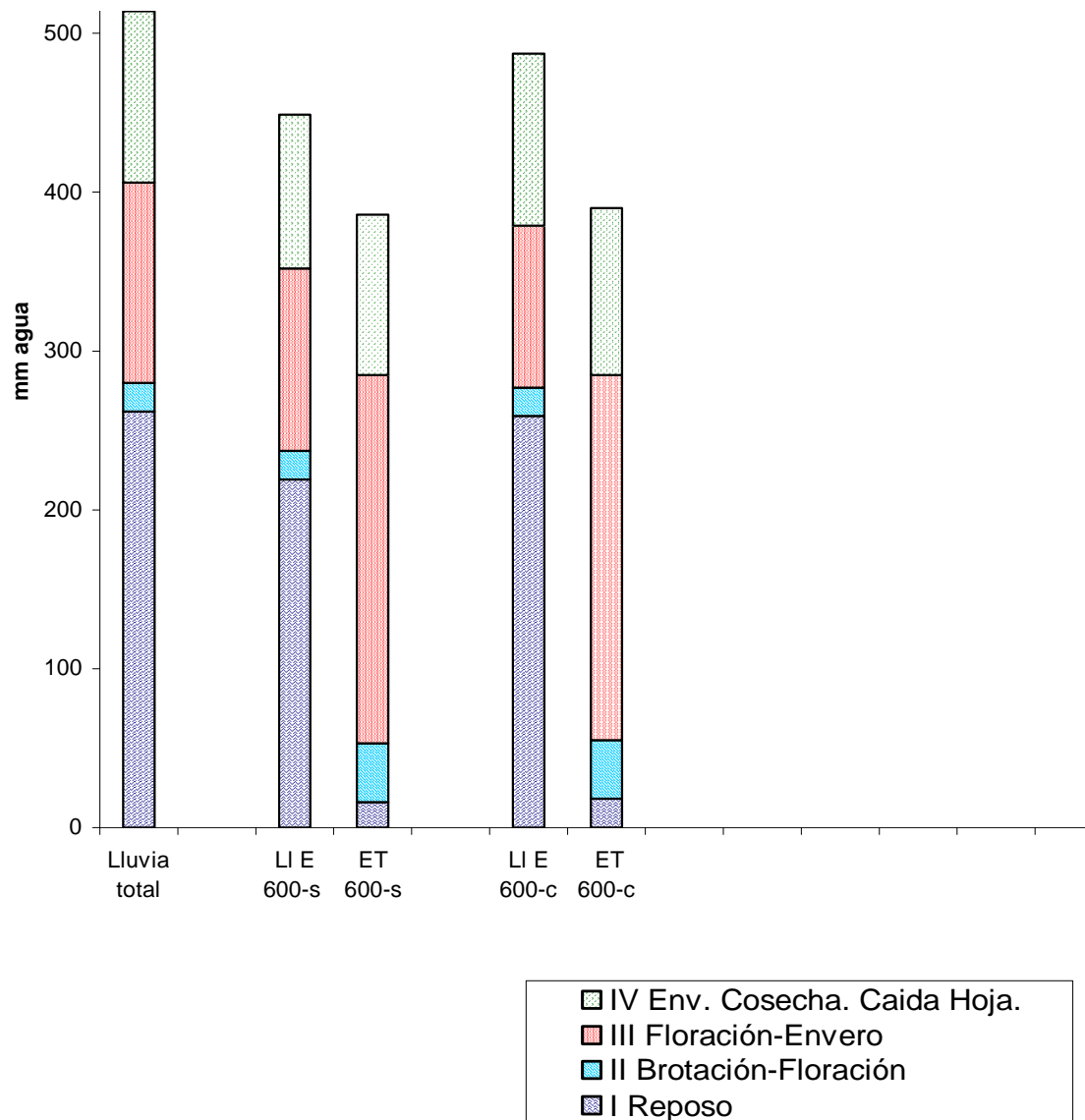


Figura 7.4a: Distribución de la lluvia total, de la lluvia efectiva (LIE) y de la evapotranspiración (ET), durante los diferentes periodos del ciclo de producción de la vid en la zona I bajo diferentes condiciones de suelo superficial (s: desnudo; c: protegido) y de profundidad radical efectiva (600 mm). Los valores de LIE y ET fueron calculados con el modelo de simulación SOMORE para el ciclo 1997-1998.

