

# VARIABILIDAD DE LOS PROCESOS DE GENERACIÓN DE ESCORRENTÍA EN LADERAS BAJO CONDICIONES MEDITERRÁNEAS

RUIZ SINOGA, J.D.; GALLEGOS REINA, A.; DELGADO PEÑA, J.J.; NOGUERA ROBLES, M.J.; ROMERO LOPERA, A.; MARQUEZ CARRERO, J.; LUCAS SANTAMARÍA, B.; MARTINEZ MURILLO, J. F.

## RESUMEN

Dentro de los estudios relacionados con el análisis de los procesos de generación de escorrentía/infiltración, es el área mediterránea una zona de especial interés, especialmente porque en ella los modelos clásicos de generación de escorrentía se presentan de forma combinada. En la presente investigación, analizamos el posible comportamiento hidrológico de dos laderas con diferente gradiente pluviométrico. En ellas, mediante un exhaustivo análisis de la vegetación y de las características de los suelos, determinamos cual podría ser su comportamiento hidrológico atendiendo a dos tipos de parámetros diferentes; de un lado, lo que podríamos denominar un modelo hidrodinámico, basado en los modelos hortoniano discontinuo o mixto (Calvo Cases, A. 2003), (Lavee et al. 1998), y de otro, en los cálculos hidrológicos usados habitualmente dentro del ámbito de la ingeniería civil. Los resultados obtenidos nos evidencian comportamientos mas extremos atendiendo a circunstancias contempladas desde el punto de vista hidrológico, y un comportamiento mas adecuado desde el punto de vista geomorfológico atendiendo a la hidrodinámica de las laderas. En todo ello, el patrón de la vegetación, su disposición, así como la integración con las características edafológicas sobre las que se produce la precipitación, ejercen un papel clave.

## ABSTRACT

In the mediterranean conditions the classic models are not available for to explain the runoff/runon processes. The Mediterranean area is a zone of special interest, because in which the classical models of generation of runoff are presenting of form combined. In this research, we analyse the possible hydrologic behavior of two slopes with different pluviometric gradient. In which, by means of an exhaustive analysis of vegetation and the soil characteristics, we determine which could be its hydrologic behaviour attending to two types of different parameters; on the one hand, we could call hydrodynamic model, its based in the mixed and discontinue Horton models (Calvo Cases, A. 2003), (Lavee et al. 1998), and the other hand, hydrological used in the civil engineering. According to hydrologic the results are very extremes, and a good behaviour to attending the slope hydrodynamic. Such, the vegetation pattern, its disposition, and the integration with edafological characteristics about its rainfall, has an important role.

## 1. HIPOTESIS INICIALES. MECANISMOS DE GENERACIÓN DE ESCORRENTÍA EN LADERAS

Dentro de los estudios relacionados con la hidrodinámica de laderas bajo condiciones mediterráneas, la **variabilidad** de flujos así como la **discontinuidad** de los mismos intra ladera, unido a las diferencias entre laderas similares situadas a lo largo de un gradiente pluviométrico, constituye el análisis de los procesos de escorrentía un tema de especial interés por las connotaciones que sobre el sistema ecogeomorfológico posee.

De una parte, porque dada la tendencia hacia la aridificación ya demostrada por diversos autores, abordar procesos similares a lo largo de un **gradiente pluviométrico** constituye un buen método de trabajo a fin de determinar ulteriores comportamientos del sistema. Especialmente, al considerar un agente modelador del mismo como es el agua.

De otra parte, porque la hidrodinámica de laderas es un tema de especial interés en ambientes mediterráneos, debido a la gran **variabilidad espacio-temporal** de la misma, unido al importante papel que ejerce la cubierta vegetal en el control de los mecanismos de generación de escorrentía, todo ello en relación al mejor conocimiento y control de los procesos de avenida.

Por último, porque son los procesos de **erosión hídrica** el principal problema medioambiental que posee gran parte de la vertiente mediterránea española.

La investigación que presentamos en el presente artículo pretende:

- Profundizar en el comportamiento hidrológico de laderas, mediante la determinación de áreas escurridoras/infiltradoras, comparando a 3 de ellas, situadas en los términos municipales de Almogía, Albuñol y Berja, con orientaciones, litología, longitud y pendiente similares.
- Analizar la evolución temporal de la dinámica hidrológica de las laderas en la transición desde suelo seco a suelo saturado.
- Determinar la influencia del patrón de vegetación en los procesos de conectividad de flujo a lo largo de cada una de las mismas.

Para abordar tal problemática, hemos de partir del análisis del concepto de escorrentía. El caudal que recorre la red de drenaje de una cuenca hasta la desembocadura, es el resultado de la concentración organizada del flujo superficial y subsuperficial del agua circulante a lo largo de una serie de laderas, en cauces. Este agua que circula por la ladera se denomina **escorrentía**, cuya modalidad atenderá a un determinado modelo dependiendo de las características del sistema ecogeomorfológico de la misma. Se trata por tanto, de un proceso fundamental en el conjunto del ciclo hidrológico dado que alimenta a las

redes de drenaje y controla un apartado muy importante en la dinámica de los procesos erosivos, derivados de la acción del agua como agente degradacional.

Una vez que llega el agua de la precipitación a la superficie de ladera, desde el punto de vista hidrológico pueden producirse dos actuaciones que varían en tiempo e intensidad.

De un lado, una **escorrentía** inmediatamente posterior al evento lluvioso o durante el mismo, que comienza a circular a lo largo de la ladera. Tal escorrentía es debida a que la capacidad de infiltración del suelo es inferior a la carga hidráulica aportada por la precipitación, e indudablemente, puede verse incrementada con la longitud y grado de la pendiente. Asimismo, puede variar en el tiempo, de tal manera que el flujo superficial no necesariamente debe activarse con el inicio de la precipitación, sino que debido a diversos factores, la incorporación de dicho flujo puede sufrir retardos tanto generales como espaciales. Esta es una circunstancia clave a la hora de la determinación de caudales, y especialmente en condiciones mediterráneas, de caudales de avenida.

De otro, la **infiltración** a través del suelo que genera un flujo subsuperficial más lento que la anterior (Ward y Robinson, 2000). Diversas propiedades fisicoquímicas e hidrológicas, así como el estado en el que se encuentre el mismo en el momento de la precipitación, influirán en la capacidad de absorción hídrica por parte del suelo.

En aras a un mejor conocimiento de tal proceso se han elaborado toda una serie de modelos que explicaban su generación, de entre los cuales destacan dos: el modelo de flujo superficial de Horton y el modelo de flujo subsuperficial o escorrentía por exceso de saturación.

Por un lado, el **modelo de Horton** (1945) o de flujo superficial considera una lámina de agua cuyo espesor aumenta vertiente abajo; la lámina de agua aparece cuando la intensidad de la precipitación supera a la capacidad de infiltración del suelo. Distingue tres zonas en la ladera: una superior sin erosión, la intermedia con erosión activa, y otra inferior donde existe sedimentación de los finos arrastrados por las aguas ladera abajo. Parece predominar en climas áridos y semiáridos (suelos poco profundos) y durante las crecidas (de Pedraza, 1996).

Por otro, el **modelo de Hewlett** de flujo subsuperficial o escorrentía por exceso de saturación considera que en la parte superior de la ladera, y debido a contrastes de permeabilidad, existe un interflujo inicialmente oblicuo (por infiltración) y luego paralelo a la superficie según el gradiente del terreno. Esto supone que el agua se concentre y exfiltre en la parte inferior de la ladera, provocando su saturación, a la que habrá que unir la escorrentía superficial generada en esa zona por incapacidad de infiltración. Frente al anterior, éste sucede en climas templado-húmedos y suelos de cierto espesor (de Pedraza, 1996).

Diversos autores coinciden que ninguno de los dos se produce exactamente bajo condiciones mediterráneas, dada su ubicación entre los climas áridos tropicales secos y los templado húmedos, de forma que la variabilidad a lo largo de un gradiente pluviométrico dentro del mismo es amplia, pudiendo observar paisajes muy diferentes, por variaciones en el régimen pluviométrico, oscilando entre aquéllos con precipitaciones que superan los 800 y 1000 mm anuales, a los más áridos del desierto, con menos de 200 e incluso 100 mm al año, pasando por toda una gama de paisajes que oscilan en el intervalo de 300/400 a 600/700 mm anuales.

A priori, podemos pensar que en este transecto, no es posible que la escorrentía se origine de igual forma en cualquier punto del mismo, atendiendo a un modelo único, puesto que la variabilidad climática implica la variabilidad en los factores bióticos y abióticos que podrían influir en toda la dinámica hidrológica.

Esto nos lleva a concluir que la generación de la escorrentía, está obviamente relacionada con el estado en el que se encuentra el **sistema ecogeomorfológico**, y de la diferente incidencia de los elementos bióticos y abióticos en el mismo. A su vez, este sistema variaría en función del régimen pluviométrico que le afecte.

Por tanto, el modelo de generación de escorrentía en el medio mediterráneo no respondería exactamente ni al de Horton ni al de Hewlett, sino que se trataría de una situación en la cual, por la configuración de los factores bióticos o abióticos de la ladera, por el patrón de vegetación en la misma, dicha generación de escorrentía atendería a un **modelo mixto** de áreas infiltradoras / contribuyentes, **hortoniano discontinuo**, como plantea Calvo Cases, o como también se acepta en la literatura geomorfológica: *accepting/contributing areas, o source/sink areas*.

