

UAGN
DIÁLOGOS AGRARIOS

**PREVENCIÓN DE RIADAS A TRAVÉS
DE UNA GESTIÓN INTEGRAL**

Tudela 27-2-2018

Ponencia:

**Clima, suelos, vegetación y
estabilidad hidrológica**

Eugenio de Ezquerro Cobertera

TEMÁTICA

- **Prevención de las riadas actuando en el conjunto de la cuenca**
- **Aportaciones puntuales de la Administración para la prevención de los daños causados por las riadas**

Eugenio de Ezquerro Cobertera



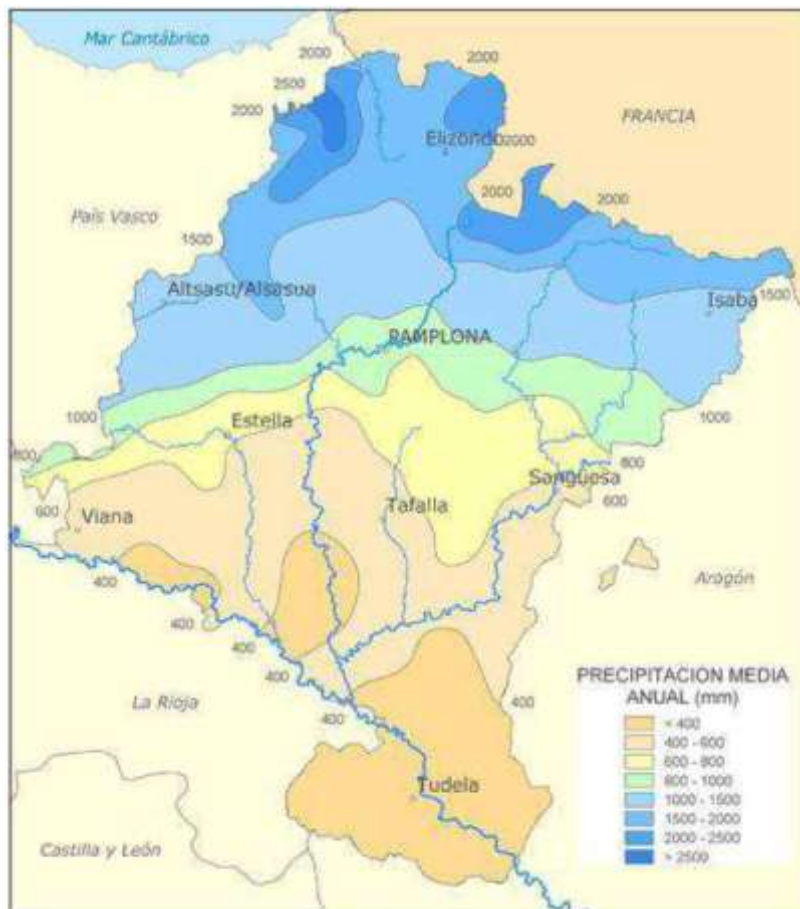
Ingeniero Agrónomo
Geógrafo

1.- LAS DISTINTAS ZONAS DE PRECIPITACIONES EN LA CUENCA

Las avenidas en el Ebro son consecuencia de la aportación de aguas de los afluentes principales: Aragón, Arga y Ega. Estos afluentes, transportan las aguas de pluviometría, que reciben en sus cuencas, desde el Pirineo hasta su incorporación al Ebro. La superficie de sus cuencas suman 9.605 Km², siendo la mayor la del río Aragón (5.765 Km²), seguida de la del Arga (2.759 Km²) y la del Ega (1.081 Km²) que no drena aguas del Pirineo, sino de las sierras del NO.

Hay que tener en cuenta que el Aragón transporta aguas procedentes del pirineo aragonés, que no está reflejado en el mapa de Navarra siguiente, en el que pueden verse los trazados fluviales y las precipitaciones anuales medias en Navarra, observando la clara zonificación, de mayor a menor pluviometría, desde el N hasta el S, respectivamente, como es conocido y que recordamos para explicar su influencia en las avenidas del Ebro.





Pluviometría anual entre 2500 y 1000 mm en la zona de color azul, correspondiente al Pirineo y sus estribaciones. Desde Pamplona hacia el sur las precipitaciones oscilan entre 1000 y 600 mm, constituyendo una zona cerealícola muy importante, desde Estella hasta cerca de Sangüesa. La franja siguiente, Navarra media, se extiende desde Viana a Tafalla y Sangüesa, con pluviometría entre 600 y 400 mm, quedando ya al sur de Navarra la Ribera baja junto al propio cauce del Ebro, donde las precipitaciones son de unos 400 mm como máximo.

Esta distribución, desde el punto de vista de su influencia en las avenidas del Ebro, implica que las aguas de los afluentes citados tienen sus cuencas en una zona de pluviometría entre 2000 y 1000 mm -incluso en el caso del Ega- que corresponde a una superficie de un 50%, y la otra mitad, en zona

Eugenio de Ezquerria Cobertera



Ingeniero Agrónomo
Geógrafo

que oscila entre 1000 mm y 400 mm. Estas son las zonas de aporte, ya que la zona restante, de pluviometría reducida correspondiente a un régimen semiárido en La Ribera, es de menor superficie. En consecuencia el volumen de agua procedente de las precipitaciones, de cada cuenca, puede estimarse anualmente, así:

Cuenca del Aragón (sin contar la superficie ubicada en la CA de Aragón, que se regula mediante al embalse de Yesa):

Precipitación media anual 5534400000 m³ equivalente a Q=173 m³/s

En el caso del Arga los resultados serían:

Precipitación media anual 2621050000 m³ equivalente a Q=83,11 m³/s

En el caso del Ega los resultados serían:

Precipitación media anual 864800000 m³ equivalente a Q=27,42 m³/s

Es decir que el caudal promedio por segundo, sumando los de los tres afluentes, solo del agua procedente de las precipitaciones en Navarra (sin contar las de la parte del pirineo aragonés) es:

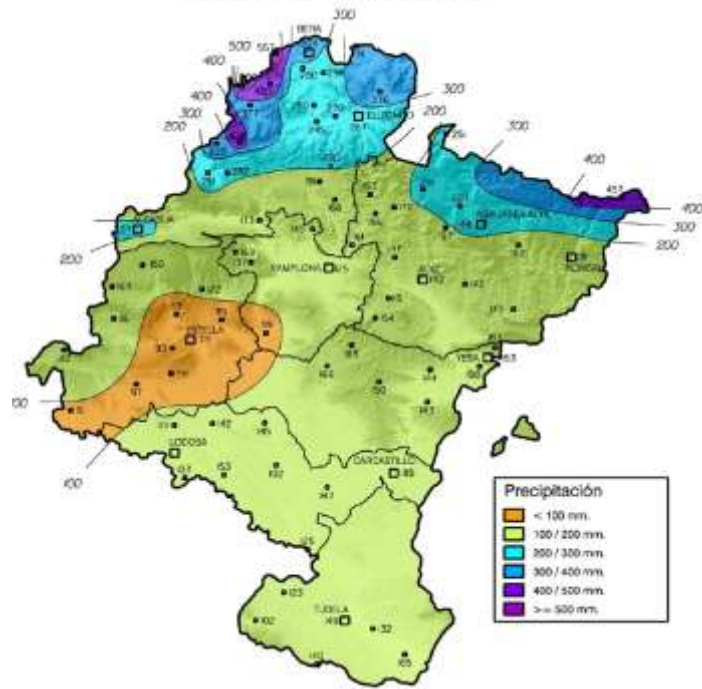
$$Q= 283,53 \text{ m}^3/\text{día}$$

2.- LA VARIACIÓN ESTACIONAL DE LAS PRECIPITACIONES

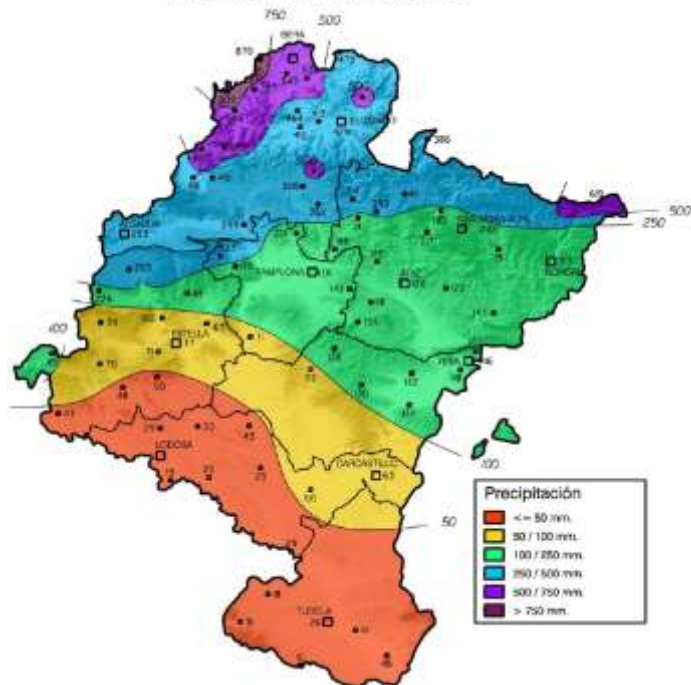
Como se puede ver en los cuatro mapas siguientes, las precipitaciones varían considerablemente entre las distintas estaciones, pero esta no es la razón de su influencia en el caudal del Ebro, siempre que se mantengan en los valores similares a los promedios, como ocurre con estos mapas correspondientes al año 2017, que no tuvo avenidas en el Ebro.



Precipitación (en mm.), Verano 2017



Precipitación (en mm.), Otoño 2017



Eugenio de Ezquerro Cobertera



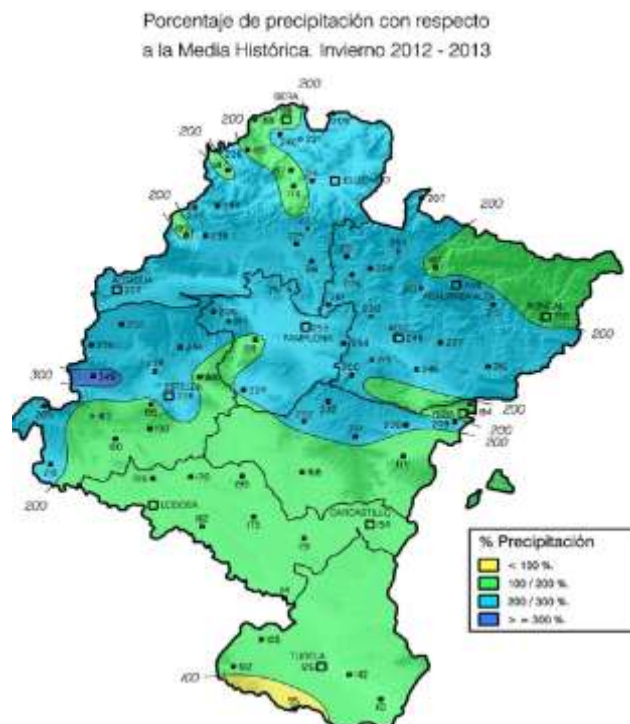
Ingeniero Agrónomo
Geógrafo

3.- LA VARIACIÓN INTERANUAL DE LAS PRECIPITACIONES

El año 2013 registró avenidas importantes, no sólo en invierno, sino también en el mes de junio. Los mapas siguientes, correspondientes, el primero, al periodo invernal de 2012 a 2013, y el segundo al mes de junio de 2013, detallan en porcentajes el aumento de las precipitaciones en relación con los valores estadísticos promedio.

El primer mapa, en las cuencas del Aragón y del Arga los aumentos se cifran entre el 200 y el 100 % y en la del Ega incluso llegan al 300% en la cabecera.

Esto representa un caudal promedio, por día durante todo el invierno, de 567 m³ por día. Teniendo en cuenta que la avenida presentase una concentración de 10 días, resulta que en ese momento el caudal que correspondería a la precipitación incrementada según los datos del mapa siguiente, sin contar aguas de la CA de Aragón, se puede estimar en 3.000 m³/s durante ese periodo. Es evidente que parte de este volumen de agua fue evapotranspirado y otra parte se infiltró en el suelo. A pesar de ello se produjo la riada, como veremos más adelante al tratar de la infiltración.



Eugenio de Ezquerro Cobertera



Ingeniero Agrónomo
Geógrafo

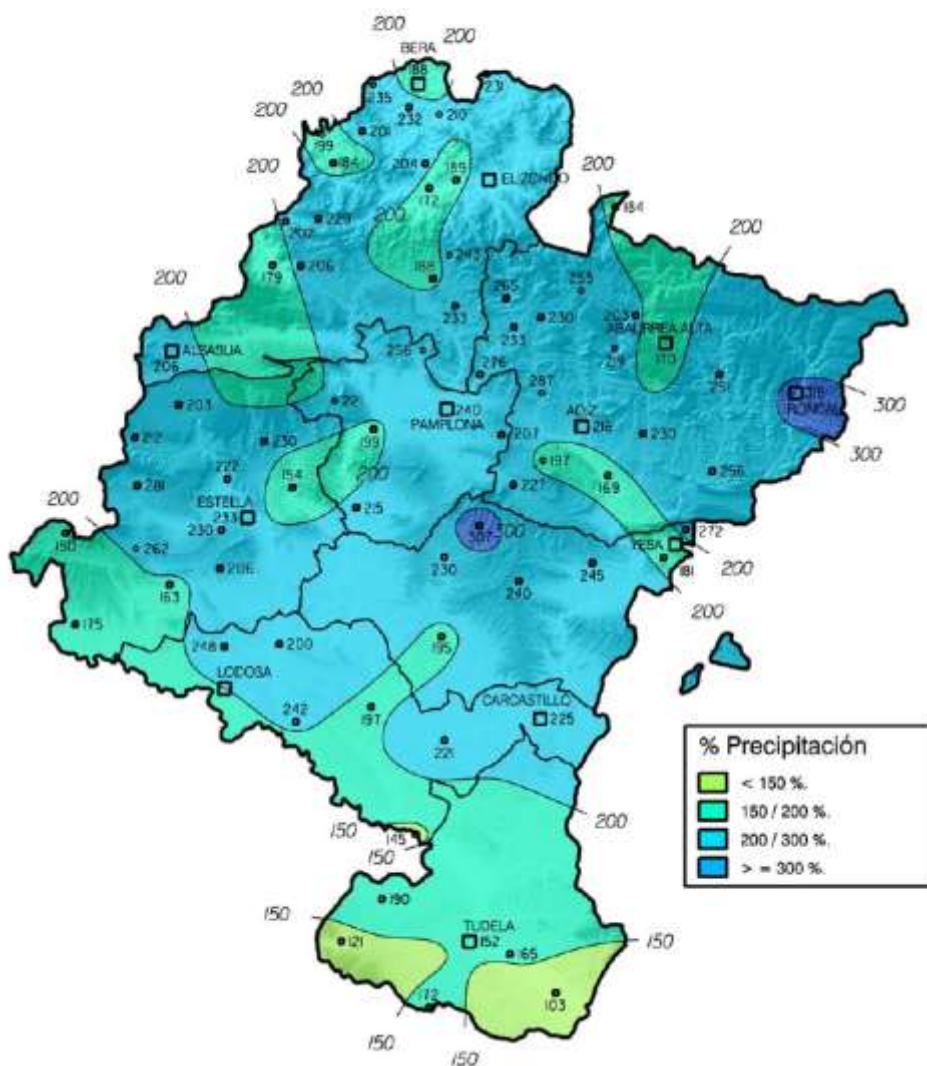
En el segundo mapa, a continuación, de junio de 2013, cuando se produjo una avenida poco frecuente por su importancia en ese mes, se aprecia que los caudales de las tres cuencas –Aragón, Arga y Ega, tuvieron una pluviometría el 200 % superior a la promedio, lo que representa, con los mismo cálculos del periodo anterior, pero con una concentración de 5 días, teniendo en cuenta los aguaceros tormentosos del periodo, unas precipitaciones en esos días, correspondientes a una caudal de 2000 m³/s.