Zona I Ciclo 1998-1999

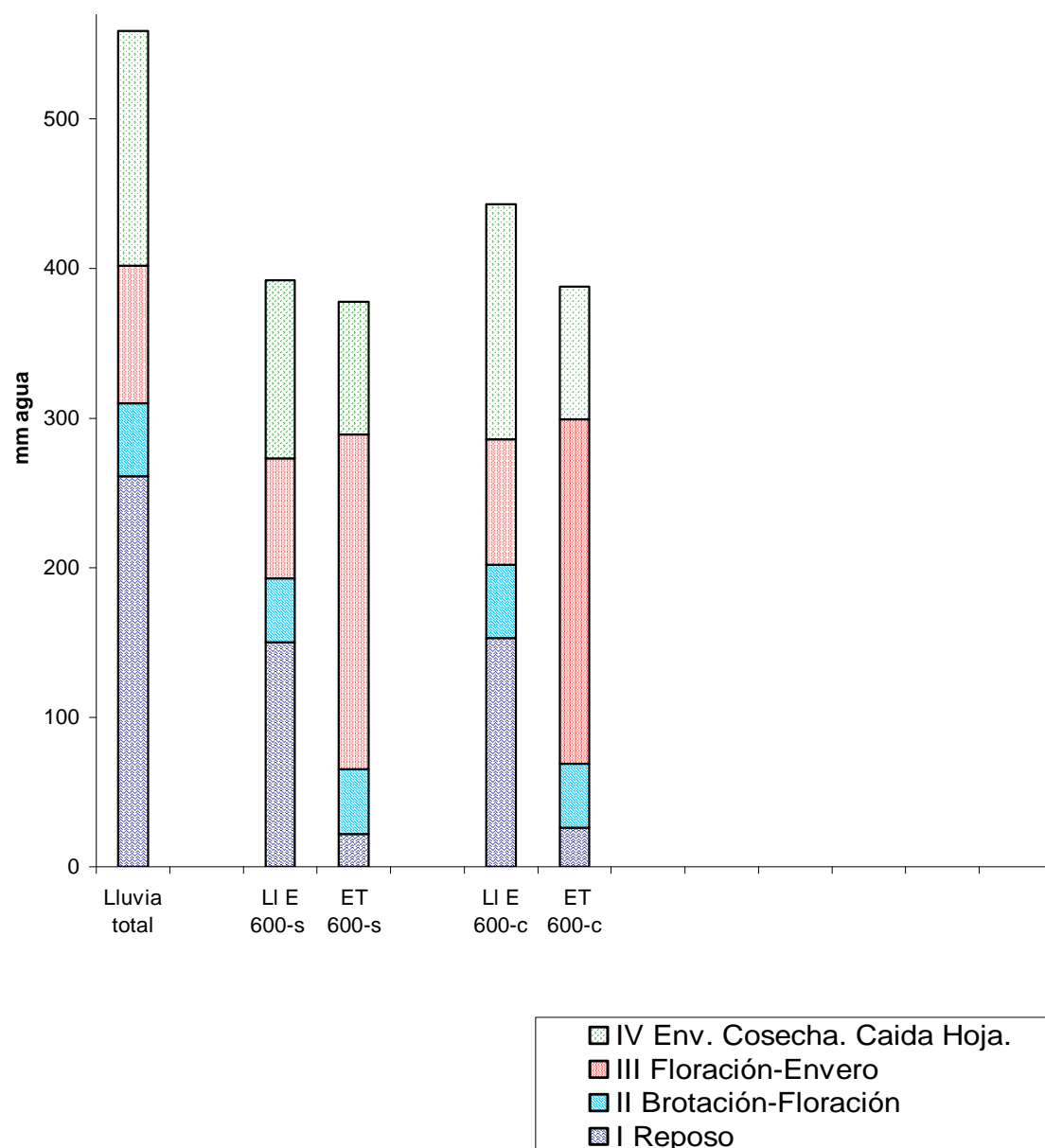


Figura 7.4b: Distribución de la lluvia total, de la lluvia efectiva (LIE) y de la evapotranspiración (ET), durante los diferentes periodos del ciclo de producción de la vid en la zona I bajo diferentes condiciones de suelo superficial (s: desnudo; c: protegido) y de profundidad radical efectiva (600 mm). Los valores de LIE y ET fueron calculados con el modelo de simulación SOMORE para el ciclo 1998-1999.

En las Figuras 7.5. (a y b) se reporta la distribución por periodos de la lluvia total, de la lluvia efectiva y del agua disponible para evapotranspiración en la zona II, tanto para la situación actual de menor profundidad efectiva de raíces, y suelo desnudo, como para las alternativas de suelo con protección y mayor

profundidad efectiva radical en los ciclos 1997-1998 y 1998-1999. Se observa que las cantidades de lluvia efectiva en el ciclo 1997-1998 tanto en el suelo desnudo como el suelo protegido son muchos menores que las obtenidas en la zona I y que la situación más crítica de disponibilidad de agua para evapotranspiración se presenta durante el periodo de floración y envero, floración -envero, especialmente en el suelo desnudo. La situación no es muy diferente en el ciclo 1998-1999, cuando en la zona II hay 100 mm menos de agua disponible para evapotranspiración que en la zona I. Comparando los dos ciclos de cultivo 1997-1998 y 1998-1999, se ven diferencias en el último periodo (IV). Las mayores deficiencias en el ciclo 1998-1999 coinciden con mayor lluvia en el periodo IV (en otoño-invierno) 1999, la cual ocurrió después de la cosecha. La cantidad de agua evapotranspirada en el ciclo 1998-1999 está por debajo de los límites críticos antes señalados lo cual provocó un descenso en los rendimientos de vid, que pasaron a 6,8 Mg/ ha y a 5,6 Mg/ ha en el 1998 y 1999 respectivamente. Bajo las condiciones extremas de esa zona II, tanto en el año 1998 como el 1999, hubo un fuerte déficit de agua tanto en el periodo de floración -envero como en el periodo de envero-cosecha, observándose que parte de los racimos se secaron. Si analizamos la influencia que tendría sí con una profundidad efectiva radical de 450 mm se utilizara una cobertura, vemos que aunque se lograría un aumento en lluvia efectiva este no sería suficiente como para que se redujeran los déficits de agua para evapotranspiración en el periodo de floración -envero, y no se reflejaría en el agua disponible durante el periodo IV. Esto es debido a que la baja profundidad efectiva radical limita al almacenamiento de agua en el suelo, y por ello, aunque con la cobertura se produzca una mayor infiltración de agua esta se pierde por drenaje interno.

Si con suelo desnudo se incrementara a 650 mm la profundidad radical efectiva, la cantidad de lluvia efectiva no variaría, aunque en el ciclo 1998-1999 se incrementa algo la disponibilidad de agua en el III periodo. Cuando además de aumentar la profundidad radical efectiva se mantiene protegida la superficie del suelo, en ambos ciclos (1997-1998 y 1998-1999) la cantidad de agua disponible para el cultivo subiría hasta niveles similares a los de la zona I.

Zona II Ciclo 1997-1998

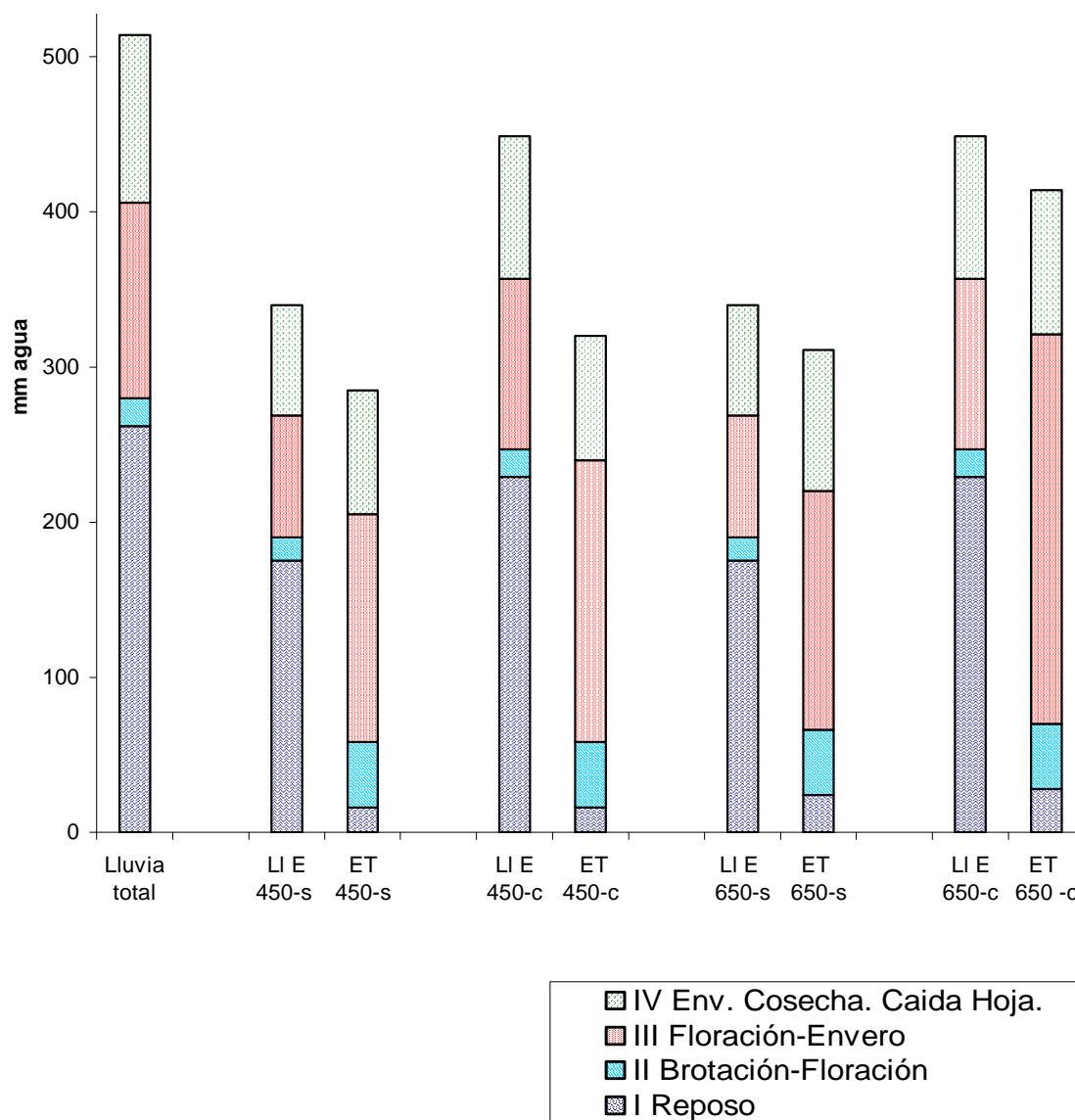


Figura 7.5a: Distribución de la lluvia total, de la lluvia efectiva (LIE) y de la evapotranspiración (ET), durante los diferentes periodos del ciclo de producción de la vid en la zona II bajo diferentes condiciones de suelo superficial (s: desnudo; c: protegido) y de profundidad radical efectiva (450, 600, 650 mm). Los valores de LIE y ET fueron calculados con el modelo de simulación SOMORE para el ciclo de cultivo 1997-1998.

