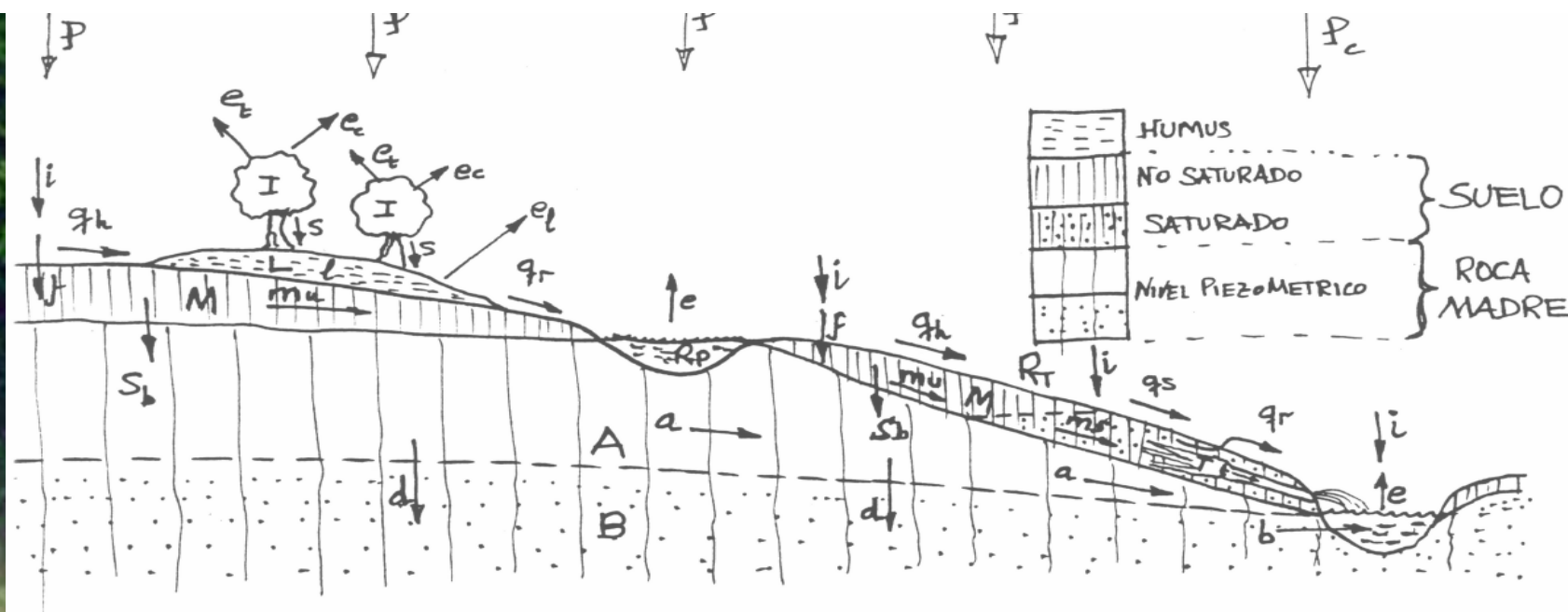


EL BOSQUE Y LA PRODUCCIÓN DE AGUA. CRITERIOS PARA UNA VALORACIÓN ECONÓMICA

Leopoldo Rojo Serrano
Dr. Ing. Montes
Dirección General para la Biodiversidad
Ministerio de Medio Ambiente



MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE

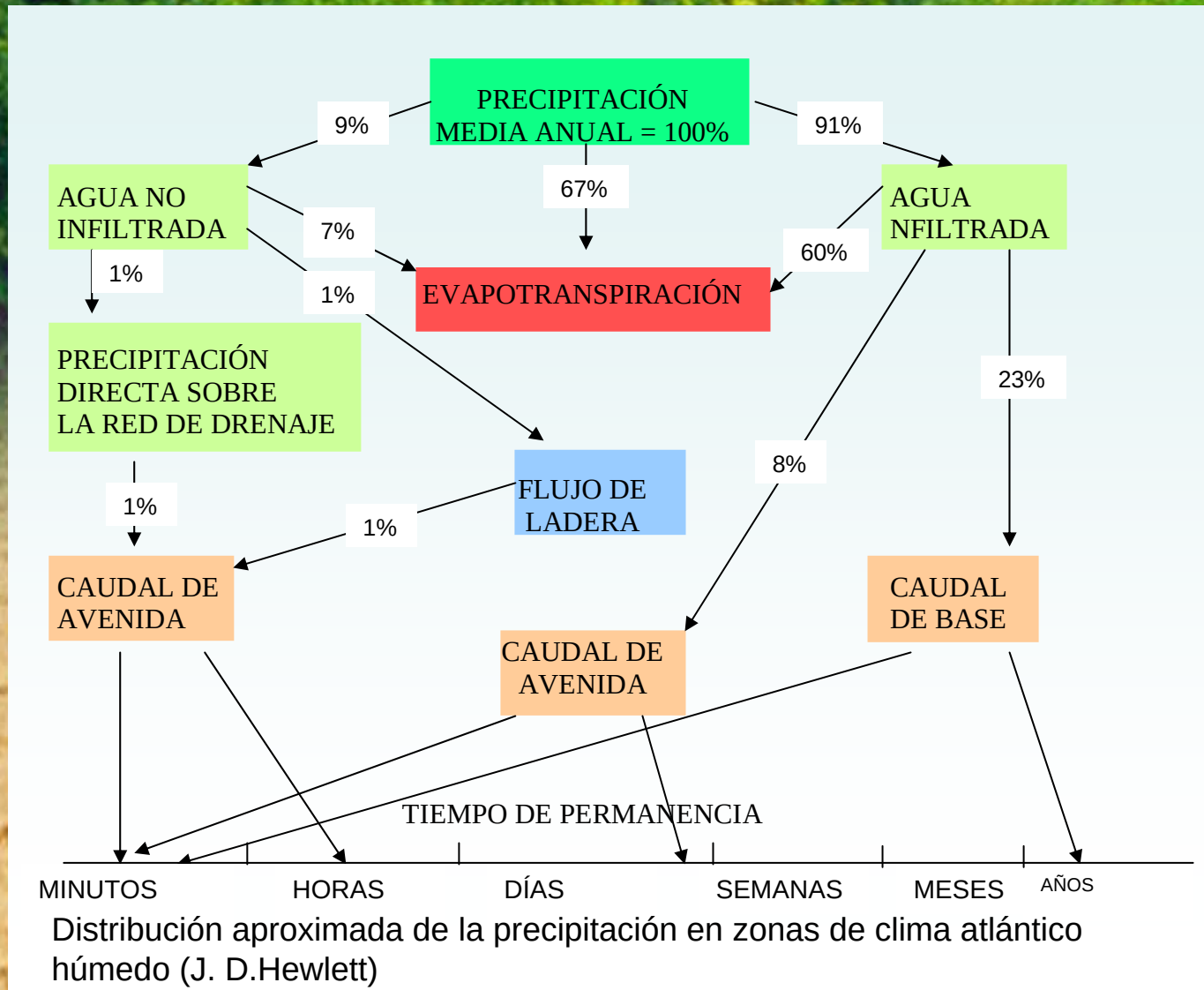


Precipitación	P	Escurrimiento laminar superficial	q_h
Precipitación en los cauces	P_c	Escurrimiento laminar saturado	q_s
Intensidad de lluvia	i	Flujo de retorno	q_r
Evapotranspiración	e	Flujo tubificado	t
Intercepción de las copas	ec	Almacenamiento tubificado	T
Intercepción y almacenamiento en copas	I	Escurrimiento subsuperficial no saturado	mu
Escurrimiento cortical	s	Escurrimiento subsuperficial saturado	ms
Escurrimiento en la cubierta muerta	l	Almacenamiento en el suelo	M
Intercepción en la cubierta muerta	el	Infiltración subedáfica	sb
Almacenamiento en la cubierta muerta	L	Escurrimiento profundo	a
Evaporación	e	Almacenamiento en la zona de aireación	A
Almacenamiento en depresiones	R_p	Infiltración profunda	d
Almacenamiento de detención	R_t	Flujo de base	b
Infiltración	f	Almacenamiento subterráneo	B