Desde el punto de vista científico, (Yair y Klein, 1973; Yair, 1983; Yair y Lavee, 1985; Yair y Enzel, 1987; Lavee et al. 1998) queda demostrado que desde el punto de vista hidrológico, las laderas mediterráneas actúan como un **mosaico desordenado** en el que se suceden áreas infiltradoras y escurridoras, con gran dependencia de la morfometría de laderas, de la litología, de los procesos edafogenéticos, así como de los usos del suelo. Todo ello, conduce a plantear el tema de la **conectividad hidrológica** a lo largo de la ladera, precisamente debido a la existencia de diferencias locales en cuanto a la capacidad de infiltración de los suelos. Además, el agua interceptada por la vegetación se mueve no solo a través sino también bajo la misma atendiendo a trayectorias preferenciales, con lo que se establece en profundidad un modelo no uniforme de redistribución de la infiltración. (Bergkamp et al., 1996).

Las investigaciones realizadas sobre la distribución espacial de la humedad del suelo a escala de cuenca (Coronato y Bertiller, 1997; Western et al.,

1998; Fitzjohn et al., 1998) han ofrecido una información interesante sobre la variabilidad de la distribución de la humedad del suelo, como resultado de las características hidrológicas de los suelos y los potenciales de infiltración/escorrentía.

Suelos escasos y degradados con bajas capacidades de retención de agua aparecen como áreas potenciales de generación de escorrentía, mientras que otros mas profundos pueden conservar una mayor cantidad de agua en el suelo, y comportarse como áreas infiltradoras. Sin duda, en todo ello, tiene una gran incidencia el **patrón de vegetación**.

Cuando la vegetación, especialmente la vegetación natural, el matorral, se distribuye a lo largo de la ladera atendiendo a criterios de cierta homogeneidad, existe una sucesión de áreas infiltradoras/escurridoras, que pueden generar un cierto equilibrio en el movimiento de agua y sedimentos en la misma, sin embargo, cuando este atiende a criterios mas anárquicos, ni existe capacidad de retención suficiente ya sea de sólidos o líquidos por parte de la vegetación.

Lavee et al. (1998) explican, que la diferencia es marcada por los factores que controlan la generación de escorrentía. En condiciones húmedas, los **factores bióticos** son los responsables de la generación de escorrentía, mientras que en condiciones áridas y semiáridas son los **factores abióticos** los que ejercen el control. La otra diferencia grande se relaciona con el tamaño o la escala de los individuos generadores de escorrentía, de tal modo que si en condiciones áridas o semiáridas el área contribuyente es grande, cuando estas llegan a ser mas húmedas se va reduciendo considerablemente. A veces, ambos mecanismos de generación de escorrentía aparecen combinados en la misma cuenca, ladera o evento pluviométrico. (Llorens *et al.*, 1992; Gallart *et al.*, 1994; Gallart *et al.*, 1997; Martínez-Mena *et al.*, 1998; Boix Fayos, 1999).

Martínez-Mena et al. (1998) identifican dos mecanismos de generación de escorrentía dentro de la misma cuenca. **Escorrentía por exceso de infiltración** en suelos con el contenido bajo de carbón orgánico (< 0,5%) y baja capacidad de infiltración (< 5 mmh<sup>-1</sup>), mientras que **escorrentía por saturación** aparece en suelos con el alto contenido de carbon orgánico(> 2 %), alta capacidad de infiltración (> 8 mmh<sup>-1</sup>) y la cubierta densa de la vegetación (>50%). La saturación de la superficie del suelo es la causa de la generación de escorrentía en tormentas de intensidad reducida.

En esta línea, Puigdefabregas et al. (1998;1999) plantean que en condiciones áridas mediterráneas y en suelos esquistosos aparecen dos mecanismos principales de generación de escorrentía relacionados con la saturación de diversas capas del suelo. El primero, tras la saturación de la capa más superficial del suelo después del inicio de la precipitación. Esto desaparece una vez que se incrementa el perfil de humectación del suelo y se genera conexión con

capas inferiores. El segundo mecanismo requiere la existencia de una continuidad en horizontes subsuperficiales de un contenido hídrico próximo a la saturación. Puede suceder en áreas donde la permeabilidad disminuye con profundidad del suelo. Este mecanismo proporciona una saturación duradera de la capa subsuperficial del suelo.

Calvo Cases (2003), identifica los dos mecanismos clásicos de generación de escorrentía, por exceso de infiltración y saturación respectivamente. Cuando los suelos están secos, solo se genera escorrentía si su nivel de degradación es alto, sin embargo esta se reinfiltra conectando con la vegetación ladera abajo, dadas sus mayores tasas de infiltración. Cuando los suelos están húmedos, aparecen tasas más altas de escorrentía, aunque no se produzca la saturación del perfil. Esta escorrentía no tiene porque ser continua en el espacio y suelen aparecer también reinfiltraciones en los patches contiguos, en ambos casos podríamos denominarla **escorrentía hortoniana discontinua**.

En definitiva, ante condiciones climatológicas más húmedas se generan procesos de escorrentía hortonianos o por saturación de la capa superior del suelo, siempre discontinua en el espacio y con reducción de las áreas emisoras. Por el contrario, condiciones climatológicas más áridas producen un aumento del tamaño de las áreas generadoras siendo la escorrentía el resultado del exceso de infiltración con discontinuidad espaciotemporal.

## 2. METODOLOGÍA

Para la determinación de la variabilidad espacio-temporal de los procesos de generación de escorrentía, escogimos 2 laderas situadas en la cuenca sur y dentro de un gradiente pluviométrico, que va desde los 600 mm de mediana de precipitación media anual de Almogía (Málaga), a los 430 mm de Albuñol.

En cada una de ellas determinamos una parcela experimental abierta de 5 mts de ancho por la longitud de la misma y dicha parcela fue fotografiada con una cámara digital desde una estructura metálica a 4,50 mts de altura. Obtuvimos fotografías de alta resolución idóneas para llevar a cabo la fotointerpretación y digitalización de las mismas.

La fotointerpretación fue realizada atendiendo a las características hidrológicas de los suelos y usos del mismo, considerando su comportamiento hidrológico inicial, es decir, con suelo seco, y la supuesta evolución del mismo en diferentes estados de potencial hídrico.

**TABLA 1**  
**Teórico comportamiento hidrológico a distintos potenciales de humedad del suelo**

	Infiltrabilidad (pF 4,2) (punto de marchitez)	Infiltrabilidad (pF 2,5) (capacidad de campo)	Infiltrabilidad (pF 1) (próximo a la saturación)
suelo desnudo, menos 25% pedregosidad, con plantas anuales	<i>Media</i>	<i>Media</i>	<i>Media</i>
suelo desnudo, menos 25% pedregosidad, sin costras	<i>Media</i>	<i>Media</i>	<i>Escasa</i>
suelo desnudo, menos 25% pedregosidad, con rocas embebidas, sin costras	<i>Media</i>	<i>Media</i>	<i>Escasa</i>
suelo desnudo, menos 25% pedregosidad, con costras	<i>Escasa</i>	<i>Media</i>	<i>Escasa</i>
suelo desnudo, menos 25% pedregosidad, con rocas embebidas y costras	<i>Escasa</i>	<i>Escasa</i>	<i>Escasa</i>
suelo desnudo, 25-70% pedregosidad, con plantas anuales	<i>Media</i>	<i>Media</i>	<i>Media</i>
suelo desnudo, 25-70% pedregosidad, sin costras	<i>Media</i>	<i>Media</i>	<i>Escasa</i>
suelo desnudo, 25-70% pedregosidad, con costras	<i>Escasa</i>	<i>Media</i>	<i>Escasa</i>
suelo desnudo, 25-70% pedregosidad, con rocas embebidas, sin costras	<i>Escasa</i>	<i>Escasa</i>	<i>Escasa</i>
suelo desnudo, 25-70% pedregosidad, con rocas embebidas y costras	<i>Escasa</i>	<i>Escasa</i>	<i>Escasa</i>
suelo desnudo, más del 70% pedregosidad	<i>Media</i>	<i>Media</i>	<i>Escasa</i>
suelo desnudo, más del 70% pedregosidad, con rocas embebidas	<i>Escasa</i>	<i>Escasa</i>	<i>Nula</i>
afloramientos rocosos	<i>Nula</i>	<i>Nula</i>	<i>Nula</i>
vegetación arbórea	<i>muy alta</i>	<i>Muy alta</i>	<i>Alta</i>
vegetación de matorral de alta densidad	<i>muy alta</i>	<i>Muy alta</i>	<i>Media</i>
vegetación de matorral de baja densidad	<i>Alta</i>	<i>Alta</i>	<i>Media</i>
vegetación anual	<i>Alta</i>	<i>Alta</i>	<i>Media</i>
vegetación con plantas muertas, conectadas con el suelo	<i>Media</i>	<i>Media</i>	<i>Media</i>

Para ello hemos establecido 3 grupos hidrológicos:

1. Areas sin infiltración. Se trata fundamentalmente de afloramientos rocosos, que ni en el inicio ni durante la precipitación poseen condiciones favorables a la infiltrabilidad.
2. Areas con infiltración alta. Son zonas con vegetación que desde el inicio de la precipitación ejercen un importante papel desde el punto de vista hidrológico, logrando diferentes tasas de transferencia hacia horizontes subsuperficiales. Dentro de estas áreas, hemos otorgado el máximo grado de infiltrabilidad a la vegetación arborea, debido a su papel retenedor, y el mínimo grado a las plantas anuales agostadas pero conectadas radicalmente con el suelo. En cualquier caso, hemos considerado que con la evolución de la precipitación y por consiguiente, con

el tránsito hacia la saturación del suelo, los niveles de infiltrabilidad pueden reducirse, sin llegar a ser escasa o nula.