Zona II Ciclo 1998-1999

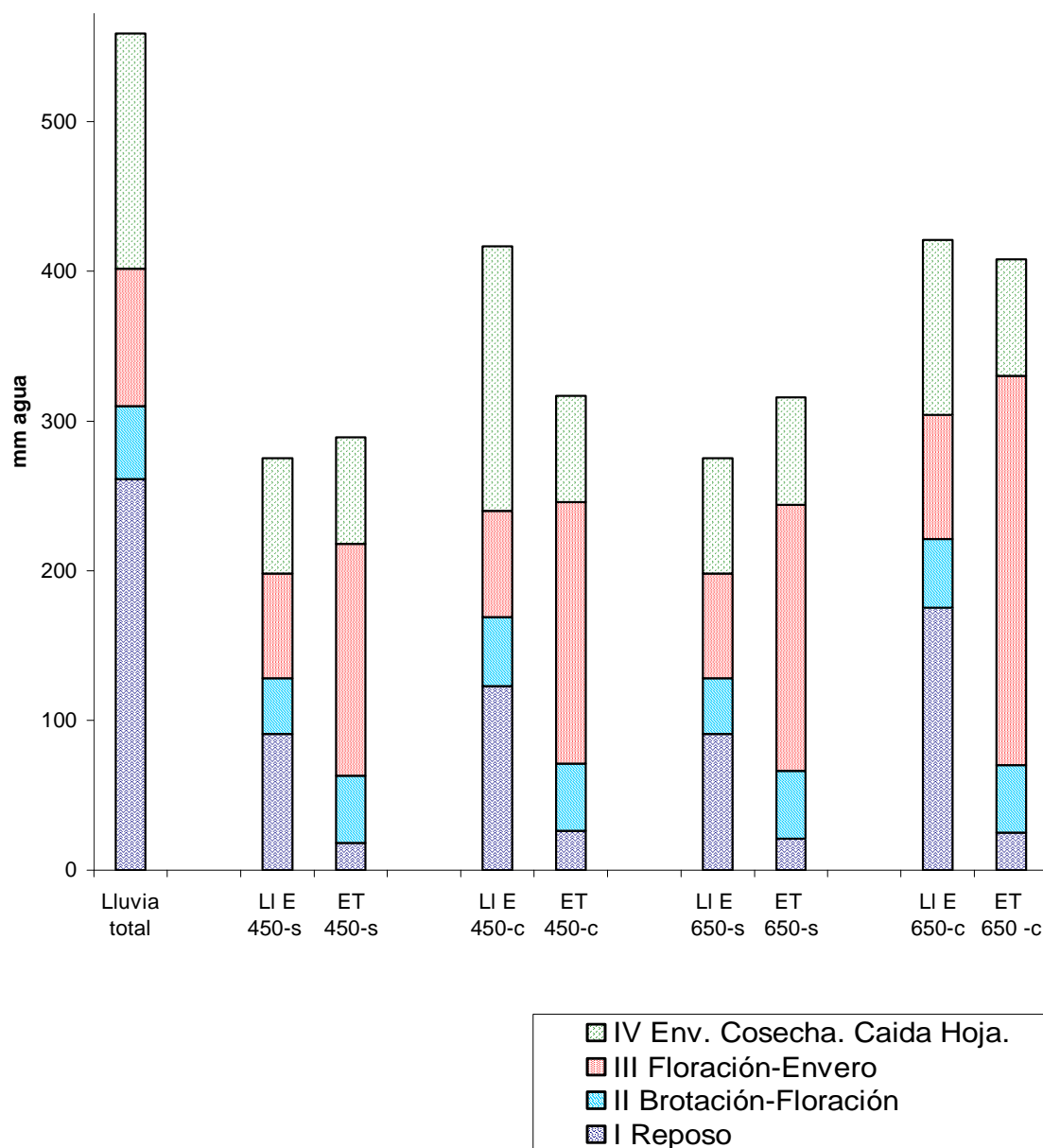


Figura 7.5b: Distribución de la lluvia total, de la lluvia efectiva (LIE) y de la evapotranspiración (ET), durante los diferentes periodos del ciclo de producción de la vid en la zona II bajo diferentes condiciones de suelo superficial (s: desnudo; c: protegido) y de profundidad radical efectiva (450, 600, 650 mm). Los valores de LIE y ET fueron calculados con el modelo de simulación SOMORE para el ciclo de cultivo 1998-1999.

7.4 Conclusiones

Del análisis anterior se deduce que un enfoque hidrológico en la evaluación de los procesos de degradación de suelos y agua es una herramienta útil en la selección y aplicación prácticas de manejo de las tierras agrícolas, que sean efectivas y sostenibles. En este sentido el modelo SOMORE ayudo a evaluar la efectividad o posibles problemas generados, por prácticas como roturación profunda del suelo y coberturas. Con esa estimación previa se tienen criterios más precisos y racionales para poder predecir la naturaleza y grado de los posibles efectos positivos o negativos, de determinadas prácticas de y sistemas de manejo y conservación de suelos, bajo diferentes condiciones climáticas que puedan presentarse con ciertos periodos de recurrencia.

Como producto de los cambios en la composición del suelo superficial, especialmente en las zonas de corte el impacto de gotas de lluvias provoca un rápido efecto de sellado, que reduce drásticamente la posibilidad de infiltración del agua de lluvia, provocando en algunos casos que hasta un 50-60 % del agua caída se pierda por escorrentía superficial. Esto ocurre principalmente en la época de otoño-invierno, cuando ocurren las mayores tormentas, provocando frecuentemente pérdidas de suelo por erosión superficial. La perdida de agua por escorrentía superficial puede provocar déficit hídrico en la etapas posteriores de desarrollo del cultivo cuando la demanda de agua es mayor reduciéndose apreciablemente la cantidad y calidad de producción.

De las simulaciones realizadas puede concluirse que sin limitaciones en la infiltración de agua de lluvia y profundidad radicular efectiva, podrían mantener unos rendimientos sostenidos en el tiempo en la vid, aún con las fluctuaciones más frecuentes en la cantidad y distribución de las lluvias. En cambio, cuando esas limitaciones están presentes los rendimientos pueden ser más bajos e irregulares, con efectos indirectos en la calidad.