Eugenio de Ezquerria Cobertera



Ingeniero Agrónomo
Geógrafo

Porcentaje de precipitación con respecto
a la Media Histórica. Junio 2013



4.- LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DEL SUELO. LA ESCORRENTÍA

El agua de las precipitaciones in situ, o procedente de otros lugares, puede ser infiltrada total o parcialmente en el suelo. Si la infiltración es suficiente se evitan los problemas de erosión, del arrastre de materiales y, en definitiva, las avenidas y el aporte de materiales a los cauces.

Eugenio de Ezquerro Cobertera



Ingeniero Agrónomo
Geógrafo

Hemos visto, hace un momento, que la irregularidad de las precipitaciones entre unos y otros años, puede causar un elevado caudal de agua que, si no se infiltra en las propias subcuencas, pasa a los afluentes y de estos al Ebro.

De los valores que se han calculado, grosso modo, se deduce, no obstante, que las aguas de precipitación son, al menos en gran parte, las causantes de las avenidas del Ebro en Navarra. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que parte del agua de precipitación se ha infiltrado en el suelo, es decir que el agua que contribuirá a la avenida será la de precipitación menos la infiltrada.

4.1.- La infiltración

Depende de la porosidad del suelo, es decir de la abundancia y tamaño de los poros que dependen, a su vez de la textura o composición granulométrica del suelo y de la estructura, consecuencia de la amalgama de los elementos texturales (arena, limo y arcilla) y de la materia orgánica como cemento que une los materiales minerales con una estructura más o menos capacitada para la infiltración.

En las imágenes siguientes pueden verse estructuras de muy mala calidad, que no facilitan los movimientos del agua en el suelo y, en particular la infiltración.

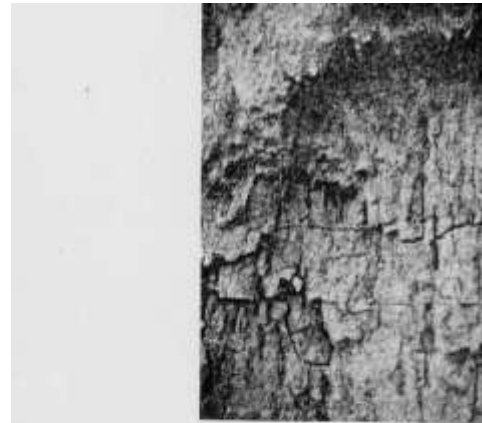
Por ejemplo, estas texturas de las fotografías siguientes, con una infiltrabilidad muy baja, apenas del 15 % del agua recibida, nos indicaría, en el caso de las avenidas del Ebro de 2013, que una de las causas fue la concentración de precipitaciones en las cuencas de sus afluentes, sobre suelos de baja infiltrabilidad. Es decir, sino que el conocimiento de la infiltrabilidad es fundamental para conocer sus efectos en las avenidas y para, si es necesario, intentar mejorarla, previniendo así muchos problemas por exceso de caudales en los afluentes.



Different soil structures



A. Estructura pedicébrica desarrollada en una tierra arcillosa cultivada de pradera.



B. Estructura prismática de tendencia columnar.



En la fotografía siguiente se muestra la estructura granular, que es la que favorece una buena infiltrabilidad. Se trata de una estructura construida por la presencia de materia orgánica, de humus incorporado, que amalgama las texturas arenosas y las arcillosas, aumentando la porosidad de tamaño capilar y no capilar y el movimiento del agua y la aireación del suelo.

Eugenio de Ezquerro Cobertera



Ingeniero Agrónomo
Geógrafo

ESTRUCTURA GRANULAR



Para ampliar estos conceptos, puede consultarse nuestro manual (2015) E. Cobertera: **Edafología Aplicada**. Editorial Cátedra.

Eugenio de Ezquerro Cobertera



Ingeniero Agrónomo
Geógrafo

4.2.- La evaluación de la capacidad de infiltración. El método del número de curva (NC) o umbral de escorrentía (Po)

Este método permite calcular el umbral de escorrentía, es decir la cantidad de agua que se infiltra por m² y día, en un suelo. (antes del aguacero). Es posible la evaluación directa mediante infiltrómetros, pero para establecer el valor de la infiltración en grandes extensiones, como las cuencas fluviales, se utilizan estos métodos de cálculo, basados en tablas fruto de la práctica.

En la tabla siguiente se puede observar la columna de valores de Po (en mm por m² y día) con su correspondencia con los tipos de uso del suelo y en uno de esos usos, los cuatro tipos de suelo TS (A,B,C,D) que hay que identificar para obtener Po. La columna de conversión entre NC y Po, resulta de aplicar la ecuación:

$$Po = 0,2 * ((25400 - 254 * NC) / CN)$$

Es decir que se trata de dos valores correspondientes Po y NC, para una misma expresión. El uso de la numeración NC (o CN en inglés), reside en su utilización práctica. El NC va de 0 a 100 , cuanto mas elevado es el NC la infiltración es menor, o sea suelo de peor calidad con respecto a los problemas de escorrentía. Con cierta práctica, permite sobre el terreno, dar un valor apreciativo del NC a cada suelo, sobre todo aprovechando las prospecciones edáficas.