Figura 1. Componentes del ciclo hidrológico en ladera. Chorley, R.J.(1978)



MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE



$$E_1 = N_q - a_{ki}$$

a_{ki} aportación del río en el mes i del año k en Hm^3
 N nº de miles de segundos del mes considerado
 q caudal constante por segundo que sale del embalse
 E déficit o superravit de la aportación en Hm^3

$$E_n = \Sigma (N_q - a_{ki})$$

n nº de meses consecutivos de estiaje más desfavorable considerados

1 mes

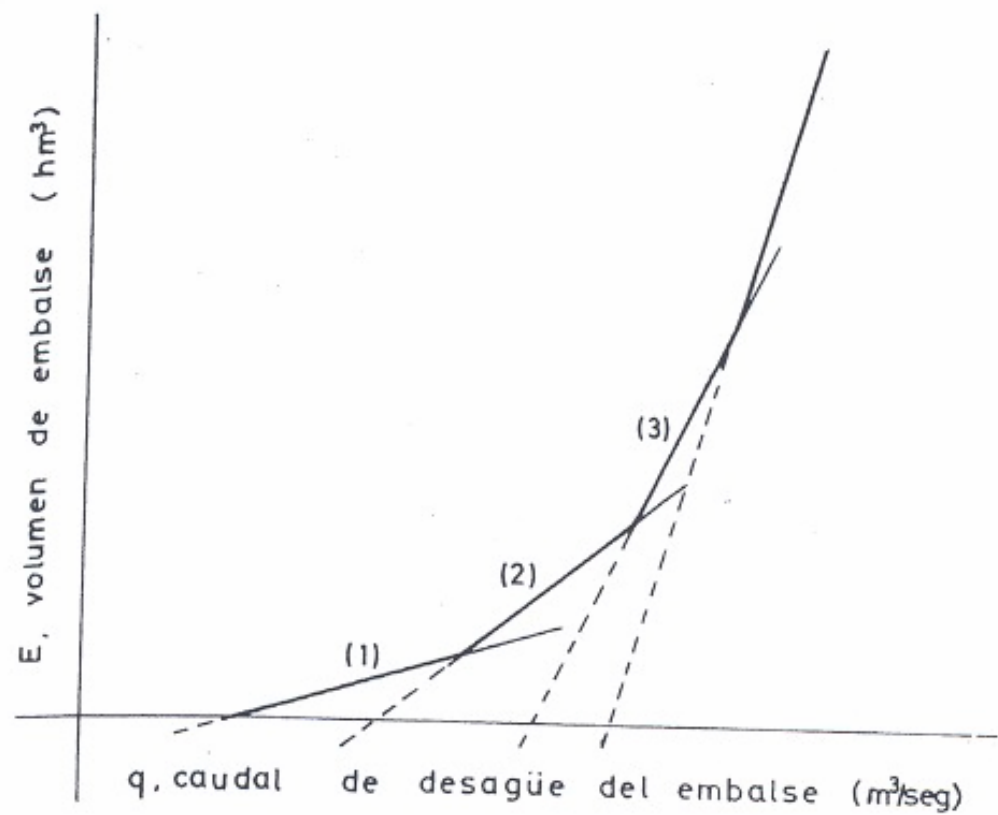
$$E_1 = 2.6q - a_{ki}$$

2 meses

$$E_2 = 5.2q - (a_{ki} + a_{k(i+1)})$$



MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE



Curva volumen de embalse-caudal regulado



MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE

El beneficio anual del aumento de la infiltración para cada unidad se calculó del siguiente modo:

$$IGB_i = P_i \cdot (IC^i_{\text{después del proyecto}} - IC^i_{\text{antes del proyecto}}) \cdot A_i \cdot p$$