8 Capítulo VIII. Comentarios y conclusiones del trabajo

8.1 Comentario general

La investigación se ha realizado en campos comerciales de la zona vitícola de Cataluña, donde se producen vinos y cavas de calidad bajo la denominación de origen Penedés. En esa región de clima mediterráneo semiárido, con un promedio anual de precipitaciones de alrededor de 600 mm, muy irregularmente distribuidos y con una gran variabilidad en los totales de un año a otro, la superficie de viñedos para la producción de vinos y cavas de alta calidad ha aumentado en los últimos 20 años. Ese aumento de la superficie vitícola ha estado acompañado de un cambio del patrón tradicional de cultivo, transformando plantaciones que seguían las curvas de nivel y en crecimiento libre, por sistemas de emparrado en largas hileras rectas, en cualquier dirección o sentido, separadas por más de dos metros, todo ello para facilitar la circulación de las maquinarias requeridas para las diferentes labores agrícolas. Como paso previo a estas nuevas plantaciones, ha sido necesario eliminar las irregularidades del relieve natural, y atenuar las pendientes, para lo cual se ha hecho grandes trabajos de nivelación de tierras, con cortes, rellenos.

El incremento de los problemas de degradación de suelos y aguas en toda el área mediterránea, son debidos en parte a la carencia de datos de campo para situaciones específicas, a deficiencias en las evaluaciones de los procesos involucrados en dicha degradación o al uso generalizado de aproximaciones empíricas para seleccionar las prácticas de conservación de suelos. Por lo que el diagnóstico de los posibles impactos ambientales a nivel local y general que se generan de estas transformaciones de tierras y nuevos sistemas de manejo en la comarca del Anoia requiere una evaluación y predicción de los procesos hidrológicos asociados a ellos.

En este sentido, las evaluaciones y experimentación a nivel de campo y laboratorio realizadas en este trabajo han permitido caracterizar la dinámica

hídrica de los perfiles de suelos estudiados, generado datos e información necesaria para la gestión de los suelos en los viñedos, y además una base metodológica útil para futuros estudios de suelos de viña de secano en tierras de pendiente. La identificación de los procesos físicos que rigen la evolución de la humedad de estos suelos, han permitido predecir posibles efectos sobre la producción de viña y sobre los impactos ambientales. A partir de esas predicciones es posible precisar más sobre la selección y diseño de prácticas y estructuras de conservación más eficientes y sostenibles, para mantener y mejorar la productividad de estas tierras, evitando su degradación.

8.2 Conclusiones del trabajo

De los resultados obtenidos en este trabajo puede concluirse que:

1. Como consecuencia de la introducción de cambios en el manejo de la viña en la comarca del Anoia la dinámica de humedad de estos suelos ha sido modificada, provocando variaciones importantes sobre las tasas de escorrentía superficial, de retención de agua y de las pérdidas de agua por drenaje interno. Esta modificación de la dinámica de humedad es debida a que sean producido alteraciones en el sistema de drenaje original, por sustitución del material superficial original del suelo y por disminución en la profundidad efectiva del perfil del suelo.
2. En los perfiles de suelo que durante la adecuación de los terrenos han perdido el horizonte superficial original, el material que ha quedado expuesto en superficie es muy susceptible al impacto de gotas de lluvias por lo que rápidamente se sella, reduciendo drásticamente la posibilidad de infiltración del agua de lluvia. La alta susceptibilidad al sellado de este material que queda expuesto en superficie provoca que hasta un 50-60 % del agua de lluvia se pueda perder por escorrentía superficial. Esto ocurriría principalmente en la época de otoño-invierno, cuando ocurren las mayores tormentas, provocando a menudo fuertes pérdidas de suelo por erosión superficial.

-
3. En las zonas altas de las parcelas podrían llegar a disminuir notablemente las posibilidades de satisfacer la demanda de agua de la vid durante las etapas más avanzadas de desarrollo del cultivo, como consecuencia de las pérdidas de agua por escorrentía superficial. La protección del suelo superficial con una cobertura viva o muerta podría ser una alternativa en la zona para mejorar la infiltración del agua de lluvia y evitar la erosión superficial siempre y cuando, la profundidad efectiva del suelo donde se desarrollen las raíces, sea suficiente para almacenarla. En caso contrario gran parte de esa agua se perdería por drenaje interno, en forma de flujo subsuperficial, por lo que no se resolvería el riesgo de déficit hídrico en etapas posteriores críticas para el desarrollo de la vid.
 4. Dada la irregularidad en la distribución de las lluvias, y la no coincidencia del periodo de máximas lluvias con los de mayor demanda de agua por la vid, la profundidad efectiva de desarrollo radicular, muy afectada por los cortes y rellenos en las labores de sistematización de tierras, es un factor crítico para asegurar el almacenamiento de agua de las lluvias de otoño-invierno para su utilización por el cultivo en primavera-verano.
 5. Aun en algunos de los años más secos no se presentarían déficit críticos de agua en las zonas en que el suelo superficial original no ha sido removido y se mantiene una mayor profundidad radical efectiva (>600 mm).
 6. En estos suelos antrópicos, con un escaso desarrollo pedogenético, y donde el material original es predominantemente roca arcillosa (lutitas) calcárea, hay un contenido elevado de material grueso, con porosidad y capacidad de retención de agua, y las otras fracciones más finas (arena, limo y arcilla) son en su gran parte un simple producto de desintegración física de dichas rocas. El método de muestreo, manipulación y tratamiento de las muestras puede cambiar dicho grado de roturación o distribución de tamaño de partículas y con ello afectar significativamente los resultados. Por ello las correcciones propuestas, que toman en cuenta el contenido y propiedades de retención de humedad de ese material

grueso, permitieron mejorar apreciablemente las correlaciones entre resultados obtenidos y simulados.

7. Se encontró que el desarrollo de las raíces de viña prácticamente cesa, cuando en una gran parte del periodo de desarrollo del cultivo predominan resistencias a la penetración (medidas con penetrómetro de punta cónica) mayores de unos 1,3 MPa/cm (correspondientes a densidades aparentes mayores de 1,75 g/cm³), aunque se pudo observar que aun en esos casos se desarrollan raíces entre las grietas del material base de lutitas en el fondo del perfil de suelo. Esto, asociado a la capacidad de retención de agua en esas lutitas (> 5 % en masa) hace que años con periodos críticos de deficiencia de agua en el suelo para la vid, las plantas puedan sobrevivir.
8. Las metodologías utilizadas para evaluar las propiedades mecánicas e hidrológicas de los suelos, resultaron ser eficientes en el diagnóstico del comportamiento hidrológico de los suelos de la zona. Su integración en el modelo hidrológico SOMORE, permitió deducir en forma cuantitativa, tanto para situaciones actuales como para posibles escenarios de clima y manejo de suelos, las condiciones que pueden tanto afectar el desarrollo de la viña, como provocar problemas de degradación de suelo por erosión.
9. La buena correspondencia entre los valores medidos durante los años 1998 y 1999, en las condiciones actuales en las zonas de experimentación, y los valores estimados utilizando el modelo de simulación SOMORE, fue adecuada para validar la utilización del modelo en la zona para hacer predicciones de la evolución de la humedad en el suelo durante el ciclo de desarrollo de la vid, bajo diferentes escenarios de manejo de tierras y diferentes condiciones climáticas.

9 Bibliografía

Alquézar, L., & J. Bobet. 1990. El conreu de la vinya a Catalunya. Dept. Agricultura Generalitat de Catalunya. Servei Agrari. Caixa de Catalunya, Barcelona, España.

Battany, M.C & M.E. Grismer. 2000. Development of portable field rainfall simulation for use in hillside vineyard runoff and erosion processes. *Hidrological* 14:1119-1129.