3. Áreas de infiltración variable. Se trata de suelo con diferente grado de pedregosidad, cuyas condiciones hidrológicas variaran durante el evento pluviométrico, tendiendo hacia la saturación de los mismos. Dentro de este orden hemos de mencionar varios supuestos. Los relacionados con los suelos encostrados, con rocas embebidas, y con plantas anuales.

En cualquiera de los casos, las condiciones para la infiltración variaran a lo largo del evento pluviométrico, y consecuentemente su comportamiento hidrológico.

Una vez definidas tales áreas, pasamos a determinar la clase hidrológica de cada una de ellas, es decir, su comportamiento hidrológico ante una precipitación establecida. Para ello, hemos utilizado el método del Número de Curva del SCS. Con ello, hemos calculado la escorrentía generada por una precipitación de 60 l/m<sup>2</sup> durante una hora de duración.

Una vez que disponíamos de toda la información teórica de partida, el siguiente paso fue su integración en un GIS para realizar un análisis espacial y posteriormente un tratamiento estadístico.

Las fotografías de las distintas laderas fueron introducidas y rectificadas, para seguidamente digitalizar encima, asignando un nivel a cada polígono de suelo o vegetación, según los grupos arriba citados (ver tabla). Posteriormente se exportó esta información al GIS ArcView 3.2, en el cual se completó la base de datos con la siguiente información para cada individuo de suelo o vegetación: nivel; superficie; suelo/vegetación; infiltrabilidad para pF 4.2, 2.5 y 1; e infiltrabilidad según método del número de curva para suelo seco, húmedo y próximo a la saturación.

Así, las laderas se clasificaron atendiendo a la infiltración según ambos métodos teóricos (pF y número de curva) y se representaron en los *layouts* correspondientes a las figuras. Igualmente, se obtuvieron determinadas estadísticas con las herramientas *summarize* y *statistics* de ArcView. Para un análisis estadístico más pormenorizado, se exportaron las tablas de datos a Excel.

En resumen, hemos transformado una situación real en un modelo teórico, según el cual cada individuo de suelo o vegetación se convierte a unidades hidrológicas, que posteriormente nos permiten conocer la variabilidad espacial y temporal, de la infiltración/escorrentía tanto intraladera como a lo largo del citado gradiente pluviométrico.

- *Variabilidad temporal: considerando tres momentos de la curva de humectación de una ladera: ladera seca o en 'punto de marchitez', ladera húmeda o en 'capacidad de campo' y ladera próxima a la saturación.*

- *Variabilidad espacial: dividiendo cada ladera en polígonos o individuos de suelo y vegetación según su comportamiento hidrológico. Esta división se clasifica en cinco tipos según su capacidad de infiltración (valores 1 a 5), y luego se reagrupan en los tres siguientes: áreas infiltradoras, áreas escurridoras y áreas de infiltración variable o sink/source.*

No obstante, presuponer un comportamiento teórico partiendo de laderas reales nos exigía un adecuado conocimiento de las características hidrológicas de esas laderas. Es decir, aún considerando el mismo tipo de vegetación y el mismo gradiente pluviométrico, no se comportará de igual modo la escorrentía en dos laderas que poseen diferente pendiente o cuyo reparto de la vegetación sigue patrones diferentes.

Así, con las distintas herramientas de que disponemos, hemos realizado un análisis de la morfometría y la conectividad de flujo de las tres laderas.

En cuanto a la morfometría, hemos realizado un levantamiento topográfico que luego ha sido analizado mediante AutoCad 2000, de modo que obtuvimos un perfil de cada ladera, con la inclinación correspondiente a cada parcela de la ladera. En función de la mayor o menor inclinación de cada parcela, era de suponer que se favorecería o no la recarga del suelo. Esto es, inclinaciones inferiores a 15° (33%) ralentizan la circulación de la escorrentía, permitiendo la infiltración; mientras que inclinaciones superiores a los 30° (66%) favorecen la escorrentía.

Atendiendo a la conectividad hidrológica, el análisis resultaba menos directo, y por ello ha sido más complicado. La mayor o menor regularidad del patrón de vegetación había de ser tenida en cuenta de algún modo, para conocer el equilibrio en el flujo del agua a lo largo de la ladera, puesto que a mayor irregularidad mayor será la anarquía del flujo y por tanto menor la capacidad de retención de escorrentía por la vegetación. Los parámetros usados para este análisis han sido dos: la superficie media de los individuos de vegetación y la distancia media a lo largo de la ladera de cada individuo de vegetación al más cercano. Conocer la superficie media apenas requería una media aritmética. En cuanto a la distancia media, usando ArcView hemos convertido cada individuo de vegetación en un *centroide* (centro de polígono) y le hemos calculado sus coordenadas x e y. A continuación se ha realizado una matriz en Excel donde cruzamos todos los centroides, de modo que por medio del Teorema de Pitágoras calculamos la distancia de cada individuo a todos los demás de la ladera, quedándonos con la menor de estas distancias, es decir, la distancia al más cercano. Una media aritmética de todos los resultados dará la distancia media entre individuos vecinos.

Aún más interesante que los datos de superficie media y distancia media resulta la 'desviación estándar' de tales series de datos, o mejor aún el 'coefi-

ciento de variación', que nos permite realizar una comparativa de los datos de las tres laderas no obstante de sus distintas superficies. Esta desviación estándar o el coeficiente de variación son quienes realmente nos indican la regularidad/irregularidad del patrón de vegetación para cada una de las laderas.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la determinación de las hipótesis planteadas hemos estudiado dos laderas situadas en las provincias de Málaga y Granada, y concretamente en los términos municipales de Almogía y Albuñol. Se trata de dos laderas de orientación, longitud y litología similares, en donde una recibe una precipitación anual de 600 mm. (Almogía) y la otra 400 mm. (Albuñol).

En cada una de ellas, hemos tratado de establecer cual es la disponibilidad en cuanto a mecanismos de generación de escorrentía/infiltración en función de las características superficiales relacionadas con la vegetación, el suelo, y las condiciones del mismo. Como ya ha sido señalado con anterioridad, el enfoque se ha realizado atendiendo a lo que hemos denominado una aproximación hidrológica y otra hidrodinámica.

Desde el punto de vista de la vegetación, la ladera de Almogía está mas vegetada (46,9%), que la de Albuñol, (29,05%), siendo la superficie restante, suelo desnudo con diferente grado de pedregosidad, y el número de individuos así como la superficie media de los mismos es también superior. No obstante, el coeficiente de variación en Almogía nos indica la presencia de una mayor heterogeneidad.

Ambas localizaciones, Almogía y Albuñol, presentan una diferencia importante en la pluviometría media anual, que en el primer caso asciende a 600 mm., mientras que en el segundo no sobrepasa los 400 mm. Este gradiente debe tener su reflejo en la cubierta vegetal, lo que influirá a su vez en la dinámica hidrológica de las laderas, y en especial en los procesos de generación de escorrentía. Así, la presencia de vegetación es más importante en Almogía, con un total de 495 individuos que ocupan un 46,9 % de la superficie total frente a Albuñol, que con 304 individuos, queda cubierta un 29,05 % de su superficie.

Por otro lado, la composición florística y estructura de la vegetación también difiere notablemente entre ambas parcelas. En Almogía predominan el *Cistus albidus*, *Helychrisum stoechas*, *Ulex parviflorus* y *Lavandula stoechas*, mientras que en Albuñol los protagonistas son *Genista umbellata*, *Thymus mastichina* y *Stipa tenacissima*. En ambas vemos una estructura alternante de teselas de vegetación arbustiva, a modo de rodales, encuadradas en una matriz de teselas desnudas de alta pedregosidad y teselas de abundante vegetación herbácea de carácter anual, aunque este complejo mosaico de teselas de mato-

rral, teselas de anuales y teselas de suelo desnudo es más evidente en la ladera de Albuñol que en la de Almogía.

Además, y haciendo un análisis de mayor detalle, comprobamos como esta microestructura en mosaico que rige el patrón de vegetación es bastante diferente en ambos casos. De un lado, en Almogía predomina la "vegetación de baja densidad" (que ocupa un 33,42 % del total de la superficie), seguido por el "suelo desnudo con una pedregosidad del 25-70 %" (15,32 %), el "suelo desnudo con pedregosidad inferior al 25 %" (12,84 %), el "suelo con un 25-70 % de pedregosidad y plantas anuales" (10,26%) y "suelo con menos de 25 % de pedregosidad y plantas anuales" (8,27 %). Por otro, Albuñol presenta un predominio del "suelo del suelo desnudo con una pedregosidad del 25-70 %" (39,63 % de la superficie total), "vegetación de baja densidad" (18,33 %), "suelo con una pedregosidad del 25-70 % y plantas anuales" (16,52 %), "suelo desnudo con una pedregosidad superior al 70 %" (10,74 %) y "vegetación de alta densidad" (9,31 %). A través de estos datos se refuerza el carácter más contrastado del patrón de la vegetación de la ladera de Albuñol, con una vegetación más limitada a rodales embuidos en una matriz de suelo desnudo con diferentes niveles de pedregosidad, frente a un patrón más regular, menos contrastado, de Almogía, donde existe un mayor equilibrio entre suelo vegetado y suelo desnudo.