Donde: P_i : precipitación anual en i
 IC : Coeficiente de infiltración por unidad en i
 A_i : Área de la unidad i
 P : Valor del aumento de la infiltración (5 pta/m³)

Sustituyendo los valores de descarga en las funciones de descarga apropiadas, se calcularon 168 valores:

$$d^T_i = d_i(q^T_i) \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, 28 \quad \text{y} \quad T = 1, 2, 5, 25, 50, 100$$

Sumando los valores de pérdida generados para cada una de los diferentes intervalos de recurrencia considerados:

Pérdida anual: $d^1 = d^1_1 + d^1_2 + \dots + d^1_{28} = \sum_{i=1}^{28} d^1_i$

Pérdida bianual: $d^2 = d^2_1 + d^2_2 + \dots + d^2_{28} = \sum_{i=1}^{28} d^2_i$

Pérdida quinquenal: $d^5 = d^5_1 + d^5_2 + \dots + d^5_{28} = \sum_{i=1}^{28} d^5_i$

Pérdida para $T = 25$ $d^{25} = d^{25}_1 + d^{25}_2 + \dots + d^{25}_{28} = \sum_{i=1}^{28} d^{25}_i$

Pérdida para $T = 50$ $d^{50} = d^{50}_1 + d^{50}_2 + \dots + d^{50}_{28} = \sum_{i=1}^{28} d^{50}_i$

Pérdida para $T = 100$ $d^{100} = d^{100}_1 + d^{100}_2 + \dots + d^{100}_{28} = \sum_{i=1}^{28} d^{100}_i$

Siendo D^T_0 el valor de una pérdida esperada asociada con el flujo de retorno para un período T, y asignando el período de pérdida al punto central de cada intervalo, para calcular el valor de pérdida anual previsto, descontando el año cero, se utilizó la siguiente expresión:

Donde:

$$D^1_0 = \frac{(1+r)^{100} - 1}{r(1+r')^{199}} \sum_{i=1}^{28} d^1_i$$

$$r = \text{Tasa de descenso anual}$$

$$(1+r')^2 = 1+r$$

De modo similar:

$$D^5_0 = \frac{(1+r)^{100} - 1}{[(1+r)^5 - 1](1+r')^{195}} \left[\sum_{i=1}^{28} d^5_i - \sum_{i=1}^{28} d^1_i \right]$$

$$D^{25}_0 = \frac{(1+r)^{100} - 1}{[(1+r)^{25} - 1](1+r')^{175}} \left[\sum_{i=1}^{28} d^{25}_i - \sum_{i=1}^{28} d^5_i \right]$$

$$D^{50}_0 = \frac{(1+r)^{100} - 1}{[(1+r)^{50} - 1](1+r')^{150}} \left[\sum_{i=1}^{28} d^{50}_i - \sum_{i=1}^{28} d^{25}_i \right]$$

$$D^{100}_0 = \frac{1}{(1+r)^{50}} \left[\sum_{i=1}^{28} d^{100}_i - \sum_{i=1}^{28} d^{50}_i \right]$$

El valor actual total de pérdidas esperadas se calculó sumando todos los valores de descenso (D^T_0 para T = 1, 5, 25, 50, 100):

$$D = D^1_0 + D^5 + D^{25} + D^{50} + D^{100}$$

Sustituyendo en las expresiones calculadas y acortando términos, el Valor Neto Actual de la pérdida esperada (PVD) viene dado por la expresión:

$$PVD = \left\{ \frac{(1+r)^{100} - 1}{r(1+r')^{199}} - \frac{(1+r)^{100} - 1}{[(1+r)^5 - 1](1+r')^{195}} \right\} \sum_{i=1}^{28} d_i^1 \left\{ \frac{(1+r)^{100} - 1}{[(1+r)^5 - 1](1+r')^{195}} - \frac{(1+r)^{100} - 1}{[(1+r)^{25} - 1](1+r')^{175}} \right\} \sum_{i=1}^{28} d_i^5 +$$

$$+ \left\{ \frac{(1+r)^{100} - 1}{[(1+r)^{25} - 1](1+r')^{175}} - \frac{(1+r)^{100} - 1}{[(1+r)^{50} - 1](1+r')^{150}} \right\} \sum_{i=1}^{28} d_i^{25} + \left\{ \frac{(1+r)^{100} - 1}{[(1+r)^{50} - 1](1+r')^{150}} - \frac{1}{(1+r)^{50}} \right\} \sum_{i=1}^{28} d_i^{50} +$$

$$+ \frac{1}{(1+r)^{50}} \sum_{i=1}^{28} d_i^{100}$$

Para una tasa anual de descenso del 2%, la función de pérdida viene dada por la expresión:

$$PVD = 17.36 \sum_{i=1}^{28} d_i^1 + 17.46 \sum_{i=1}^{28} d_i^2 + 6.98 \sum_{i=1}^{28} d_i^5 + 0.89 \sum_{i=1}^{28} d_i^{25} + 0.46 \sum_{i=1}^{28} d_i^{50} + 0.37 \sum_{i=1}^{28} d_i^{100}$$

En tanto que para una tasa anual de descenso del 3.5%, se obtiene la siguiente expresión:

$$PVD = 12.75 \sum_{i=1}^{28} d_i^1 + 12.91 \sum_{i=1}^{28} d_i^2 + 5.15 \sum_{i=1}^{28} d_i^5 + 0.67 \sum_{i=1}^{28} d_i^{25} + 0.36 \sum_{i=1}^{28} d_i^{50} + 0.23 \sum_{i=1}^{28} d_i^{100}$$

Los beneficios del proyecto de restauración en términos de reducción de pérdida de flujo esperada para cultivos agrícolas puede ser calculada como:

$$\text{Beneficios de la reducción de flujo} = PVD_{\text{sin proyecto}} - PVD_{\text{con proyecto}}$$



MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE

Valoración económica de los beneficios debido al incremento de infiltración

Para cada unidad de gestión, el valor de infiltración actual ganada es:

$$PVIG_i = \frac{(1+r)^{100} - 1}{r(1+r)^{100}} IGB_i$$

Donde: $PVIG_i$: Valor actual de la infiltración ganada en la unidad i

IGB_i : Beneficio de la infiltración anual en la unidad i

i: Unidad de gestión (i = 1, 2, ..., 9)

Así, el aumento de la infiltración para la cuenca de Nogalte en su totalidad es:

$$PVIG_i = \frac{(1+r)^{100} - 1}{r(1+r)^{100}} \sum_{i=1}^9 IGB_i$$

Sustituyendo por las tasas actuales de pérdida, el aumento de infiltración viene dado por:

$$PVIG = 43.10 \sum_{i=1}^9 IGB_i \quad \text{para } r = 2\%, \text{ y}$$

$$PVIG = 31.60 \sum_{i=1}^9 IGB_i \quad \text{para } r = 3\%,$$



MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE

Figure 5 **Topographic data for cross section 24**

Distance			Elevation (m)		
(m)			Absolute	Relative	
2.57	750.07	3.07			
12.14	747.33	0.33			
16.36	747.37	0.37			
22.67	747.02	0.02			
26.74	747.00	0.00			
28.29	747.47	0.47			
29.83	747.02	0.02			
33.03	747.00	0.00			
40.18	747.22	0.22			
42.09	747.11	0.11			
43.19	747.29	0.29			
Distance			Elevation (m)		
(m)			Absolute	Relative	
45.01	747.06	0.06			
48.50	747.21	0.21			
50.47	747.00	0.00			
53.19	747.34	0.34			
56.76	747.21	0.21			
59.79	748.84	1.84			
61.88	748.23	1.23			
72.83	748.20	1.20			
83.81	748.27	1.27			
87.89	750.16	3.16			