Black, C.A. 1965. Physical and mineralogical methods. In: *Methods of soil analysis*. Agronomy. Monograph. N° 9. ASA, Madison, WI.

Blondel, J. & J. Aronson. 1999. *Biology and Wildlife of the Mediterranean Region* Oxford. University Press. New York.

Bodin, F. & R. Morlat. 2006. Characterization of viticultural terroirs using a simple field model based on soil depth. *Plant and Soil*. 281: (1-2) 37-54.

Boehm, W. 1979. *Methods of Studying Roots Systems*. Springer-Verlag, New York.

Boixadera, J., & J. Porta. 1994. Informació de sols i sostenibilitat de la vinya al Penedès: Plans de conservació de sols i aigües. p.70-79 In: *Jornades de Transferència de Tecnologia sobre Conservació de Sòls i Aigües en Vinyes*. DMACS-UDL . INCAVI-DARP. Vilafranca del Penedès. Barcelona.

Brower, J., H. Anderson.2000.Water holding capacity of ironstone gravel in a typic plinthoxeralf in southeast Australia.*Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1603-1608.

Cabrera, L. 1981. Influencia de la tectónica en la sedimentación continental de la cuenca del Vallès-Penedès (provincia de Barcelona, España) durante el Mioceno inferior. *Acta Geológica Hispanica*. 16:165-171.

Canarache, A.1991. Factors and indices regarding excessive compactness of agricultural soils. *Soil Tillage Res.*19:145-164.

Carbonneau A., 2000. Climat et sol : critères d'évaluation et effets sur le comportement de la vigne. In: V. Sotés (ed.). *Proc. 3° Simp. Int. Zonificación vitivinícola*. May 2000, Tenerife (Spain). CD-ROM.

Carey V.A., 2001. Spatial characterisation of natural terroir units for viticulture in the Bottelaryberg-Simonsberg-Helderberg winegrowing area. PhD thesis, University of Stellenbosch.

-
- Cass, A. 1998a.** Assessment of vineyard soils, In: Proc. Tenth Australian Wine Industry Technical Conference. (eds, R. J. Blair, et al.). Winetitles, Adelaide.
- Cass, A. 1998b.** Vineyard soils - measuring and managing chemical impediments to growth. The Australian Grapegrower and Winemaker 415:13-16.
- Cass, A. 2002.** Sustainable viticultural production: Optimising soil resources. GWRDC Final Report: CRS 95/1.
- Cass, A. & D. Maschmedt. 1998.** Understanding soils - for optimum yield. The Australian Grapegrower and Winemaker 411:13-16.
- Cass, A., D. Maschmedt & J. Chapman. 1998.** Vineyard soils: Managing physical impediments to root growth. The Australian Grapegrower and Winemaker 414:13-17.
- Cerda, A., S. Ibañez & A. Calvo 1997.** Desing and operation of a small and portable rainfall simulated for rugged terrain. Soil Technology. 11(2): 163-170.
- Cervera, J.M. 1994.** Avaluació del territori i sostenibilitat: aplicació al cas del conreu de la vinya en un àrea model al Ànoia-Penedés . PFC. DMCS-ETSEA. Universitat de Lleida. Catalunya, Spain.
- Conradie W.J., 1998.** The effect of soil and climate on the character of Sauvignon blanc wine. In: Proc. SASEV Congress. November 1998. Cape Town, South Africa.
- Conradie, W.J. & D. Saayman. 1989.** Effects of long-term nitrogen, phosphorous and potassium fertilisation on Chenin blanc vines. II. Leaf analyses and grape composition. American Journal of Enology and Viticulture 40:91-98.
- Coulon, E., & A. Bruand. 1984.** Effects of compaction on the pore space geometry in sandy soils. Soil Tillage Res.15:137-152.
- Crossett ,R.N., & D.J.Campbell .1975.**The effects of ethylene in the root enviroment upon the development of barley. Plant and Soil. 42: 453-464.
- Charters, S. 2000.** The world of wine. The encyclopedia of wine. Harper Collins Publishers, Australia.
- DARP.1992.** Nutrició de la vinya. Evolució de macronutrients en la fulla de la varietat xarel.lo. Quaderns de Divulg. # 31. Generalitat de Catalunya, Barcelona.

Deloire, A., B. Federspiel, H. Ojeda, Z. Wang, P. Costanza & A. Carbonneau. 2003. La vigne et l'eau. Libro de actas. GESCO 2003. Sec. I: 22-27

Dexter, A.R. 1988. Advances in characterization of soil structure. Soil and Tillage Research 11:199-238

Dirksen, C., & S. Dasberg.1993. Improved calibration of time domain reflectometry in soil water content measurement. Soil Sci. Soc. Amer. J. 57:660-667.

Dupre, M. 1990. Historical antecedents of desertification: climatic or anthropological factors? In: Strategies to Combat Desertification in Mediterranean Europe.(J.L. Rubio & R.J. Rickson, eds). CEC. Luxembourg

EC. 2003. Mediterranean desertification. Framing the policy context. Research results. Project EVK2-CT-2000-00085. Office for Official Publications of the European Communities. Luxembourg

Ehlers,W., U. Kopke, F. Hesse & W. Bohm. 1986. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. Soil Tillage Res. 3:261-275.

El Swaify, S.A. & J.H. Fownes. 1992. Erosion processes and models: applications in the tropics. p.135-150 In: H .Hurni, and K. Tato (ed.) Erosion, Conservation and Small-Scale Farming. Geographica Bernensia , Berne, Switzerland.

Failla, O., G. Stringari, D. Porro & A. Scienza. 1993. Stato nutrizionale di alcune zone viticole dell'Italia centro-settentrionale. Vignevini 20:77-82.

Flint, A.L. & S. Childs. 1988. Physical properties of forest soils containing rock fragments. P.1-40. In: S.P.Gessel et al (ed.) Sustained productivity of forest soils. Proc. 7th North American Forest Soils Conf., Vancouver

Fonseca, F.J. 2006. Balance hídrico en suelos pedregosos con viña de secano en el Priorat (Cataluña): Efectos por cambios de manejo y clima. Tesis de Doctorado. Universitat de Lleida. Cataluña. España.

Foster; G.R& L.J. Lane.1987. Beyond the USLE: Advacements in soil erosion prediction. Future Developments in Soil Science Research. Ed: L.L. Boersma & col. Soil Sci.Soc.Am. Madison.315-326.

Fregoni , M.1998.Viticultura di qualita.. l'Informatore Agrario, Piacenza , Italy.