El Servicio de Suelos de Estados Unidos siempre debe de incluir el CN en sus prospecciones edáficas, lo que facilita mucho la valoración de la infiltrabilidad y su aplicación en muchos casos, como por ejemplo en este relativo a las avenidas fluviales. En España aunque muchos edafólogos han abrazado la metodología norteamericana, quizás por su sonora nomenclatura, no apta para neófitos, no suelen aportar en sus trabajos los útiles NC.



| CODE_ DESCRIPCION | TS | Po | NC | Superficie |
|---|-----|----|--------|------------|
| 21210 Cultivos herbáceos en regadío | B | 25 | 67,02 | 13,7408 |
| 21210 Cultivos herbáceos en regadío | C | 16 | 76,05 | 24,2972 |
| 51110 Rios y cauces naturales | RIO | 0 | 100,00 | 73,8800 |
| 21210 Cultivos herbáceos en regadío | C | 16 | 76,05 | 24,2972 |
| 24310 Mosaico de cultivos agrícolas, con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural | B | 17 | 74,93 | 22,8033 |
| 24310 Mosaico de cultivos agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural | C | 11 | 82,20 | 33,5417 |
| 24310 Mosaico de cultivos agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural | D | 8 | 86,39 | 40,9914 |
| 21100 Tierras de labor en secano | C | 9 | 84,95 | 38,3092 |
| 21100 Tierras de labor en secano | D | 7 | 87,89 | 43,9039 |
| 31210 Pináceas | B | 47 | 51,94 | 2,7590 |
| 31210 Pináceas | C | 31 | 62,10 | 9,2920 |
| 31210 Pináceas | D | 23 | 68,83 | 15,6063 |
| 32312 Matorrales subarborescentes o arbustivos muy poco densos | B | 24 | 67,91 | 14,6457 |
| 32312 Matorrales subarborescentes o arbustivos muy poco densos | C | 14 | 78,40 | 27,6071 |
| 32312 Matorrales subarborescentes o arbustivos muy poco densos | D | 10 | 83,55 | 35,8329 |
| 32312 Matorrales subarborescentes o arbustivos muy poco densos | B | 24 | 67,91 | 14,6457 |
| 32312 Matorrales subarborescentes o arbustivos muy poco densos | C | 14 | 78,40 | 27,6071 |
| 32312 Matorrales subarborescentes o arbustivos muy poco densos | D | 10 | 83,55 | 35,8329 |
| 21100 Tierras de labor en secano | B | 14 | 78,40 | 27,6071 |
| 21100 Tierras de labor en secano | C | 9 | 84,95 | 38,3092 |
| 21100 Tierras de labor en secano | D | 7 | 87,89 | 43,9039 |
| 21100 Tierras de labor en secano | B | 14 | 78,40 | 27,6071 |
| 21100 Tierras de labor en secano | C | 9 | 84,95 | 38,3092 |
| 21100 Tierras de labor en secano | D | 7 | 87,89 | 43,9039 |
| 32420 Matorral de coníferas | B | 34 | 59,91 | 7,5777 |
| 32420 Matorral de coníferas | C | 22 | 69,78 | 16,6267 |
| 32420 Matorral de coníferas | D | 16 | 76,05 | 24,2972 |
| 31210 Pináceas | B | 47 | 51,94 | 2,7590 |
| 31210 Pináceas | C | 31 | 62,10 | 9,2920 |
| 31210 Pináceas | D | 23 | 68,83 | 15,6063 |
| 32311 Grandes formaciones de matorral denso o medianamente denso | B | 34 | 59,91 | 7,5777 |
| 32311 Grandes formaciones de matorral denso o medianamente denso | C | 22 | 69,78 | 16,6267 |
| 32311 Grandes formaciones de matorral denso o medianamente denso | D | 16 | 76,05 | 24,2972 |
| 11200 Tejido urbano | URB | 6 | 89,44 | 47,0749 |
| 32312 Matorrales subarborescentes o arbustivos muy poco densos | B | 24 | 67,91 | 14,6457 |
| 32312 Matorrales subarborescentes o arbustivos muy poco densos | C | 14 | 78,40 | 27,6071 |
| 32312 Matorrales subarborescentes o arbustivos muy poco densos | D | 10 | 83,55 | 35,8329 |
| 32312 Matorrales subarborescentes o arbustivos muy poco densos | C | 14 | 78,40 | 27,6071 |

4.2.1.- La determinación del tipo de suelos A, B, C o D

Eugenio de Ezquerro Cobertera



Ingeniero Agrónomo
Geógrafo

Clasificar los tipos de suelo por su infiltración, utilizando el método del NC, es lo que presenta dificultad, ya que los umbrales de escorrentía, Po ya están bien definidos en listados preparados, para distintos latitudes, países e, incluso parajes. Sin embargo el técnico tiene que clasificar los tipos de suelo que corresponden en cada caso.

Se puede utilizar, para pequeñas prospecciones, el valor directamente de un infiltrómetro, ya que, en definitiva, los suelos tipo A son los que tienen una mejor porosidad y en consecuencia infiltración y los C los que apenas tienen esa propiedad. B y C son los intermedios. Pero, hay que tener cuidado ya que los infiltrómetros dan resultados erráticos.

En cualquier caso, para valoraciones de la infiltración en extensiones superiores como la de una subcuenca, se precisan otros métodos que permitan la utilización de un SIG.

En el cuadro siguiente se muestra método para el cálculo mediante valores que pueden obtenerse de mapas litológicos, topográficos, así como edáficos. Se han calculado en nuestro trabajo de I+D de FEDER y GN de 2015 nº 0011-1365-2015-00214

| Datos para el cálculo: | | VALORES PARA LOS TIPOS DE SUELOS DEL NC | | | | | |
|--|----|---|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| Litología | LT | % MO | 3° | 5° | 10° | 20° | 42° |
| Arenas | 10 | 2,3 | 48,15165508 | 32,88861804 | 22,87417809 | 17,8584538 | 14,1532038 |
| Gravas, bloques y cantos | 7 | 2,1946 | 30,68830473 | 20,94802891 | 14,64204246 | 11,2541928 | 9,02020667 |
| Limos, arenas y gravas | 7 | 2,1382 | 29,13084957 | 19,68489636 | 13,8889475 | 10,6830339 | 8,56242327 |
| Limos, arcillas, arenas y gravas | 4 | 2,1964 | 17,56522051 | 11,98012633 | 8,38074005 | 6,44161939 | 5,16294084 |
| Limos, arcillas, arenas y bloques | 4 | 2,1555 | 16,9172878 | 11,54784545 | 8,071597583 | 6,20400576 | 4,97249414 |
| Calizas y margas greses, compactas, con procesos kársticos | 4 | 2,1984 | 17,5862916 | 12,01133765 | 8,385564728 | 6,45301386 | 5,17207356 |
| Arcillas, arenas y gravas | 3 | 2,0466 | 11,45797754 | 7,80763432 | 5,457302195 | 4,19460136 | 3,38196165 |
| Arcillas, arenas, gravas y bloques | 3 | 2,1603 | 12,74412255 | 8,686218988 | 6,080491743 | 4,67358643 | 3,74587673 |
| Arcillas, arenas y gravas envueltas en matriz fina | 3 | 2,1971 | 13,16170535 | 8,907913724 | 6,289271795 | 4,83407132 | 3,87449533 |
| Gravas englobadas en arcillas y limos, pardo rojizas | 4 | 2,0466 | 15,25063672 | 10,41017908 | 7,276402828 | 5,58280182 | 4,48261581 |
| Limos y arcillas | 1 | 2,0466 | 3,81285816 | 2,602544773 | 1,819100732 | 1,38820045 | 1,12065385 |
| Yesos | 1 | 2,0466 | 3,81285816 | 2,602544773 | 1,819100732 | 1,38820045 | 1,12065385 |

VALORES PARA TIPO DE SUELOS=
 $(LT \cdot (MO \cdot 2)) / \ln \text{ de Pendiente en } ^\circ$

siendo:

- >15 TIPO A
- 10 a 15 TIPO B
- 5 a 10 TIPO C
- <5 TIPO D

Eugenio de Ezquerro Cobertera



Ingeniero Agrónomo
 Geógrafo

Para la obtención de los valores de la M.O. (materia orgánica), pueden emplearse metodologías como la que publicamos en 2017 *EdEC: Relación de la ratio del coeficiente de cultivo y de la evapotranspiración potencial ($Kc.ET_o^{-1}$), con el contenido de carbono (C) en suelos cultivados y forestales, en clima mediterráneo semiárido*. TRIM Revista de investigación multidisciplinar ISSN: 2173-8947. Universidad de Valladolid.

4.3.- La Escorrentía superficial Es

Una vez conocidos los tipos de suelos que corresponden a cada cultivo o vegetación natural, según el listado del NC y Po anterior, se obtienen los valores de Po, es decir los litros por m² y día, que el suelo es capaz de infiltrar. A partir de ese valor el agua restante constituye la escorrentía superficial (Es) que es la que produce la erosión del terreno. Se trata, ahora, de evaluar las precipitaciones, para conocer los litros de agua por m² que van a producir la escorrentía. Como se ejemplariza en el cuadro siguiente, para la Estación meteorológica de Bardenas-El Yugo:



ESTACION BARDENAS- EL YUGO

DISTRIBUCION DE GUMBEL

$$P = \mu + (1/\alpha) * \ln(-1/\ln F(x) - x)$$

P MEDIA PRECIPITACIONES MAXIMAS 41,18578947
 S DESVIACION TIPICA MUESTRAL Pmax 25,06942545

mm P₁₀ max
 0,0511599 α mm
 29,903522 μ 73,8833

AÑOS

| AÑOS | Pmax diaria mm | ORDEN nº | Pmax diaria mm | Frecuencia observada F _{RI} | Frecuencia calculada F(x) | -Δ F(x)-F _{RI} | Valor Critico Kolgomorov Smírnov | α (P- μ) Cálculo | Cálculo S |
|------|-------------------|-------------|-------------------|---|------------------------------|----------------------------|--|---------------------|--------------|
| 1993 | 27,4 | 1 | 18,7 | 0,05 | 0,169672736 | 0,119672736 | <0,237 | 0,60469392 | 25,069425 |
| 1994 | 18,7 | 2 | 20,59 | 0,1 | 0,199808798 | 0,099808798 | | 0,50535211 | |
| 1995 | 26,5 | 3 | 21,5 | 0,15 | 0,214995101 | 0,064995101 | | 0,45752088 | |
| 1996 | 22,3 | 4 | 22,3 | 0,2 | 0,22866648 | 0,02866648 | | 0,41547144 | |
| 1999 | 21,5 | 5 | 26,5 | 0,25 | 0,304159495 | 0,054159495 | | 0,19471188 | |
| 2000 | 33,34 | 6 | 27,4 | 0,3 | 0,320894161 | 0,020894161 | | 0,14740626 | |
| 2001 | 34,68 | 7 | 29,27 | 0,35 | 0,35595823 | 0,00595823 | | 0,04911569 | |
| 2002 | 20,59 | 8 | 30,79 | 0,4 | 0,384557915 | -0,015442085 | | -0,03077825 | |
| 2003 | 59,48 | 9 | 33,34 | 0,45 | 0,432238674 | -0,017761326 | | -0,16481084 | |
| 2004 | 129,54 | 10 | 34,68 | 0,5 | 0,456940416 | -0,043059584 | | -0,23524365 | |
| 2005 | 30,79 | 11 | 36,18 | 0,55 | 0,484156205 | -0,065843795 | | -0,31408635 | |
| 2006 | 41,82 | 12 | 39,44 | 0,6 | 0,541223403 | -0,058776597 | | -0,48543782 | |
| 2007 | 62,17 | 13 | 41,82 | 0,65 | 0,580687136 | -0,069312864 | | -0,6105349 | |
| 2008 | 39,44 | 14 | 45,53 | 0,7 | 0,637898315 | -0,062101685 | | -0,80553918 | |
| 2009 | 29,27 | 15 | 47,71 | 0,75 | 0,668893321 | -0,081106679 | | -0,9201239 | |
| 2011 | 45,53 | 16 | 55,59 | 0,8 | 0,764364032 | -0,035635968 | | -1,33431089 | |
| 2012 | 47,71 | 17 | 59,48 | 0,85 | 0,953427439 | 0,103427439 | | -1,53877629 | |
| 2013 | 55,59 | 18 | 62,17 | 0,9 | 0,367879441 | -0,532120559 | | -1,68016753 | |
| 2014 | 36,18 | 19 | 129,54 | 0,95 | 0,993905995 | 0,043905995 | | -5,221256 | |
| | | | 782,53 | | | | | | |
| | | | 41,1857895 | | | | | | |
| | | | Media | | | | | | |

Se establece el aguacero más desfavorable, para un periodo de retorno de 10 años, que en este caso es de 73,88 litros por m² y día. Operando con la cifra de infiltración Po, se calcula el volumen de Escorrentía superficial, en litros por m² diarios, para cada celda, como puede verse en el cuadro siguiente, en el que pueden verse los distintos valores de Escorrentía para cada uso del suelo y para cada tipo de suelo A, B, C, D. Lo interesante, a efectos de nuestra propuesta de que un aumento de la infiltración y fertilidad del suelo (es decir de su cantidad de materia orgánica) constituye una importante ayuda para paliar las avenidas en el Ebro.

En efecto, se puede observar en los cuadros siguientes, que en las tres columnas de la derecha se ha calculado el % de menor escorrentía efectiva, al pasar de un tipo de suelo B al A, del C al B y del D al C, mediante mejoras agronómicas. Los colores azules y verdes corresponden a las mejoras más

Eugenio de Ezquerria Cobertera



Ingeniero Agrónomo
 Geógrafo

eficientes. Se puede comprobar, también, que en los usos del suelo urbano y de ocio, las mejoras no son posibles, excepto en el caso de instalaciones deportivas, como campos de golf que, a pesar de la animadversión ecologista, favorecen muchísimo la infiltración, paliando las avenidas, lo mismo que en las transformaciones de cultivos de secano a regadío.

| Uso de suelo de CLC-2000 | Umbral de escorrentía Po | | | | | | | | % Ahorro escorrentía | | | |
|--|--------------------------|-----|----|----|----|--------|-------|-------|----------------------|----------|----------|----------|
| | Pe nd | P10 | | | | P10-Pc | | | | % | % | % |
| | | A | B | C | D | A | B | C | D | | | |
| Tejido urbano continuo | | 1 | 1 | 1 | 1 | 72,88 | 72,88 | 72,88 | 72,88 | de B a A | de C a B | de D a C |
| Tejido urbano discontinuo | | 24 | 14 | 8 | 6 | 49,88 | 59,88 | 65,88 | 67,88 | 0 | 0 | 0 |
| Urbanizaciones | | 24 | 14 | 8 | 6 | 49,88 | 59,88 | 65,88 | 67,88 | 16,7 | 9,11 | 2,95 |
| Estructura urbana abierta | | 24 | 14 | 8 | 6 | 49,88 | 59,88 | 65,88 | 67,88 | 16,7 | 9,11 | 2,95 |
| Urbanizaciones exentas y/o ajardinadas | | 24 | 14 | 8 | 6 | 49,88 | 59,88 | 65,88 | 67,88 | 16,7 | 9,11 | 2,95 |
| Zonas industriales y comerciales | | 6 | 4 | 3 | 3 | 67,88 | 69,88 | 70,88 | 70,88 | 16,7 | 9,11 | 2,95 |
| Granjas agrícolas | | 24 | 14 | 8 | 6 | 49,88 | 59,88 | 65,88 | 67,88 | 2,862 | 1,41 | 0 |
| Zonas industriales | | 12 | 7 | 5 | 4 | 61,88 | 66,88 | 68,88 | 69,88 | 16,7 | 9,11 | 2,95 |
| Grandes superficies de equipamientos y servicios | | 6 | 4 | 3 | 3 | 67,88 | 69,88 | 70,88 | 70,88 | 7,476 | 2,9 | 1,43 |
| Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados | | 1 | 1 | 1 | 1 | 72,88 | 72,88 | 72,88 | 72,88 | 2,862 | 1,41 | 0 |
| Autopistas, autovías y terrenos asociados | | 1 | 1 | 1 | 1 | 72,88 | 72,88 | 72,88 | 72,88 | 0 | 0 | 0 |
| Complejos ferroviarios | | 12 | 7 | 5 | 4 | 61,88 | 66,88 | 68,88 | 69,88 | 0 | 0 | 0 |
| Zonas portuarias | | 1 | 1 | 1 | 1 | 72,88 | 72,88 | 72,88 | 72,88 | 7,476 | 2,9 | 1,43 |
| Aeropuertos | | 24 | 14 | 8 | 6 | 49,88 | 59,88 | 65,88 | 67,88 | 0 | 0 | 0 |
| Zonas de extracción minera | | 16 | 9 | 6 | 5 | 57,88 | 64,88 | 67,88 | 68,88 | 16,7 | 9,11 | 2,95 |
| Escombreras y vertederos | | 20 | 11 | 8 | 6 | 53,88 | 62,88 | 65,88 | 67,88 | 10,79 | 4,42 | 1,45 |
| Zonas de construcción | | 24 | 14 | 8 | 6 | 49,88 | 59,88 | 65,88 | 67,88 | 14,31 | 4,55 | 2,95 |
| Zonas verdes urbanas | | 53 | 23 | 14 | 10 | 20,88 | 50,88 | 59,88 | 63,88 | 16,7 | 9,11 | 2,95 |
| Instalaciones deportivas y recreativas | | 79 | 32 | 18 | 13 | -5,12 | 41,88 | 55,88 | 60,88 | 58,96 | 15 | 6,26 |
| Campos de golf | | 79 | 32 | 18 | 13 | -5,12 | 41,88 | 55,88 | 60,88 | 112,2 | 25,1 | 8,21 |
| Resto de instalaciones deportivas y recreativas | | 53 | 23 | 14 | 10 | 20,88 | 50,88 | 59,88 | 63,88 | 112,2 | 25,1 | 8,21 |

Eugenio de Ezquerro Cobertera



Ingeniero Agrónomo
Geógrafo

| Uso de suelo de CLC-2000 | Pe nd | A | B | C | D | A | B | C | D | de B a A | de C a B | de D a C |
|---|-------|----|----|----|----|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|
| Tierras de labor en secano (cereales) | ≥3 | 32 | 19 | 12 | 10 | 41,88 | 54,88 | 61,88 | 62,88 | 23,69 | 11,3 | 1,59 |
| Tierras de labor en secano (cereales) | <3 | 34 | 21 | 14 | 12 | 39,88 | 52,88 | 59,88 | 60,88 | 24,58 | 11,7 | 1,64 |
| Tierras abandonadas (barbecho, tener en cuenta si es año y vez) | ≥3 | 16 | 10 | 7 | 5 | 57,88 | 63,88 | 66,88 | 67,88 | 9,393 | 4,49 | 1,47 |
| Tierras abandonadas (barbecho, tener en cuenta si es año y vez) | <3 | 20 | 14 | 11 | 8 | 53,88 | 59,88 | 62,88 | 64,88 | 10,02 | 4,77 | 3,08 |
| Viñedos en secano | ≥3 | 62 | 26 | 15 | 10 | 11,88 | 47,88 | 58,88 | 62,88 | 75,19 | 18,7 | 6,36 |
| Viñedos en secano | <3 | 76 | 34 | 19 | 14 | -2,12 | 39,88 | 54,88 | 58,88 | 105,3 | 27,3 | 6,79 |
| Frutales en secano | ≥3 | 62 | 26 | 15 | 10 | 11,88 | 47,88 | 57,88 | 62,88 | 75,19 | 17,3 | 7,95 |
| Frutales en secano | <3 | 76 | 34 | 19 | 14 | -2,12 | 39,88 | 53,88 | 58,88 | 105,3 | 26 | 8,49 |
| Olivares en secano | ≥3 | 62 | 26 | 15 | 10 | 11,88 | 47,88 | 58,88 | 62,88 | 75,19 | 18,7 | 6,36 |
| Olivares en secano | <3 | 76 | 34 | 19 | 14 | -2,12 | 39,88 | 54,88 | 58,88 | 105,3 | 27,3 | 6,79 |
| Cultivos herbáceos en regadío R | ≥3 | 37 | 20 | 12 | 9 | 36,88 | 53,88 | 61,88 | 63,88 | 31,55 | 12,9 | 3,13 |
| Cultivos herbáceos en regadío N | ≥3 | 42 | 23 | 14 | 11 | 31,88 | 50,88 | 59,88 | 61,88 | 37,34 | 15 | 3,23 |
| Cultivos herbáceos en regadío R/N | <3 | 47 | 25 | 16 | 13 | 26,88 | 48,88 | 57,88 | 59,88 | 45,01 | 15,5 | 3,34 |
| Arrozales | | 47 | 25 | 16 | 13 | 26,88 | 48,88 | 57,88 | 59,88 | 45,01 | 15,5 | 3,34 |
| Viñedos en regadío | ≥3 | 62 | 26 | 15 | 10 | 11,88 | 47,88 | 58,88 | 62,88 | 75,19 | 18,7 | 6,36 |
| Viñedos en regadío | <3 | 76 | 34 | 19 | 14 | -2,12 | 39,88 | 54,88 | 58,88 | 105,3 | 27,3 | 6,79 |
| Olivares en regadío | ≥3 | 62 | 26 | 15 | 10 | 11,88 | 47,88 | 58,88 | 62,88 | 75,19 | 18,7 | 6,36 |
| Olivares en regadío | <3 | 76 | 34 | 19 | 14 | -2,12 | 39,88 | 54,88 | 58,88 | 105,3 | 27,3 | 6,79 |
| Frutales en regadío | ≥3 | 79 | 34 | 19 | 14 | -5,12 | 39,88 | 54,88 | 58,88 | 112,8 | 27,3 | 6,79 |
| Frutales en regadío | <3 | 94 | 42 | 22 | 15 | -20,1 | 31,88 | 51,88 | 57,88 | 163,1 | 38,6 | 10,4 |