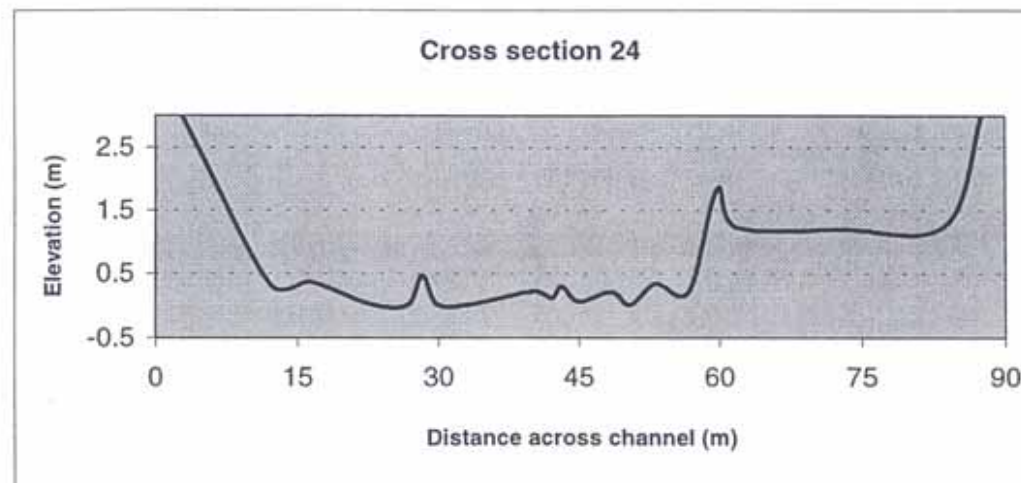
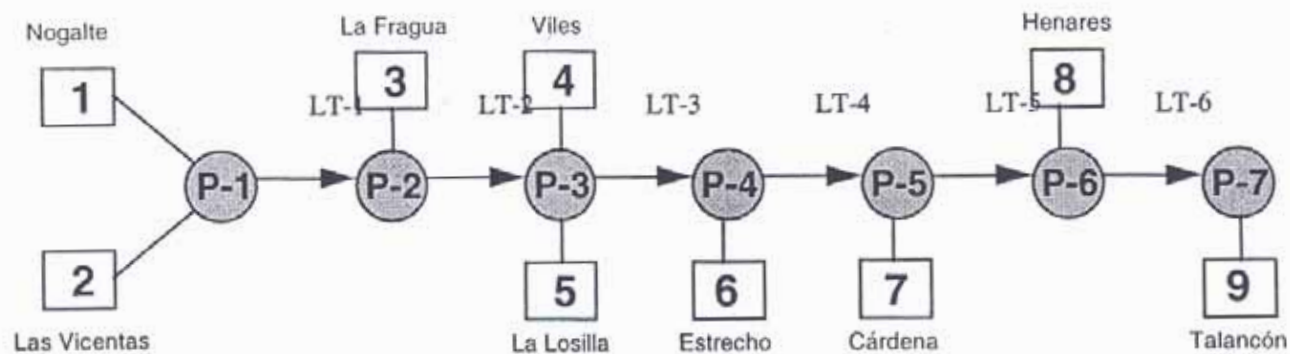


Figure 4 **Rainfall-Runoff Modelling Using HEC-1. Schematic representation of the of the Nogalte River Basin**



MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE

Figure 7 **Stage-damage function for cross section 12**

Stage - damage function:

$h \leq 1.11 \text{ m}$	$\Rightarrow$	$d = 0$
$1.11 \text{ m} < h \leq 1.27 \text{ m}$	$\Rightarrow$	$d = 4.07 h - 4.51$
$1.27 \text{ m} < h \leq 1.32 \text{ m}$	$\Rightarrow$	$d = 15.34 h - 18.83$
$1.32 \text{ m} < h \leq 1.35 \text{ m}$	$\Rightarrow$	$d = 8.64 h - 9.98$
$1.35 \text{ m} < h \leq 1.38 \text{ m}$	$\Rightarrow$	$d = 6.49 h - 7.09$
$1.38 \text{ m} < h \leq 1.43 \text{ m}$	$\Rightarrow$	$d = 1.92 h - 0.78$
$1.43 \text{ m} < h \leq 1.49 \text{ m}$	$\Rightarrow$	$d = 1.97$
$1.49 \text{ m} < h \leq 1.62 \text{ m}$	$\Rightarrow$	$d = 14.59 h - 19.77$
$1.62 \text{ m} < h \leq 2.00 \text{ m}$	$\Rightarrow$	$d = 13.21 h - 17.54$

where: h : Water surface elevation (m)
 d : Damaged area (ha)

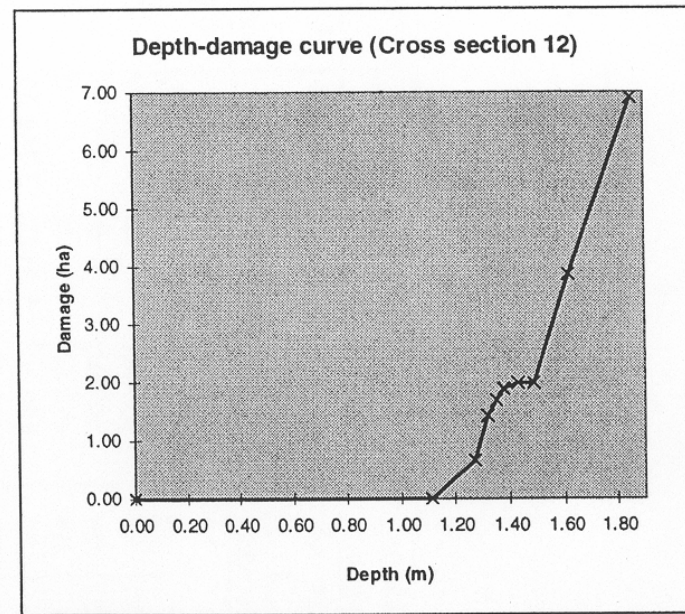


Figure 7 Hydrographs computed through the HEC-1 model

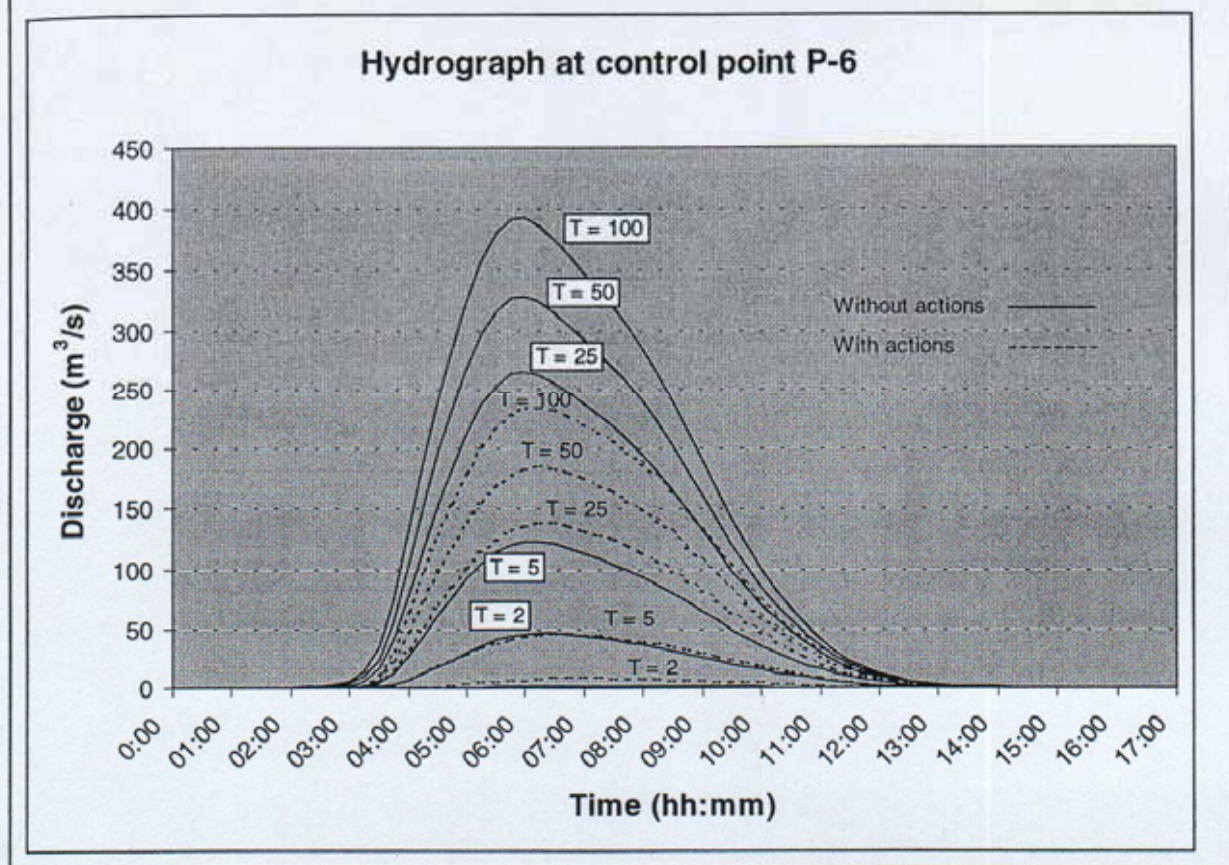


Table 11 Infiltration increase in management units 7, 8 and 9

Curve number		Increase in infiltration	Management unit 7		Management unit 8		Management unit 9	
before	after		Affected	Δinfiltratio n	Affected	Δinfiltratio n	Affected	Δinfiltratio n