Gallart, F. & P. Llorens. 2001. Water Resources and Environmental change in Spain. A Key

-
- Gallart, F. 1981.** Neógeno superior y Cuaternario del Penedès (Catalunya, España). *Acta Geológica Hispánica*. 16:151-157.
- Garbr, M.A., J. Coonse & P.C. Lambe. 2001.** A Potential Model for Compaction Evaluation of Piedmont Soils Using Dynamic cone penetrometer. *Geotechnical Testing Journal*. 24:3-11.
- Gardner, C., K. Laryea & P. W. Unger. 1999.** Soil Physical Constraints to Plant Growth and Crop Production. AGL/MISC/24/99FAO. Roma (Italia)
- Gladstones, J., 1992.** Viticulture and environment. Winetitles, Adelaide.
- Gliski, J., & J. Lipiec .1990.** Soil Physical Conditions and Plant Roots. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 250pp.
- Godoy, C. 1985.** Respuesta de la vid (*Vites vinífera* L) a diferentes tensiones de humedad en el suelo en dos etapas de desarrollo. *Agricultura Técnica en México*. 11(1):39-40.
- Gupta, S.C., B. Lowery, J.F. Moncrief & W.E. Larson. 1991.** Modeling tillage effects on soil physical properties. *Soil Tillage Res.* 20:293-318
- Hanson,C.T.& R.L. Blevias 1979.** Soil water in coarse fragments. *Soil Sci. Soc. Am. J.*43:819-820.
- Hartge, K.H. 1997.** Accessibility of most frequently used physical parameters of soil structure, reliability of measured values, lack of replicates and ways out of this dilemma. *Int. Agrophysics*.11:89-95.
- Hartge, K.H., H. Bohen, H.P. Schrey, & H. Extra. 1985.** Penetrometer measurements for screening soil physical variability. *Soil Tillage Research* 5:343-350.
- Hartman, R.H. 1997.** Time domain reflectometry (TDR) for measuring soil water content. In: *New Waves in Soil Science. Training Course.* International Training Centre for Post-Graduate Soil Scientists.University of Gent. Belgie.
- Herrick, J. & T. Jones. 2002.** A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. *Soil Sci. Soc. Am.J.* 66:1320-1324.
- Hidalgo, L. 1999.** Tratado de Viticultura general. Mundi – Prensa, Madrid.
- Hillel, D 1989 .**Modeling in Soil Physics:A Critical Review.p. 35-42. In: *Future Developments in Soil Science Research.* Soil Science Society of Am. Madison, WI.
- Hillel, D. 1980.** Applications of Soil Physics. Academic Press, New York.
- Hillel, D. 1998.** Environmental Soil Physical. Academic Press, New York.

-
- Hillel, D. 1998.** Environmental soil Physical. Academic Press, New York.
- Imeson, A.C. & I.M. Emmer. 1992.** Implications of climate change on land degradation in the Mediterranean. In: Climate Change and the Mediterranean. (L. Jeftic et al, eds). Edward Arnold. London (UK)
- Jimenez, M., J. Martinez & M. Ramos. 2003.** Impacte de les transformacions de terres i canvis d'usos del sòl en l'erosió hídrica en vinyes del Alt Penedes-Anoia. Els Paisatges de la Vinya. Actes 5. Public. del Centre d'Estudis del Bages. Manresa.
- Jones, G.V., E. Duchene, D. Tomasi, J. Yuste, O. Braslavksa, H. Schultz, C. Martinez, S. Boso, F. Langellier, C. Perruchot & G. Guimberteau. 2005.** Changes in European winegrape phenology and relationships with climate. In: Proceedings of XIV International GESCO Viticulture Congress, Geisenheim, Germany.
- Jones, D.P., R.C. Graham . 1993.** Water-holding characteristics of weathered granitic rock in chaparral and forest ecosystems. Soil Sci. Soc. Am. J. 57:256-261.
- Kienzler, K. 2001.** Impact of long-term vineyard irrigation with saline water on soil properties. Research Report, University of Adelaide, Adelaide.
- Klute, A. 1986.** Water Retention: Laboratory Methods. p. 635-662 In A. Klute (ed) Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd ed. Agronomy Monograph. N° 9. ASA, Madison, WI.
- Lafren, J.M. 1998.** Simulation modelling for erosion prediction and control. Soil and Water Conservation. Challenges and Opportunities. Ed. L.S. Bhushan & col. Oxford & IBH Publishing Co. New Delhi. I: 519-526.
- Lanyon, D.M., A. Cass & D. Hansen. 2004.** The effect of soil properties and management on wine grape production. Australian Journal of Grape and Wine Research (Submitted).
- Larson, W., S.C. Gupta, & R. Useche. 1980.** Compression of agricultural soil from eight soil orders. Soil Sci. Soc. Am. J. 44:450-457.
- Lebon, E., 1993.** De l'influence des facteurs pédo- et mésoclimatiques sur le comportement de la vigne et les caractéristiques du raisin. Application à l'établissement de critères de zonage des potentialités qualitatives en vignoble à climat semi-continental (Alsace). PhD Thesis, Dijon University, Dijon, France.
- Lipiec, J., & W. Stepniewski. 1995.** Effects of soil compaction and tillage systems on uptake and losses of nutrients . Soil Tillage. Res. 35. pp37-52

-
- Lipiec, J., & I. Hakansson 2000.** Influences of degree of compactness and matric water tension on some important plant growth factors. *Soil Tillage Res.* 53, pp.87-94.
- López Sabater, C. 1994.** Establecimiento de un Plan de Conservación de Suelos en un Área Modelo de 490 ha en el Alt. Penedés. PFC. MACS.-ETSEA. Universitat de Lleida Catalunya, Spain.
- Loughran, R.J., B.L. Campbell & G.L. Elliot. 1986.** Sediment dynamics in a partially cultivated catchment in New South Wales, Australia. *Journal of Hydrology* 83:285-297.
- Loughran, R.J., B.L. Campbell, D.J. Shelley & G.L. Elliot. 1992.** Developing a sediment budget for a small drainage basin in Australia. *Hydrological Processes* 6:145-158.
- Margaris, N.S. 1996.** Changes in traditional Mediterranean land-use systems. In: *Mediterranean Desertification and Land Use.* (J. Brandt, J.B. Thornes, (eds.). Wiley, Chichester, UK.
- Martinez, J.A. 1998.** Soil-Landscape-Erosion. Gully erosion in the Alt Penedes-Anoia (Catalonia). Tesis Doctoral. Universitat de Lleida .Catalunya, Spain.
- Matthews, M. A., & M.M. Anderson. 1989.** Reproductive development in grape (*Vitis vinifera* L.) : Responses to seasonal water deficits. *Am. J. Enol. Vitic.* 40:52-60.
- Matthews, M. A., M.M. Anderson, & H. R. Schultz. 1987.** Phenologic and growth responses to early and late season water deficits in Cabernet franc. *Vitis.* 26:147-160.
- Mazzoleni, S, Di Pasquale, G. Mulligan, M. Di Martino & F. Rego, (eds.) 2001.**
Recent Dynamics of Mediterranean Vegetation and Landscape. John Wiley & Sons, Chichester.
- McCarthy, M.G, & B.G. Coombe. 1985.** Water status and winegrape quality. *Acta Hortic.* 171:447-456.
- McKenry, M.V. 1984.** Grape root phenology relative to control of parasitic nematodes. *Am. J. Enol. Vitic.* 35:206-211.
- McNab, S. & R. Dick. 1995.** Soil temperature and moisture levels can affect fertilizer breakdown in vineyards. *The Australian Grapegrower and Winemaker* 378:141-142.
- Medrano, H.; J.M. Escalona; J. Cifre; J. Bota & J. Flexas. 2003.** A ten year study on the physiology of two Spanish grapevine cultivars under field

conditions: effect of water availability from leaf photosynthesis to grape yield and quality. *Functional Plant Biology*. 30: 607-619.

Montagne, C., J. Ruddell & R.Ferguson.1992.Water retention of soft siltstone fragments in an Ustic Torriorthent, central Montana. *Soil Sci.Soc.Am.J.*56:555-557.

Morlat R., 2001. Terroirs viticoles: étude et valorisation. Ed. Oenoplurimédia.

Moroke, T.S., R.C. Schwartz & K.W. Brown. 2005. Soil water depletion dryland crops. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:197-205

Myburgh, P., A. Cass & P. Clingeffer. 1996. Root systems and soils in Australian vineyards and orchards: An assessment. Barossa Valley Rotary Foundation Fellowship Report.

Myburgh, P.A. & J.H. Moolman. 1993. Effect of ridging on the temperature regime of a waterlogged vineyard soil. *South African Journal of Plant and Soil* 10:17-21.

Nacci, S., & I. Pla. 1992. Efecto de la estratificación y sellado sobre la dinámica del agua en dos suelos agrícolas de Venezuela. *Agronomía Tropical*. 42(1-2):53-65. Maracay. Venezuela

Nacci, S., & I. Pla. 1991. Técnicas y equipos desarrollados en el país para evaluar propiedades físicas de los suelos. FONAIAP: 48p Serie b. N° 17 .Maracay. Venezuela.

Nacci, S., I. Pla & M.C. Ramos.2000.Impactos de cambios en el manejo de tierras con viña del NE de España sobre la conservación de suelo y agua. 11th Isco Conference. Buenos Aires Argentina.

Nacci, S. 2008. Puesta a punto de metodologías sencillas para la evaluación de procesos físicos en el suelo en condiciones mediterráneas. Proyecto final de carrera. Udl .Lleida

Northcote, K.H. 1998. Soil and Australian Viticulture. In: Viticulture. B. Coombe & P. R. Dry, (eds). Resources. Winetitles, Adelaide.

Pascual, M. 1994. Aspectos fisiológicos de la vid en relación con el aporte de agua . p. 5- 34. In: Jorn. Trasn. Tec. Sobre Conservació de Sòls i Aigües en Vinyes. DMACS. Universitat de Lleida. Institut Català de la Vinya i el Vi.Villafranca del Penedés. Catalunya.Spain.

Pla, I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Alcance 32. Rev. Facultad de Agronomía. UCV. Maracay. 90pp

Pla, I. 1985. A routine laboratory index to predict the effect of soil sealing on soil and water conservation.p. 154-162 In : F Callebout et al.(ed.) Assessment of Soil Surface Sealing and Crusting . State Univ.Ghent. Belgium.

Pla, I. 1989. Soil water constraints for dryland corn and sorghum production in Venezuela. Challenges in Dryland Agriculture. Ed: P.Unger. Amarillo/Buchland. Texas. 140-144.

Pla, I. 1990. Soil degradation processes and methodology to evaluate relevant parameters.p. 95-100.In: Trans. 14th Int. Congress of Soil Sci. I. ISSS. Kyoto. Japan.

Pla, I. 1991. Limitaciones y perspectivas en el estudio y evaluación de los procesos y efectos de la erosión hídrica. p 67-72. In : R.López and M.L. Páez. Metodología para la Evaluación e Investigación de la Erosión del Suelo y su Impacto en la Productividad y en el Ambiente. CIDIAT. Mérida. Venezuela.

Pla, I. 1992. Water saving for rainfed crop production in the tropics through surface soil conditioning.p. 127-135. In : H.Verplancke et al. (ed.) Water Saving Techniques for Plant Growth..Kluwer Academic Publish,Dordrecht, The Netherlands

Pla, I. 1994. Soil degradation and climate-induced risks of crop production in the tropics. Trans. 15th ISSS Congress. ISSS. Acapulco . 1:163-188.

Pla, I. 1995. Modeling hydrological processes for guiding soil and water conservation practices. In the soil as strategic resource: Degradation processes and conservation measures. Meeting European Soc. Soil. Conserv.Spain

Pla, I. 1996a. Propiedades físicas del suelo: Relaciones con la productividad y procesos de degradación. Métodos de evaluación y modelaje. Suelos con Limitaciones Físicas. Ed: R. López & F. Delgado. CIDIAT. Mérida. 19-51.

Pla, I. 1996b. A soil water balance model for monitoring soil erosion processes and effects on steep land in the tropics. Soil Tech. 11(2):1-13.

Pla, I. 1997. A soil water balance model for monitoring soil erosion processes and effects on steep lands in the tropics. Soil Erosion Processes on Steep Lands. Special Issue of Soil Technology. Ed: I. Pla.. Elsevier. Amsterdam. 11 (1):17-30

Pla, I. 1998. Modeling hydrological processes for guiding soil and water conservation practices. The Soil as a Strategic Resource: Degradation

Processes and Conservation Measures. Ed: A. Rodríguez & col. Geofoma Ed. Logroño . 395-412.

Pla, I. 2000. Hydrological approach to soil and water conservation. p.45-69. In : Keynotes. ESSC. Third Inter. Cong. Valencia .Spain.

Pla, I. 2002a. Hydrological approach to soil and water conservation. Man and Soil at the Third Millenium. Ed. J.L. Rubio & col. Geofoma Ed. Logroño. I: 65-87.

Pla, I. 2002b. Modelling for planing soil and water conservation: A critical review. Soil Science : Confronting New Realities in the 21th Century. Trans. 17 WCSS. IUSS. Bangkok. 2123-1 – 2123-11.

Pla, I., & S. Nacci. 1999. Impacts of mechanization on surface erosion and mass movements in vineyards of the Anoia-Alt Penedés area (Catalonia, Spain). In: Proc. 10th Conference of ISCO. West Lafayette , Indiana .USA .

Pla, I., 2006. Hydrological approach for assessing desertification processes in the Mediterranean region. p. 579-600. In W.G. Kepner et al. (ed.), Desertification in the Mediterranean Region. A Security Issue. Springer. Heidelberg (Germany).

Pla, I.1998. Modeling hydrological processes for guiding soil and water conservation practices.p.385-412. In: A. Rodriguez & et al (ed.) The Soil as a Strategic Resource: Degradation Processes and Conservation Measures. Geoderma , Logroño, España

Poch,R.M., & J. Porta. 1994. Estratègies per la conservació de sòls i aigua en vinyes: Measures de Conservació. p.56-62. In : In: Jorn. Trasn. Tec. Sobre Conservació de Sòls i Aigües en Vinyes. DMACS. Universitat de Lleida. Institut Català de la Vinya i el Vi.Villafranca del Penedés. Cataluña.Spain.

Porta, J., M. Lopez-Acevedo, & R. Rodriguez. 1986. Técnicas y experimentos en edafología.Universitat Politècnica de Catalunya . ETSEA. COEAC.Lleida.

Ramos, M.C. 1992 . Degradación de suelos por erosión: Perímetro experimental de Masquefa. ETSEA. . Universitat de Lleida .Catalunya, Spain. Lleida.

Ramos, M.C. 1999. Rainfall kinetic energy and its relationship to intensity in the Mediterranean climate. Il Nuovo Cimento. 22c.(5):37-50.

Ramos, M.C. 1999. Rainfall kinetic energy and its relationship to intensity in the Mediterranean climate. Il Nuovo Cimento. 22c.(5):37-50.

Ramos, M.C., & J. Porta. 1993. Modelos de Distribución Espacio-temporal de las Lluvias en la zona Mediterránea del Ansoa-Penedes. Influencia en la sostenibilidad de los cultivos de la zona. ICONA. Ecología.7: 47-56.

Ramos, M.C., & J. Porta. 1997. Analysis of design criteria for vineyard terraces in the mediterranean area of North East Spain. Soil Tech.10:155-166.

Ramos, M.C., & J. Porta. 2000. Características erosivas de las lluvias del área mediterránea. Intensidad y energía cinética. Información Tecnológica.7:37-52.

Ramos, M.C., & J. Porta. 1994. Rainfall Intensity and Erosive Potentiality in the NE Spain Mediterranean Area: First results on sustainability of vineyards. Il Nuovo Cimento. 17c. (3): 291-299.

Ramos, M.C., & S. Nacci. 1997. Estabilidad estructural de agregados superficiales en suelos del Ansoa-Penedès (Barcelona) frente al humedecimiento y al impacto de la gota de lluvia. Bol. Soc. Española de la Ciencia del Suelo. 3(1):3-12.

Ramos, M.C.; S. Nacci & I. Pla. 2003. Effect of raindrop impact and its relationship with aggregate stability to different disaggregation forces. Catena. 53:366-376.

Rawson, G.A. 2002. The influence of geology and soil characteristics on the fruit composition of winegrapes (*Vitis vinifera* cv: Shiraz), Hunter Valley, New South Wales - Implications for regionality in the Australian Wine Industry. Ph. D. thesis, University of Newcastle.

Reynier, A. 1995. Manual de Viticultura. Versión española Sotes.; Iglesia; Lisarrague (traduc.) Mundi-Prensa, Madrid.

Richards, D. 1983. The grape root system. Hort. Rev. 5:127-168.

Riou, C. & Carbonneau, A., 1994. Le déterminisme climatique de la maturation du raisin: application au zonage de la teneur en sucre dans la communauté européenne. Ed. Commission des communautés européennes, EUR15863, Luxembourg.

Ritchie, J.T. 1986. Soil water and plant productivity. p.13-28. In: Trans. 13th Int. Congress of Soil Sci. I. Hamburg. Germany.

Ritchie, J.T., D.C. Goodwin, & U. Singh. 1990. Soil and water inputs. In: IBSNAT Symp. Proc. Decision Support System for Agrotechnology Transfer. 31-46. Univ. of Hawaii. USA

Rodríguez, B., A. Martínez, & E. García. 1996. Disponibilidad hídrica en suelos de viñedo de Galicia. Viticultura-Enología Profesional.42:40-50.

Rubio, J.L. 1990. Mecanismos y procesos erosivos en el área mediterránea española. In: Erosión del Suelo en Condiciones Ambientales Mediterráneas. UIMP, Valencia.

Saayman D, 1992. Natural influences and wine quality Part 2. The role of soil. Wynboer, August, 49-51.

Saayman, D. 1977. The effect of soil and climate on wine quality. In: Proc. Int. Sym. Quality of the Vintage. February. Cape Town. South Africa.

Sala, O. E.; Chapin, F. S.; Armesto, J. J.; Berlow, E.; Bloomfield, J.; Dirzo, R.; Huber-Sanwald, E.; Huenneke, L. F.; Jackson, R. B.; Kinzig, A.; Leemans, R.; Lodge, D. M.; Mooney, H. A.; Oesterheld, M.; Poff, N. L.; Sykes, M. T.; Walker, B. H.; Walker, M. y Wall, D. H. 2000. El hábitat mediterráneo continental. Global Biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287:1770-1774.

Seguin G., 1986. Terroirs and pedology of wine growing. *Experientia* 42:861-873. Birkhäuser-Verlag Basel

Seguin, B. & I., Garcia de Cortázar. 2004. Climate warning: consequences for viticulture and the notion of terroirs in Europe. *Acta Horticultura*. 689:61-70

Seguin, G 1983. Influence des terroirs viticoles sur la constitution de la qualité des vendanges. *Bulletin de l'O.I.V.* 56:3-18.

Simota, C., & A. Canarache. 1988. Effects of induced compaction on soil water balance and crop yield estimates with a deterministic simulation model. p. 391-396 In: Proc. 11th. ISTRO Conference. I. Edinburg. UK.

Smart, R.E. 1974. Aspects of water relations of the grapevine (*Vitis vinifera*). *Am. J. Enol. Vitic.* 25:84-91.

Smart, R.E., & B.G. Coombe. 1983. Water relations of the grapevines. In: Water deficits and plant growth. T.T. Kozlowski, (ed.) Vol 7. Academic Press, Inc., New York.

Smart, R.E., & B.G. Coombe. 1983. Water relations of the grapevines. p. 137-196. In T.T. Kozlowski (ed.) Water deficits and plant growth. Vol 7. Academic Press, Inc., New York.

Smith, K.A & C.E. Mullins. 2001. Soil and Environmental Analysis: Physical Methods. Academic Press, Inc., New York.

Sotes Ruiz, V., J.R. Lisarrague, A. Mendiola & E. Escudero. 1987. Effects de irrigation sur l'acoutement des sarments en vignobles cultives en zones seches. *Physiologie de la Vigne*. In: 3th Symposium International sur la Physiologie de la vigne, Bouard & Pouget, (ed.). Office International de la Vigne et du Vin, Paris, France.

-
- Sowers, G. 1965.** Consistency. In: Methods of soil analysis, C.A. Black (ed.). Agronomy. Monograph. N° 9. ASA, Madison, WI.
- Tardie , F.1998.** Analysis of the spatial variability of maiza root density: I. Effect of wheel compaction on the spatial arrangement of roots. Plant Soil.107:259-266.
- Taylor, H.M., & G.S. Brar.1991.** Effect of soil compaction on root development. Soil Tillage Research.19:111-119.
- Uson, A. 1998.** Medidas de control de la erosión en suelos de viña de las comarcas del Anoia-Alt Penedés (Barcelona): Efectividad y viabilidad. Tesis Doctoral. Universitat de Lleida. Catalunya, Spain.
- Valentin, C. 1989a.** Surface crusting runoff and erosion on steepland and coarse material. IBSRAM.Tech .Notes. 3:285-312
- Valentin, C. 1989b.** Soil structure and rooting. In Asialand Workshop on the Establishment of Soil Management Experiment on Sloping Lands. IBSRAM.Tech. Notes. 3:253-272
- Valladares, F. 2004.** El bosque mediterráneo, un sistema antropizado y cambiante. In: Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante, Valladares, F. (ed.). Ministerio de Medio Ambiente.Madrid.
- Van Huyssteen, L.** 1983. Interpretation and use of penetrometer data to describe soil compaction in vineyards. South African Journal of Enology and Viticulture. 4:59-65.
- Van Leeuwen 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 de la Science de la Vigne et du Vin 28 : 81-110.
- Van Leeuwen C., Friant F., Choné X., Tregoat O., Koundouras S. and Dubourdieu D., 2004.** Influence of Climate, Soil and Cultivar on Terroir. Am. J. Enol. Vitic. 55(3):207-217.
- Van Leeuwen, C., Baudet, D., Duteau, J., Seguin, G. & Wilbert, J., 1989.** Les sols viticoles et leur répartition à Saint-Emilion, Pomerol et quelques autres communes du Libournais, Connaissance de la Vigne et du Vin 23:131-150
- Vaudour E., 2003.** Les terroirs viticoles. Définitions, caractérisation et protection. Éditions La Vigne – DUNOD, Paris.
- Veen, B.W., & F.R Boone. 1990.** The influence of mechanical resistance and soil water on the growth of seminal roots of maize. Soil Tillage Res.16:219-226.

Williams,L., & M. Matthews.1990. Grapevine.ASA-CSSA-SSSA. Agronomy Monograph. 30:1019-1055. Madison WI.