| Uso de suelo de CLC-2000 | Pe nd | A | B | C | D | A | B | C | D | de B a A | de C a B | de D a C |
|--|-------|-----|----|----|----|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|
| Prados y praderas | ≥3 | 70 | 32 | 18 | 13 | 3,88 | 41,88 | 55,88 | 59,88 | 90,74 | 25,1 | 6,68 |
| Prados y praderas I | <3 | 119 | 55 | 22 | 14 | -45,1 | 18,88 | 51,88 | 58,88 | 339 | 63,6 | 11,9 |
| Pastos en tierras abandonadas | ≥3 | 24 | 14 | 8 | 6 | 49,88 | 59,88 | 65,88 | 66,88 | 16,7 | 9,11 | 1,5 |
| Pastos en tierras abandonadas I | <3 | 57 | 25 | 12 | 7 | 16,88 | 48,88 | 61,88 | 65,88 | 65,47 | 21 | 6,07 |
| Prados arbolados | ≥3 | 70 | 32 | 18 | 13 | 3,88 | 41,88 | 55,88 | 59,88 | 90,74 | 25,1 | 6,68 |
| Prados arbolados I | <3 | 119 | 55 | 22 | 14 | -45,1 | 18,88 | 51,88 | 58,88 | 339 | 63,6 | 11,9 |
| Vegetación esclerófila | | 60 | 24 | 14 | 10 | 13,88 | 49,88 | 59,88 | 62,88 | 72,17 | 16,7 | 4,77 |
| Grandes formaciones de matorral denso o medianamente denso | | 76 | 34 | 22 | 16 | -2,12 | 39,88 | 51,88 | 56,88 | 105,3 | 23,1 | 8,79 |
| Matorrales sub-arbustivos o arbustivos muy poco densos | | 60 | 24 | 14 | 10 | 13,88 | 49,88 | 59,88 | 62,88 | 72,17 | 16,7 | 4,77 |
| Perennifolias | | 90 | 47 | 31 | 23 | -16,1 | 26,88 | 42,88 | 49,88 | 160 | 37,3 | 14 |
| Bosques de coníferas | | 90 | 47 | 31 | 23 | -16,1 | 26,88 | 42,88 | 49,88 | 160 | 37,3 | 14 |
| Matorral boscoso de transición | | 76 | 34 | 22 | 16 | -2,12 | 39,88 | 51,88 | 56,88 | 105,3 | 23,1 | 8,79 |
| Claros de bosques | | 40 | 17 | 8 | 5 | 33,88 | 56,88 | 65,88 | 67,88 | 40,44 | 13,7 | 2,95 |

Eugenio de Ezquerro Cobertera

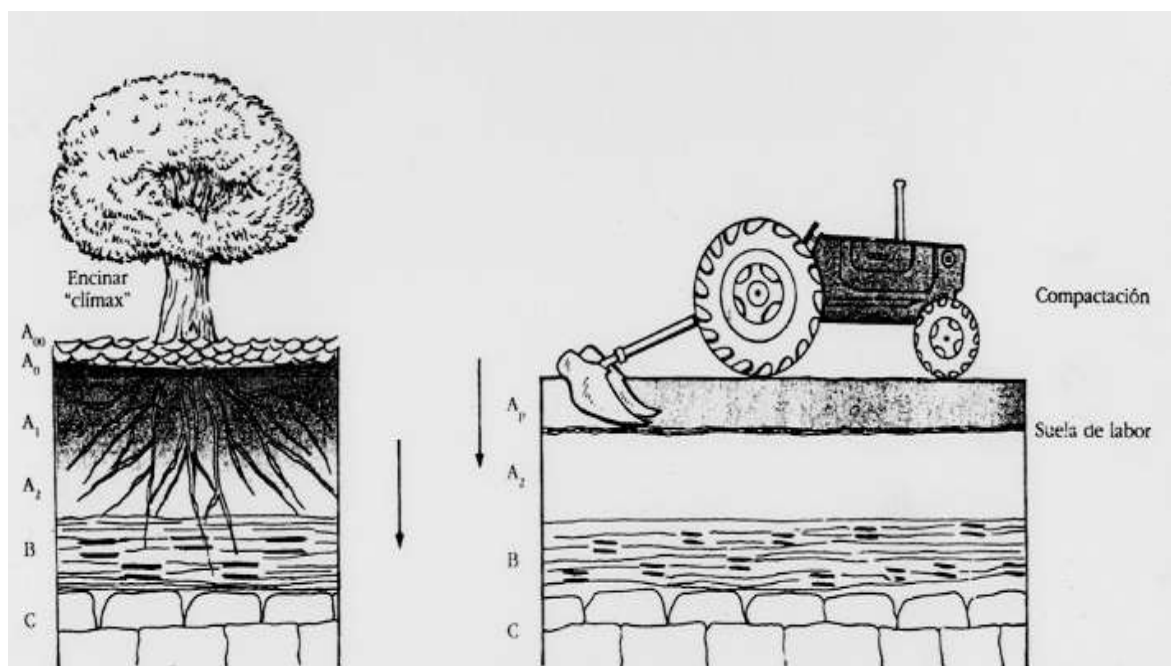


Ingeniero Agrónomo
Geógrafo

4.4.- Los procesos de mejora de la infiltración de los suelos son complementarios con la mejor producción en calidad y cantidad

Resumiendo, una agricultura sostenible y, en el caso de la Ribera Navarra incluyendo la zona media, con mayor superficie irrigada, favorece la capacidad de infiltración del suelo y, en consecuencia reduce los caudales de agua destinados a aumentar los riesgos de avenidas.

Es cierto, como puede verse en el dibujo siguiente (del autor) que la mayor infiltrabilidad corresponde a los suelos de los bosques climax que son los encinares en esta zona. Y la comparación con los suelos ya colonizados presentan unos suelos con menor contenido orgánico y, en consecuencia con una estructura de menor calidad.



Sin embargo hay que tener presente, como se ha indicado, el valor de la conservación y de la productividad en equilibrio, es decir la sostenibilidad, que admite perfectamente la agricultura, siempre que se mantenga en una explotación racional, *sostenible*. En la figura siguiente (del autor) se

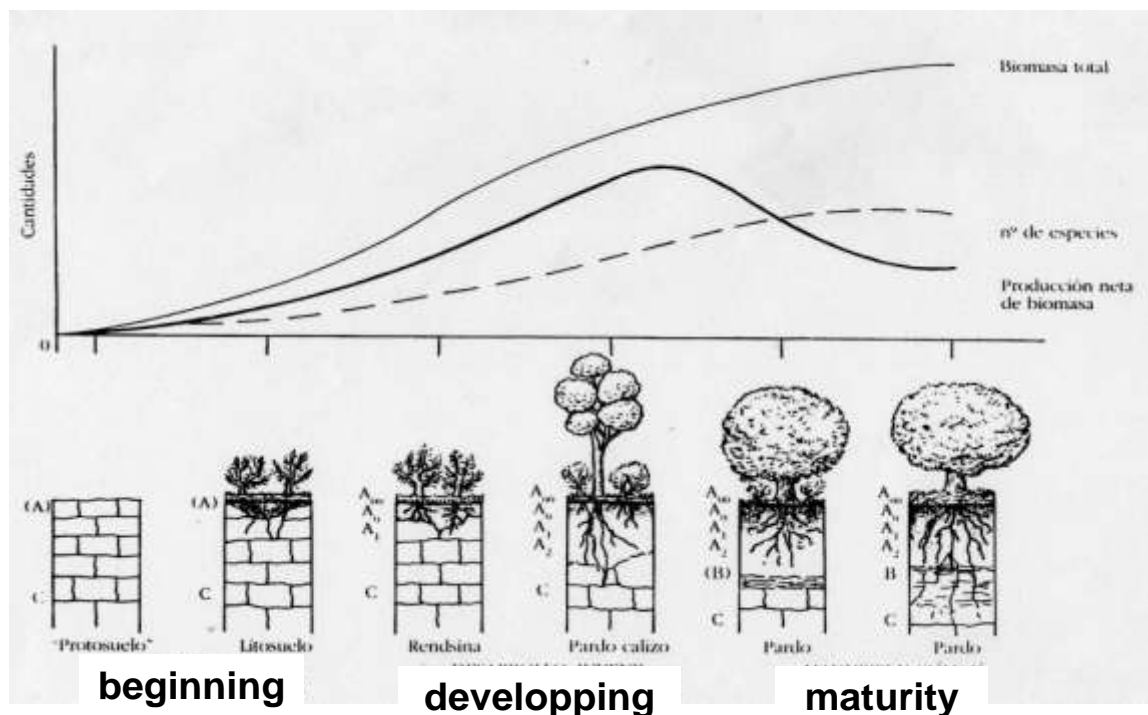
Eugenio de Ezquerria Cobertera



Ingeniero Agrónomo
Geógrafo

representa el punto de inflexión de nuestra civilización de agricultores y ganaderos que, sobrevivieron a los cazadores recolectores de los ecosistemas naturales.

Evolution and diversity of ecosystems



Se puede observar en este esquema, el desarrollo, a partir de una roca, y gracias a un clima favorable, el desarrollo de un ecosistema desde su comienzo, en el que apenas hay biomasa, su desarrollo y su madurez representada por un encinar. Observamos las curvas de desarrollo continuo de la biomasa total y del número de especies, sin embargo la curva de la PRODUCCIÓN NETA DE BIOMASA tiene su máximo en el periodo intermedio de desarrollo. Este es el punto de la agricultura sostenible, ya que permite una agricultura rentable y una sostenibilidad del suelo con su máxima

Eugenio de Ezquerro Cobertera



Ingeniero Agrónomo
Geógrafo

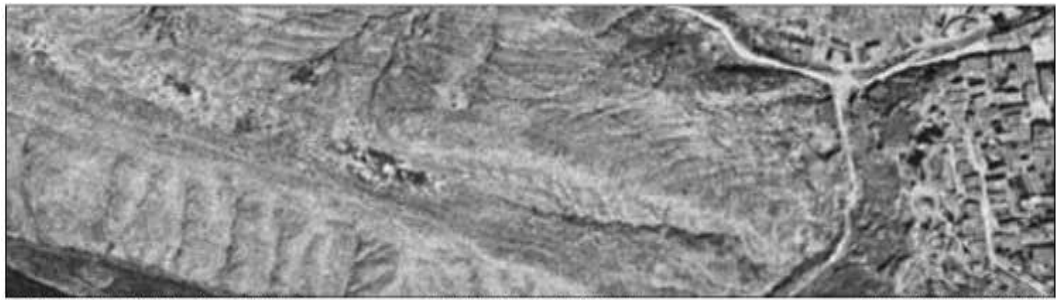
relación rendimiento/infiltrabilidad, es decir lo más eficiente para los sistemas agrarios que deben de cumplir también esa efectividad regulando las aguas de la cuenca hidrográfica mediante la máxima capacidad de infiltración que, además favorece el equilibrio ecológico de los sistemas.

5.- ACTUACIONES PUNTUALES EN LA CUENCA PARA PALIAR LAS AVENIDAS

Proponemos una reflexión sobre el mantenimiento de las repoblaciones forestales, muy importantes como instrumento para aumentar la infiltrabilidad.

Considerando los bosques, como se hace con una carretera repararlos, con la finalidad de que mantener su funcionalidad de infiltrar las aguas de lluvia. Son actuaciones puntuales que exigen, en primer lugar, identificar esos puntos, a los que no damos importancia pero que, en su conjunto, pueden ser importantes para paliar avenidas.





Ortofoto B/N 1:10.000 - Años 1956-57

© 2018 Gobierno de Navarra

ETRS-89 UTM-30 N (m) :
v=60R 07R



Ortofoto B/N 1:5.000 - Años 1966-71

© 2018 Gobierno de Navarra

ETRS-89 UTM-30 N (m) :



Ortofoto Color 1:5.000 - Año 2005

© 2018 Gobierno de Navarra

ETRS-89 UTM-30 N (m) :



Ortofoto Color 1:5.000 - Año 2017

© 2018 Gobierno de Navarra

ETRS-89 UTM-30 N (m) :

Eugenio de Ezquerria Cobertera



Ingeniero Agrónomo
Geógrafo

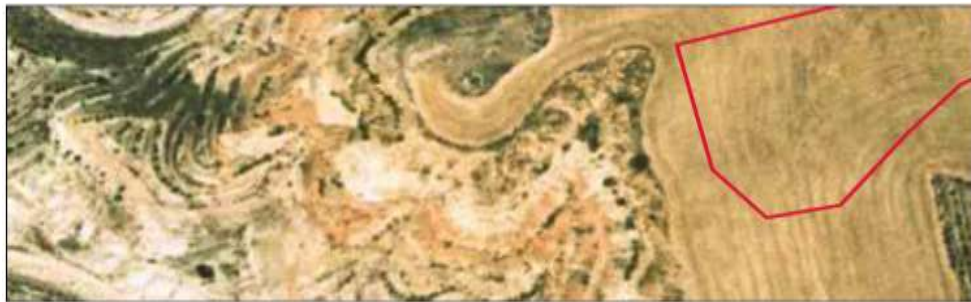
Las ortofotos anteriores, ejemplo como tal, sin entrar en el porqué, sino sólo para llamar la atención que en esta repoblación que ya se ha consolidado, sin embargo queda abierta precisamente al SE, sobre el río Arga.

En un caso así, si es posible, podría ejecutarse un cierre completo en el punto final de la vertiente, que en este caso pasa directamente a un cantil sobre la terraza baja del Arga. Actuación para completar la repoblación, quizás incluyendo medios estructurales, como los de la fotografía siguiente. Así, poco a poco, se podría ir cosiendo el territorio y disminuyendo los caudales de escorrentía, en beneficio de las aguas subterráneas y de la propia vegetación, en un proceso de resiliencia.



Un ejemplo semejante al anterior, es decir una repoblación importante que puede mejorar su funcionalidad con respecto a la cuenca, cerrando las salidas con mayor pendiente que, desde el comienzo fueron deficientes.





Ortofoto Color 1:5.000 - Años 98-00

© 2018 Gobierno de Navarra

ETRS-89 UTM-30 N (m)



Ortofoto Color 1:5.000 - Año 2003

© 2018 Gobierno de Navarra

ETRS-89 UTM-30 N (m)



Ortofoto Color 1:5.000 - Año 2017

© 2018 Gobierno de Navarra

ETRS-89 UTM-30 N (m)

Tudela, 27 de febrero de 2018

Eugenio de Ezquerria Cobertera



Ingeniero Agrónomo
Geógrafo