Sin embargo, desde el punto de vista hidrológico es fundamental determinar la conectividad entre los mismos. Para ello, y mediante el uso de la metodología ya mencionada hemos establecido la distancia media entre los individuos al objeto de establecer el patrón de vegetación. La distancia media entre individuos es similar en ambas laderas, (1,41 m en Almogía, y 1,39 m en Albuñol), aunque el patrón de vegetación es más regular en la primera, a tenor de los resultados obtenidos en la desviación estándar y el coeficiente de variación.

En cualquiera de los casos, estaríamos ante áreas infiltradoras, y la conectividad entre las mismas dependería de las características de las formaciones superficiales subyacentes.

**CUADRO 1**  
**Tamaño de individuos**

Ladera	Individuos	%		Superficie	Desviación	Coefficiente
		vegetación en la ladera	superficie vegetación	media individuo vegetación	estándar superficie media	de variación superficie media
<i>Albuñol</i>	304	29,05	95,91	0,3155	0,6265	1,99
<i>Almogía</i>	495	46,9	169,11	0,3416	0,7514	2,20

En este caso, las diferencias entre ambas laderas son más evidentes. Los suelos en Albuñol poseen una mayor pedregosidad que en Almogía, lo que indudablemente estará relacionado con su comportamiento hidrológico dependiendo de la vinculación entre dicha pedregosidad y el suelo, es decir, si las piedras están embebidas o no.

**CUADRO 2**  
**Distancia media de individuos**

<b>Ladera</b>	<b>Individuos</b>	<b>Distancia media de cada individuo al más cercano</b>	<b>Desviación estándar distancia media</b>	<b>Coefficiente de variación distancia media</b>
<i>Albuñol</i>	304	1,39	1,38	0,99
<i>Almogía</i>	495	1,41	0,71	0,51

Esta circunstancia es muy importante desde el punto de vista hidrológico, de tal modo que las áreas cuya pedregosidad es embebida y se inserta dentro del suelo, tienen un comportamiento hidrológico más escurridor que aquellas cuya pedregosidad se sitúa encima del suelo.

Bajo estas perspectivas, el 20% de la superficie de Almogía posee suelos cuya pedregosidad es inferior al 25%, mientras que en Albuñol tal tipo de suelos apenas si ocupan el 4%.

Sin embargo, el 35% de la superficie de Almogía posee suelos cuya pedregosidad esta entre el 25-70%, mientras que en Albuñol esta cifra supone mas del 55% de la superficie. Asimismo, los suelos de Albuñol, poseen una mayor superficie de áreas con pedregosidad por encima del 70% que los de Almogía.

**CUADRO 3**  
**Distribución de aprovechamientos**

<b>Tipo</b>	<b>Almogía (%)</b>	<b>Albuñol (%)</b>
Suelo desnudo <25% pedregosidad sin costra (incluidas piedras)	12.84	0
Suelo desnudo <25% pedregosidad con plantas anuales	8.27	3.46
Pedregosidad <25% embebida y sin costra	0.13	0
Suelo 25-70% pedregosidad sin costra	15.34	0
Suelo 25-70% pedregosidad con plantas anuales	10.26	16.52
Suelo 25-70% pedregosidad	0	39.63
Pedregosidad >25 y <70% embebida y sin costra	0.76	0
Suelo desnudo >70% pedregosidad	3.18	10.74
Suelo desnudo >70% pedregosidad embebida	1.99	0.16

**CUADRO 3**  
**Distribución de aprovechamientos**

<b>Tipo</b>	<b>Almogía (%)</b>	<b>Albuñol (%)</b>
Afloramientos rocosos	0.31	0.44
Vegetación de alta densidad	4.34	9.31
Vegetación de baja densidad	33.42	18.33
Vegetación muerta	4.99	1.41
Vegetación anual	4.19	0
<b>Superficie Ladera</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

### 3.1. Disponibilidad hidrodinámica de las laderas

Analizadas ambas laderas, cabe plantear cual puede ser la actitud de las mismas desde el punto de vista hidrodinámico. Para ello, y de acuerdo con la metodología planteada, hemos determinado 3 estados de humedad del suelo, desde suelo seco a próximo a la saturación, a fin de establecer cual puede ser la evolución de dicho comportamiento.

Ante una precipitación continua en un suelo seco, o próximo al estado hidroedafológico que denominamos punto de marchitez, la ladera de Albuñol posee un 40% de su superficie con capacidad para generar escorrentía, mientras que en Almogía, esta superficie es tan solo del 3%, y por el contrario, el área con capacidad de infiltración directa es mayor en Almogía que en Albuñol.

**CUADRO 4**  
**Comportamiento hidrodinámico general**

		<b>pF 1</b>	<b>pF 2,5</b>	<b>pF 4,2</b>
		(próximo saturación)	(capacidad de campo)	(punto de marchitez)
Albuñol	<i>áreas infiltradoras</i>	0,0	27,5	27,5
	<i>áreas sink/source</i>	49,0	71,9	32,3
	<i>áreas escurridoras</i>	51,0	0,6	40,2
Almogía	<i>áreas infiltradoras</i>	0,0	41,9	41,9
	<i>áreas sink/source</i>	65,3	55,0	55,0
	<i>áreas escurridoras</i>	34,4	3,1	3,1

Asimismo, la superficie con rango variable o infiltrabilidad media, que hemos denominado sink/source, son muy superiores en Almogía.

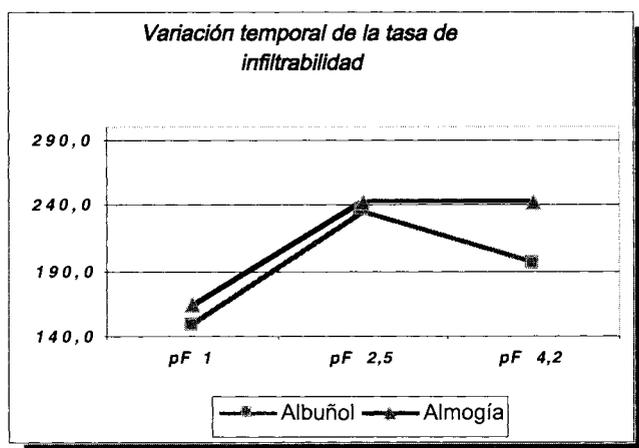
Cuando el suelo está mas húmedo, próximo a lo que denominamos capacidad de campo, el comportamiento de la ladera de Almogía es similar, sin

embargo, se produce un importante cambio en Albuñol, con una reducción considerable de las áreas escurridoras a favor de las mixtas, manteniéndose la superficie de las mixtas.

Por último, cuando el suelo esta próximo a saturación, mientras que las áreas infiltradoras no tienen significación en ambas laderas, las mixtas y las escurridoras adquieren un importante papel.

Por tanto, los cambios en cuanto a mecanismos de generación de escorrentía/infiltración, pueden ser bastante significativos dependiendo del estado hídrico en el que se encuentre el suelo en el momento previo al inicio de la precipitación.

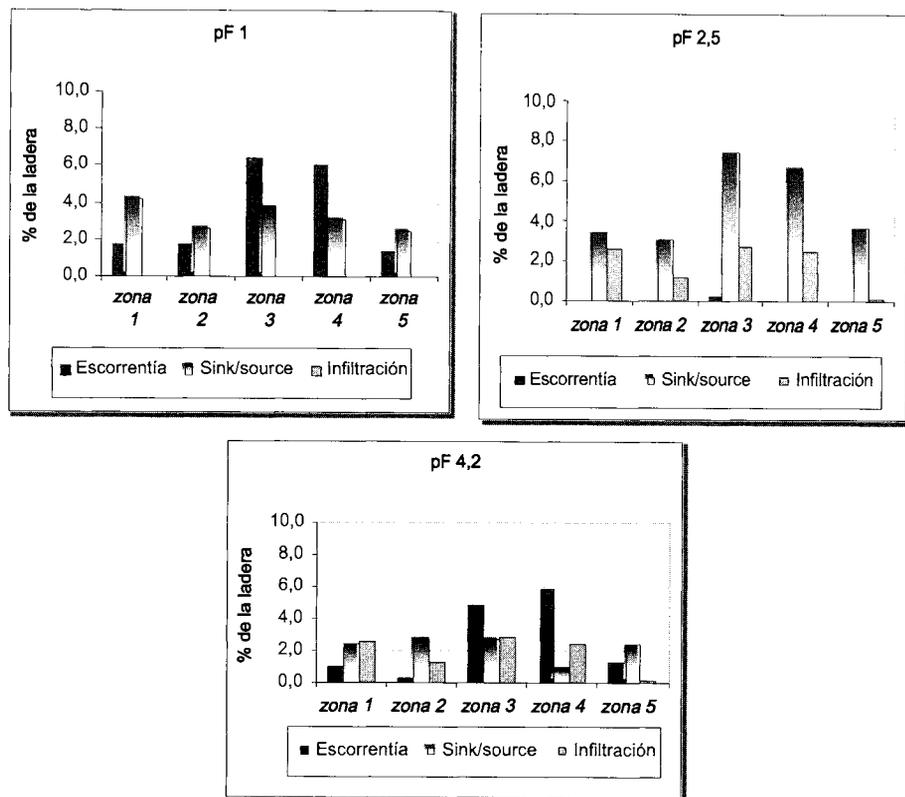
**FIGURA 1**  
**Variación temporal de la tasa de infiltrabilidad**



La aplicación del índice ya mencionado en la metodología, nos evidencia como mientras en Almogía solo decrece su nivel de infiltrabilidad cuando el suelo incrementa su estado hídrico, en Albuñol esta se incrementa con la existencia de cierto grado de humedad del suelo, para decrecer rápidamente cuando dicho nivel se aproxima a saturación.

Sin embargo, dicho comportamiento general no es homogéneo a lo largo de ambas laderas, apareciendo importantes matices intraladera. Para ello, hemos dividido la ladera en 5 zonas iguales, correspondiendo la zona 1 a la más alta en cada una de ellas.

**FIGURA 2**  
**Hidrodinámica intraladera en Albuñol a diferentes potenciales de humedad**

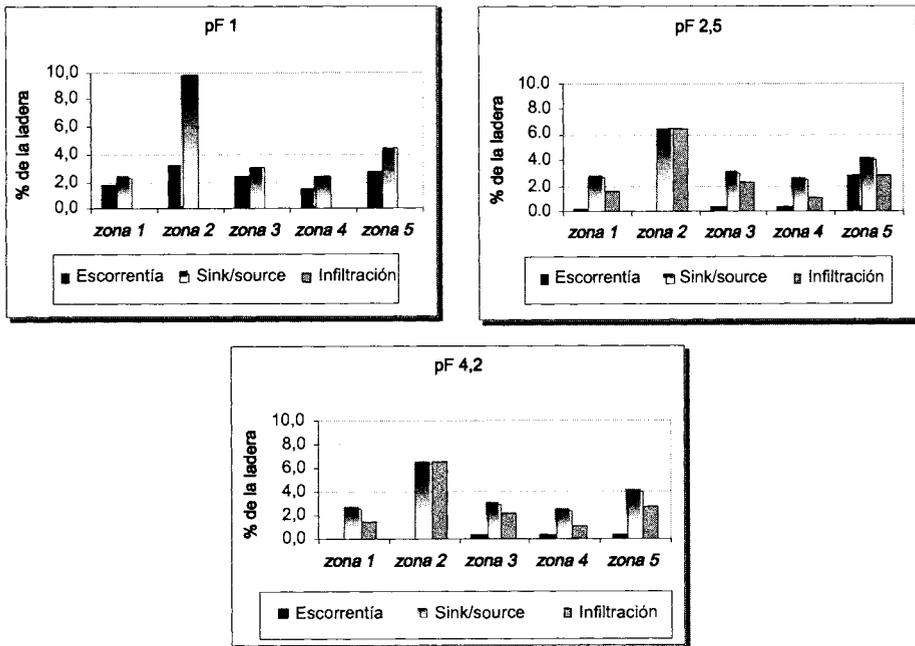


En Albuñol, ante un suelo próximo a la saturación, son las áreas centrales de la ladera, aquellas que generan una mayor escorrentía, mientras que las zonas mixtas se sitúan entre el 2-4% de la superficie de la ladera en cada una de las zonas; circunstancia que también concurre cuando el suelo esta seco, solo que en este caso, las áreas infiltradoras tienen una cierta significación. Sin embargo, cuando el suelo tiene un nivel de humedad medio, apenas si aparecen áreas escurridoras, correspondiendo a las zonas mixtas el principal papel, también en las zonas centrales de la ladera.

En Almogía, cuando el suelo está próximo a la saturación, todas las áreas poseen unos ciertos niveles generadores de escorrentía y aunque bajos, apenas si hay infiltración. Por el contrario, cuando el suelo esta seco, la escorrentía

apenas si tiene significancia, salvo en la zona baja, y el resto de la ladera se comporta como área de infiltración o mixta. Este mismo esquema de comportamiento se reproduce cuando el suelo posee un nivel de humedad medio.

**FIGURA 3**  
**Hidrodinámica intraladera en Almogía a diferentes potenciales de humedad**



Dichos comportamientos se observan perfectamente en los mapas de las laderas que presentamos a continuación. En los mismos, los tonos próximos al color negro se corresponden con áreas de infiltración y los cercanos al blanco con áreas de escorrentía.

De su análisis podemos observar las siguientes circunstancias:

Por un lado, es el patrón de vegetación mucho más denso en Almogía que en Albuñol, con presencia de un mayor número de individuos de tamaño reducido, lo cual estará directamente relacionado con la conectividad hidrodinámica a lo largo de la ladera. Además, dicho patrón de vegetación es mucho más heterogéneo en la ladera de Albuñol.

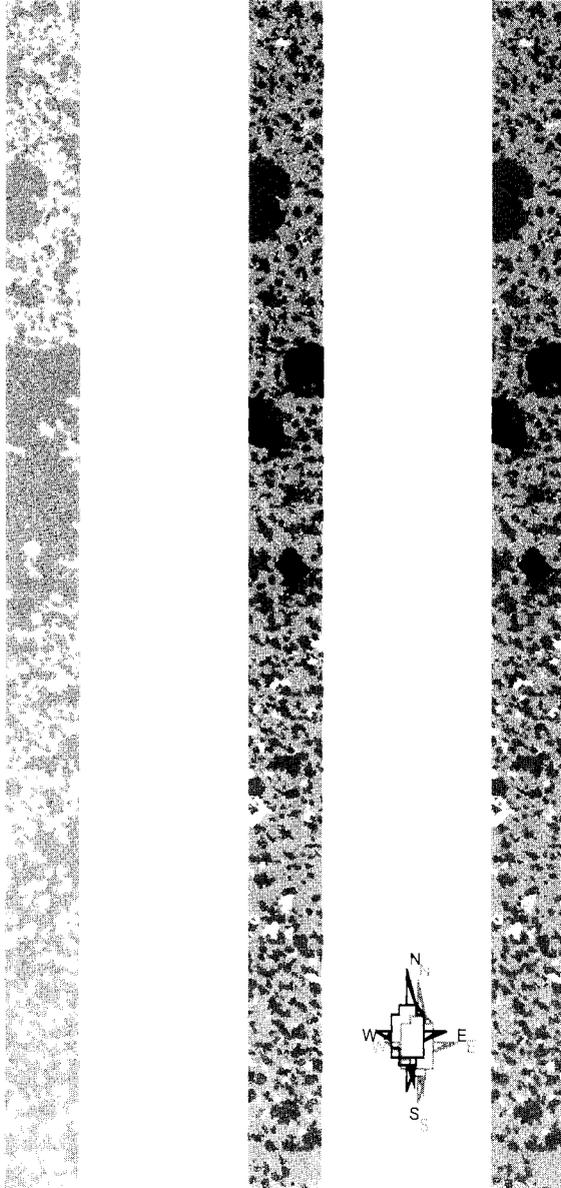
Por otro lado, el comportamiento hidrodinámico de la ladera de Albuñol es más heterogéneo que en Almogía. Esta circunstancia es más apreciable conforme mas seco sea el estado hídrico del suelo.

Ante un estado próximo a la saturación cabe pensar en que es la ladera de Albuñol la que posee una mayor disponibilidad en cuanto a generación de escorrentía, especialmente porque la morfología de las áreas infiltradoras en Almogía, hacen sospechar en la existencia de una mayor discontinuidad hidrológica, y por consiguiente, en la existencia de procesos de reinfiltración a lo largo de la ladera. Dichos procesos de transferencia son diferentes en la ladera de Albuñol, en la que tanto en la parte superior como en la inferior aparece una mayor presencia de biomasa, quedando la mayor parte de la ladera vinculada a procesos de generación de escorrentía, y en la que apenas aparecen rasgos de discontinuidad.

Por el contrario, cuando el suelo está seco, la variabilidad es mucho mayor no solo entre ambas laderas, lo cual ya hemos planteado, sino también, a lo largo de cada una de las mismas. La ladera de Almogía se comporta mas como un área infiltradora en términos generales, y solo unas pequeñas áreas dispersas a lo largo de la misma, y especialmente en la zona baja, obedecen a criterios generadores de escorrentía.

En Albuñol, el comportamiento es absolutamente diferente ante la misma circunstancia. Las 2/5 partes superiores de la ladera se comportan como áreas infiltradoras, mientras que de ahí, hasta la zona baja, la disponibilidad hacia la generación de escorrentía es muy superior, no solo cuantitativamente, sino también considerando la propia distribución de dichas áreas, lo que hace suponer la existencia de procesos de continuidad hidrológica a lo largo de la ladera.

**FIGURA 4**  
**Mapa del comportamiento hidrodinámico de Almogía.**

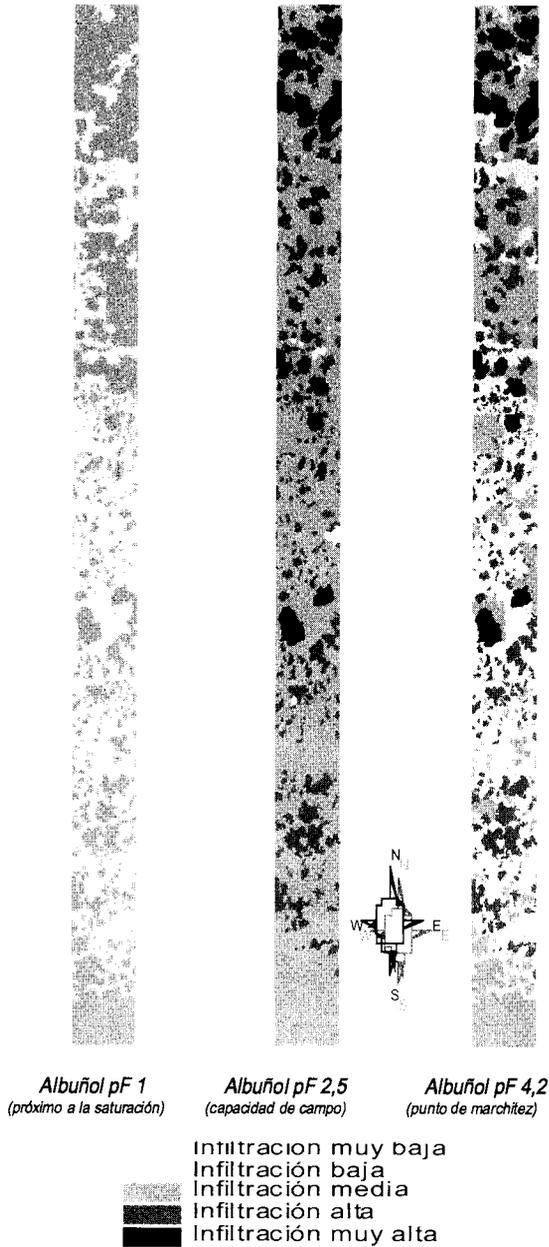


*Almogía pF 1*  
*(próximo a la saturación)*

*Almogía pF 2,5*  
*(capacidad de campo)*

*Almogía pF 4,2*  
*(punto de marchitez)*

**FIGURA 5**  
**Mapa del comportamiento hidrodinámico de Albuñol.**

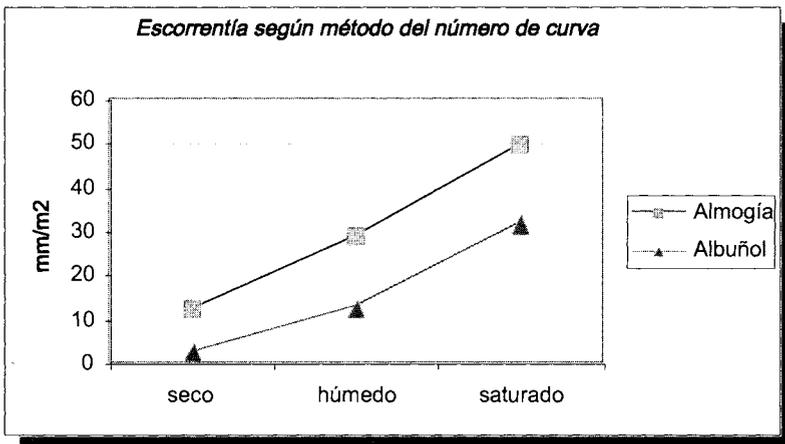


### 3.2. Disponibilidad hidrológica de las laderas

Desde el punto de vista hidrológico para determinar la disponibilidad hídrica de un área se recurre habitualmente al Método del Número de Curva del SCS. Este método establece la precipitación eficaz o exceso de escorrentía en un área, en función de sus características edafológicas, estado hídrico del suelo en el momento de la precipitación, e importancia de los factores bióticos sobre el mismo. (Ruiz Sinoga et al, 2002).

Al objeto de establecer las analogías y contrastes con la metodología propuesta, hemos realizado un supuesto en donde hemos querido determinar cual puede ser el comportamiento hidrológico de las laderas ante una similar precipitación, que hemos definido en 60 mm/m<sup>2</sup>.

**FIGURA 6**  
Estimación de áreas generadoras de escorrentía según el método del número de curva



El objetivo no es tanto establecer la curva de emisión de escorrentía en la ladera, sino la abstracción inicial ( $I_a$ ), y la continuada ( $F_a$ ), como factores determinantes en la infiltración y escurrimiento en las distintas áreas de las laderas. (Ruiz Sinoga et al, 2002).

De acuerdo con este método, y en términos generales cabe mencionar:

- Los procesos de generación de escorrentía están directamente asociados al contenido de humedad del suelo. De tal modo, un suelo seco siempre será más infiltrador que un suelo húmedo.

- Es la ladera de Almogía la que genera un mayor volumen de escorrentía en cualesquiera de las condiciones hídricas del suelo.
- La ladera de Albuñol, ante unas condiciones de suelo seco, se comporta como un área netamente infiltradora, por el contrario, la ladera de Almogía ante condiciones de suelo húmedo, se comporta como un área escurridora.

Si analizamos estos resultados considerando las diferentes áreas definidas en cada una de las laderas, podremos observar algunos cambios en dicho comportamiento general. Si bien todas las áreas definidas ofrecen un comportamiento similar, son las zonas medias y bajas de ambas laderas aquellas que tienen unos mayores índices de escorrentía.

**CUADRO 5**  
**Escorrentía en mm por m<sup>2</sup> según el método hidrológico**  
**(número de curva)**

		Total	zona 1	zona 2	zona 3	zona 4	zona 5
Almogía	seco	<b>12,2</b>	11,8	10,0	14,3	15,3	13,1
	húmedo	<b>28,6</b>	28,3	25,5	31,2	32,6	30,0
	saturado	<b>49,4</b>	49,4	46,7	51,5	52,2	50,9
Albuñol	seco	<b>2,8</b>	1,9	2,5	3,4	2,9	2,9
	húmedo	<b>12,8</b>	9,6	12,5	13,5	13,0	15,6
	saturado	<b>31,6</b>	24,5	32,7	32,1	32,3	38,5

Y es en este punto, donde tendría un importante papel la conectividad hidrológica, puesto que estamos analizando la disponibilidad de un área, ante un evento pluviométrico determinado, hacia la generación de escorrentía, que dependiendo de la morfología y distribución del patrón de vegetación a lo largo de la ladera, tendría o no conexión con las áreas inferiores, con lo que se incrementaría el volumen de agua escurrida a lo largo de la ladera.

En este orden de cosas, si que podemos matizar dicho comportamiento hidrológico. En Almogía, la existencia de un mayor número de individuos, más pequeños, y dispuestos en el sentido de las curvas de nivel, hace sospechar que los mecanismos de conectividad hidrológica en ella se verán seriamente dificultados. Cuando el suelo está seco, las áreas netamente infiltradoras y las menos infiltradoras se suceden prácticamente sin solución de continuidad a lo largo del mosaico que constituye la ladera. Teóricamente, estaríamos ante el dominio de la infiltración.

Cuando el suelo está húmedo, la variedad es mayor, y mientras que la zona media-alta se comporta como un área más infiltradora, la media-baja es lo contrario. Por tanto, y aún obviando los procesos de conectividad hidrológica en esta zona baja, solo media ladera sería contribuyente en cuanto a generación de escorrentía.

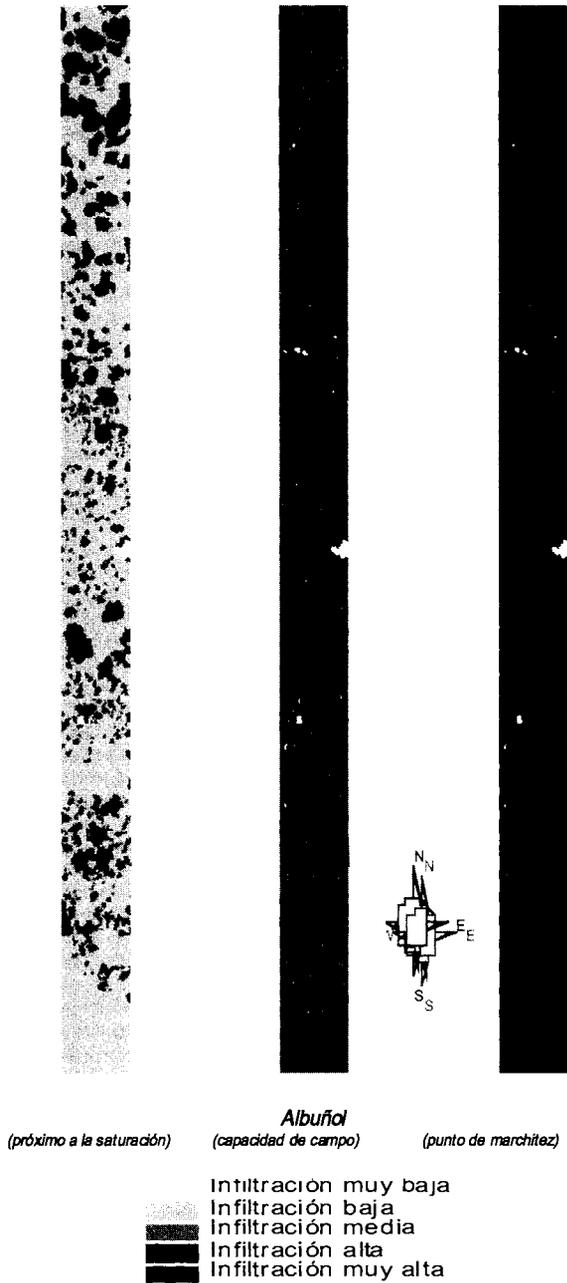
Por último, cuando el suelo se encuentra en un estado próximo a la saturación, prácticamente toda la ladera se comportaría como un área escurridora en mayor o menor medida, con lo que existiría una perfecta conectividad hidrológica entre todas las áreas.

Un similar esquema de comportamiento se reproduce en la ladera de Albuñol, aunque con ciertos matices. Ante un suelo seco, toda la ladera es netamente infiltradora, circunstancia que también acontece cuando el suelo está húmedo, aunque menos espectacular. Sin embargo, cuando el suelo está próximo a la saturación, gran parte de la ladera se conforma como un área escurridora, solo que a diferencia de la ladera de Almogía, es aquí el patrón de vegetación quien puede jugar un extraordinario papel, puesto que la existencia de un menor número de individuos, y su propia disposición a lo largo de la ladera pueden activar los mecanismos de conectividad entre las diferentes partes de la misma, tal y como queda reflejado en el mapa.

**FIGURA 7**  
**Mapa del comportamiento hidrológico de Almogía**



**FIGURA 8**  
**Mapa del comportamiento hidrológico de Albuñol**



#### 4. CONCLUSIONES

Una vez realizado el análisis del comportamiento hidrodinámico de ambas laderas, hemos obtenido las siguientes conclusiones:

##### 4.1. Diferente comportamiento entre laderas dependiendo del método utilizado

Atendiendo a los enfoques considerados, el comportamiento de ambas laderas es muy diferente, teniendo unas opciones más extremas cuando se evalúa tal dinámica en base al método del número de curva. Según este método, cuando la precipitación se produce sobre suelo seco, prácticamente ambas laderas se comportan como áreas infiltradoras. Justamente lo contrario sucede cuando el suelo está próximo a la saturación. Esto supone que hidrológicamente, bien la ladera se comporta como una esponja o bien como un cristal, absorbiendo o emitiendo gran parte del agua que recibe dependiendo del grado de humedad del suelo, que realmente se convierte aquí en el único factor de control.

**CUADRO 6**  
**Comparación áreas infiltradoras/escurridoras**

Infiltración método hidrodinámico			Infiltración método número curva			
pF 4,2 (seco)	pF 2,5 (húmedo)	pF 1 (saturado)	NC seco	NC húmedo	NC saturado	
41,7	41,7	0,0	97,3	46,8	0,0	<i>infiltración</i> ALMOGÍA
54,7	54,7	65,3	2,4	21,1	8,4	<i>sink/source</i>
3,6	3,6	34,7	0,3	32,2	91,6	<i>escorrentía</i>
27,2	27,2	0,0	99,6	99,6	0,0	<i>infiltración</i> ALBUÑOL
33,0	72,2	48,5	0,0	0,0	0,0	<i>sink/source</i>
39,8	0,6	51,5	0,4	0,4	100,0	<i>escorrentía</i>

Según el modelo propuesto, el comportamiento hidrodinámico sería diferente, y desde luego, bastante menos extremo. Así, ante suelo seco, la ladera de Albuñol se comporta como un área emisora (39,8% frente a 3,6%), en gran parte de su superficie, siendo las áreas infiltradoras y mixtas, sensiblemente más reducidas que en Almogía. Cuando el suelo está húmedo, se reduce la capacidad de aportación de escorrentía a favor de las áreas mixtas, mientras que se mantienen las cifras correspondientes a áreas infiltradoras. Por último, con un suelo próximo a la saturación, es mucho más escurridora que Almogía. (51,5% frente a 34,7%).

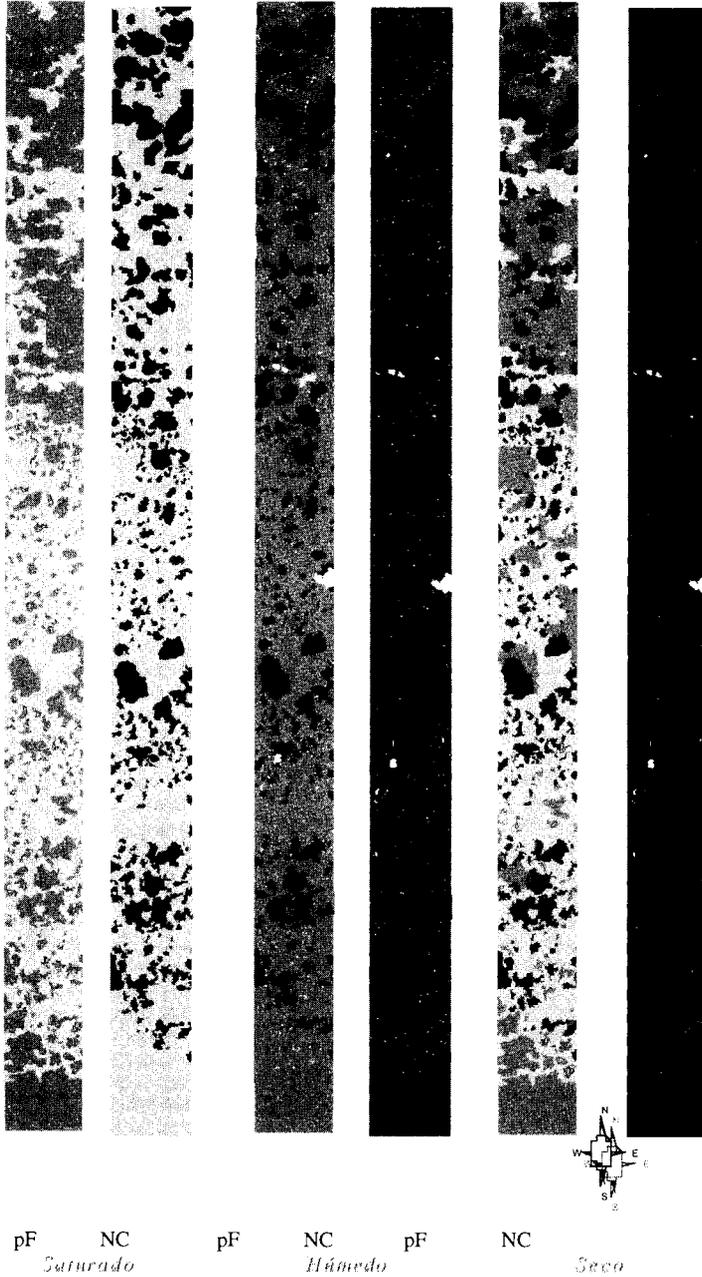
Es decir, y en términos generales, los procesos de generación de escorrentía en cuanto a áreas correspondientes pueden ser mucho más evidentes en Albuñol, con todo lo que ello puede suponer en cuanto a desmantelamiento de suelos, procesos de erosión, y pérdida de capacidad productiva de los mismos.

El mapa de comparación entre ambos métodos resulta bastante representativo, en cada una de las laderas consideradas, y sin duda, dota de un papel más importante a los procesos de conectividad según el método hidrodinámico en relación al hidrológico. Dado que los tonos claros están referidos a áreas escurridoras y los oscuros a infiltradoras, la comparación entre ambos métodos a lo largo de ambas laderas resulta bastante significativa.

**FIGURA 9**  
**Mapa comparativo de áreas escurridoras/infiltradoras con ambos métodos en Almogía.**



**FIGURA 10**  
**Mapa comparativo entre ambos métodos en Albuñol**



## 4.2. Diferente comportamiento intraladera dependiendo de factores bióticos

La distribución de la vegetación, su tamaño, el patrón de la misma y su disposición a lo largo de ambas laderas, todo ello analizado desde el punto de vista hidrológico, ante las diferentes situaciones planteadas, nos evidencian unas distintas razones de conectividad entre ambas laderas, pero también dentro de cada una de ellas.

La existencia de un mayor número de individuos, más pequeños y su disposición en la ladera de Almogía, dotan a esta de un mosaico de vegetación que dificulta los mecanismos de conectividad hidrológica en la misma, lo cual favorece los procesos de infiltración en la misma, y por consiguiente dificulta la existencia de flujos superficiales. Por el contrario, la ladera de Albuñol dada sus características biológicas, se ofrece como más escurridora, especialmente en la zona media-baja.

No obstante, en el presente estudio hemos establecido unos supuestos comportamientos hidrológicos en laderas, en base a 3 situaciones, sin considerar el tiempo real en el que cada una de las mismas puede estar en cada una de ellas.

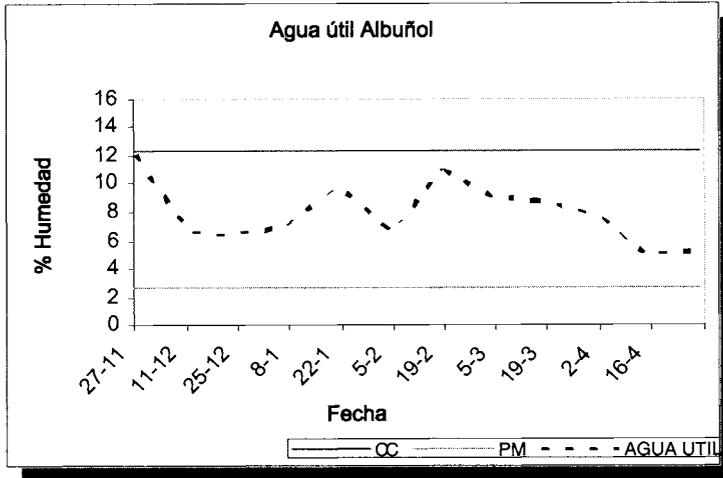
## 4.3. Ajuste del modelo

Para determinar en que medida se pueden ajustar los modelos presentados a la situación real, hemos analizado la curva de humedad de los suelos en ambas laderas desde los meses de Noviembre a Junio (2002-2003), enmarcándolas a su vez, con los datos medios de pF obtenidos mediante análisis de laboratorio, entre el punto de marchitez (PM), y capacidad de campo, (CC). El objetivo era establecer en que medida los suelos se situaban en cada una de las situaciones preestablecidas atendiendo a ambos modelos.

Del análisis de ambas curvas de humedad podemos determinar que:

- La ladera de Albuñol se sitúa durante todo el periodo considerado por encima de lo que hemos determinado como "punto de marchitez", pero asimismo, en ningún momento de las situaciones consideradas en la misma, se llega a rebasar la capacidad de campo. Es decir, la ladera posee siempre un contenido de agua útil, capaz de permitir el mantenimiento de la vegetación, pero desde el punto de vista hidrodinámico se situaría entre las condiciones que hemos determinado como "suelo seco-suelo humedo", sin llegar en ningún caso a rebasar esta situación. Por otra parte, en ningún momento dentro del periodo considerado se contempla la posibilidad de una precipitación incidente sobre suelo saturado.

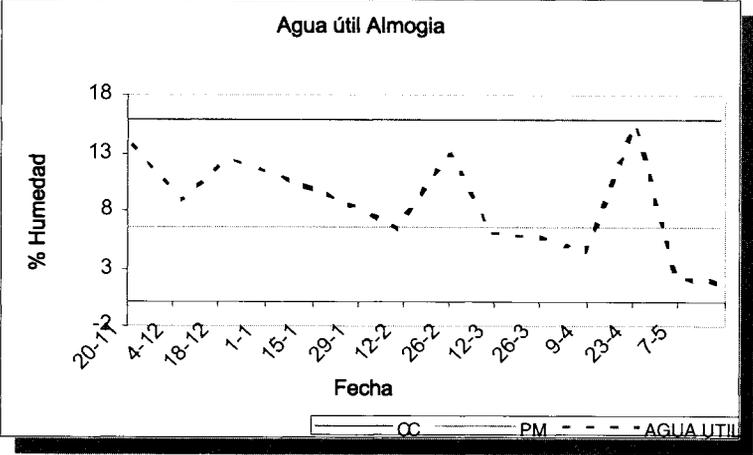
**FIGURA 11**  
**Evolución del contenido de agua útil en Albuñol.**



Por otra parte, en la ladera de Almagía, la oscilación relacionada con la humedad media del suelo a lo largo del periodo considerado es mayor que en la anterior. La variabilidad es mayor, y por tanto, la posibilidad de diferentes comportamientos hidrológicos también. Esto supone que la ladera se identifica con los comportamientos hidrodinámicos determinados como “suelo seco” y “suelo húmedo”, y que en cualesquiera de los casos obedecen más a un sistema infiltrador que escurridor.

En definitiva, el gradiente pluviométrico tiene una incidencia directa en el patrón de vegetación, tipo y distribución de la misma en ambas laderas. Dichos factores bióticos repercuten directamente en la hidrodinámica de las mismas, de tal punto que los mecanismos de conectividad de fluido son claramente diferentes. A ello hemos de añadir que en ninguno de los dos casos, considerando el periodo de estudio analizado desde el punto de vista de la humedad del suelo, cabe situar el supuesto planteado como suelo saturado, por lo que el comportamiento hidrológico se situará entre los establecidos como “suelo seco” a “suelo húmedo”, lo que significa una mayor disponibilidad hacia la emisión de escorrentía por parte de la ladera de Albuñol, precisamente aquella que se sitúa más próxima a las condiciones de semiaridez, y contrariamente, es la ladera de Almagía, aquella que presenta unas mejores condiciones de cara a la infiltración.

**FIGURA 12**  
**Evolución del contenido de agua útil en Almogía**



## BIBLIOGRAFÍA

- BERGKAMP, G.. "A hierachical view of the interactions of runoff and infiltration with vegetation and microtopography semiarid shrublands". *Catena*, 33. 1998. 201-220.
- BERGKAMP, G., CERDÁ, A., IMESON, A.C. "Magnitude-frecuency analysis of water redistribution along a climate gradient in Spain". *Catena*, 37. 1998. 129-146.
- BOIX-FAYOS, C., CALVO-CASES, A., IMESON, A.C., SORIANO-SOTO, M.D., TIEMESSEN, I.R. "Spatial and short-term temporal variations in runoff, soil aggregation and other soil properties along a mediterranean climatological gradient". *Catena*, 33. 1998. 123-138.
- CALVO, A., BOIX, C. y IMESON, A.C. "Runoff generation, sediments movement and soil water behaviour on calcareous (limestone) slopes of Mediterranean enviroments in southeast Spain". *Geomorphology*, 50. 2003. 269-291.
- CERDÁ, A., IBÁÑEZ S, Y CALVO, A. "Design and operation of a small and portable rainfall simulator for rugged terrain". *Soil Technology*, 11. 1997. 163-170.
- CERDÁ, A.. "Seasonal changes of the infiltration rates in a Mediterranean scrubland on limestone". *Journal of Hydrology*, 198. 1997, 209-225.
- De PEDRAZA GILSANZ, J. et al. *Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones*. Ed. Rueda. 1996. Madrid.
- HUANG, Ch. "Sediment regimes under different slope and Surface hydrologic conditions". *Soil Science society of America*, 62. 1998, 423-430.
- HUANG, C., GASCUEL-ODOUX, C., CROS-CAYOT, S. "Hillslope topographic and hydrologic effects on overland flow and erosion". *Catena*, 46. 2001, 177-188.
- IMESON, A.C. AND LAVEE, H. "Soil erosion and climate change: the transect approach and the influence of scale". *Geomorphology*, 23. 1998, 219-227.
- KOSMAS, C., DANALATOS, N., CAMMERAAT, L.H., CHABART, M., DIAMANTOPOULOS, J., FARAND, R., GUTIERREZ, L., JACOB, A., MARQUES, H., MARTINEZ-FERNANDEZ, J., MIZARA, A., MOUSTAKAS, N., NICOLAU, J.M., OLIVEROS, C., PINNA, G., PUDDU, R., PUIGDEFABREGAS, J., ROXO, M., SIMAO, A., STAMOU, G., TOMASI, N., USAI, D., VACCA, A.,. "The effect of land use on runoff and soil erosion rates under Mediterranean conditions". *Catena* 29, 1997, 45-59.
- KULITEK M. & NIELSEN D.R. *Soil Hydrology*. Geo ecology. Text Book. 1994.
- LAVEE, H, IMESON, A.C, SARAH; P. "The impact of climate change on geomorphology and desertification along a Mediterranean - arid transect". *Land Degradation and Development*, 9. 1998, 407-422.
- LÓPEZ-BERMÚDEZ, F., MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, J., ROMERO-DÍAZ, A.,. "Land use and soil-vegetation relationships in a Mediterranean ecosystem: El Ardal Murcia, Spain". *Catena* 25, 1995, 153-167.
- MINTEGUI-AGUIRRE, J.A. y LÓPEZ-UNZU, F. *La ordenación agrohidrológica en la planificación*. Vitoria 1990.
- PÉREZ-LATORRE, A., NIETO CALDERA, J. M. Y CABEZUDO, B.: "Datos sobre la vegetación de Andalucía III. Series de vegetación caracterizada por *Quercus suber* L.". *Acta Botánica Malacitana*. 19. 1994, 169-183. Universidad de Málaga.

- RUIZ-SINOGA, J.D., DELGADO, J.J., MARTÍNEZ-MURILLO, J.F., GALÁN, O., GALLEGOS, A., NOGUERA, M.J., MÁRQUEZ, J., LUCAS, N., BUENO, F., CALVO, L., NAVARRO, M., RAMÍREZ, G., RUIZ, E., ROMERO, A. "Métodos para la estimación de la escorrentía en vertientes de litología no acuífera en ámbitos mediterráneos". *Baética*, 24, 2002, 149-192.
- SIEPEL A.C, STEENHUIS T.S, ROSE C.W, PARLANGE J.Y, MCISAAC G.F. "A simplified hillslope erosion with vegetation elements for practical applications". *Journal of Hydrology*. 2002.
- SMITH, D.B., WEARN, H.J. "Water movement in the unsaturated zone of high and low permeability strata". International Atomic Energy Authority, Vienna, pp 73-81. 1970.
- TRAGSA. *Restauración hidrologico forestal de cuencas y control de la erosión*.
- TRIMBLE, S.W. "Geomorphic effects of vegetation cover and management: some time and space considerations in prediction of erosion and sediment yield". In: Thornes, J.B. Ed. , *Vegetation and Erosion Processes and Environments*. 1990, Wiley, pp. 55-66.
- USÓN, A Y RAMOS MC.. "A improved rainfall erosivity index obtained from experimental interrill soil losses in soils with a Mediterranean climate". *Catena*, 43. 2001,293-305.
- VEN TE CHOW et al. *Hidrologia aplicada*. Mc Graw Hill. Londres. 1994.
- WARD R.C. & ROBINSON M. *Principles of hydrology*. Mc Graw Hill. Londres. 2000.
- YAIR, A & LAVEEH, H. "Runoff generation in arid and semiarid zones". Anderson M.G. & Burt, T. P.: *Hydrological Forecasting*, 183-220. John Willey and sons LTD. 1985.