project		(m ³ /ha/yr)	area (ha)	(m ³ /yr)	area (ha)	(m ³ /yr)	area (ha)	(m ³ /yr)
69	58	182.04	10.6121	1,931.82	4.6605	848.39	48.0296	8,743.26
72	58	266.58	3.9993	1,066.14	0	0	2.2120	589.68
78	58	489.22	0	0	0	0	2.1090	1,031.76
81	58	632.52	13.8631	8,768.71	11.6271	7,354.40	13.8226	8,743.10
74	70	123.96	67.0921	8,316.47	0	0	26.3057	3,260.75
77	70	238.21	0	0	1.5431	367.58	0	0
79	70	325.84	443.7729	144,596.81	369.7819	120,487.94	827.0748	269,490.04
81	70	424.11	2.5367	1,075.84	91.6665	38,876.59	8.0418	3,410.60
83	70	535.45	0.9697	519.23	25.1388	13,460.59	0	0
85	70	661.70	2.3124	1,530.11	8.5547	5,660.63	314.0509	207,806.96
86	70	731.10	0	0	13.8443	10,121.51	0	0
88	70	884.15	343.5717	303,769.43	731.0731	646,379.38	181.4636	160,441.31
TOTAL			888.73	471,574.55	1257.89	843,557.00	1423.11	663,517.46
Average infiltration increase (m ³ /ha/yr)				530.62		670.61		466.24



EL BOSQUE Y LA PRODUCCIÓN DE AGUA. CRITERIOS PARA UNA VALORACIÓN ECONÓMICA

Leopoldo Rojo Serrano
Dr. Ing. Montes
Dirección General para la Biodiversidad
Ministerio de Medio Ambiente



MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE