

II Encuentro sobre Restauración Hidrológico-Forestal Uva-UCAV

# Efectos sobre el suelo y la vegetación de la restauración de las cárcavas de Tórtoles (Ávila) después de 50 años

Jorge Mongil Manso ([jorge.mongil@ucavila.es](mailto:jorge.mongil@ucavila.es))  
 Joaquín Navarro Hevia  
 Virginia Díaz Gutiérrez  
 Verónica Cruz Alonso  
 Iván Ramos Díez

## INTRODUCCIÓN

- *Badlands* y producción de sedimentos
- Producción de sedimentos: factores
- Evaluación de restauraciones de cárcavas a largo plazo
- La vegetación protege de la erosión y mejora el suelo
- Política hidráulica y restauradora en España (1940-1960)



## Producción de sedimentos: factores

Litología	Cerdá (1997); Valentin <i>et al.</i> (2005)
Pendiente	Regüés & Gallart (2004); Bochet <i>et al.</i> (2009); Torri <i>et al.</i> (2013)
Orientación	Colica (1992); Regüés & Gallart (2004); Castaldi & Chiocchini (2012); Biervaß <i>et al.</i> (2014)
Suelo (textura, MO, estructura, humedad, densidad aparente...)	Gallart <i>et al.</i> (2002); Valentin <i>et al.</i> (2005); Zheng <i>et al.</i> (2008); Zougmore (2009); Zhang <i>et al.</i> (2013); Biervaß <i>et al.</i> (2014)
Costras edáficas	Finlayson <i>et al.</i> (1987); Valentin <i>et al.</i> (2005)
Clima (aridez, precipitación, eventos extremos, intensidad de lluvia...)	Gallart <i>et al.</i> (2002); Valentin <i>et al.</i> (2005); Zheng <i>et al.</i> (2008)
Cambios de uso del suelo	Bork (2004); Valentin <i>et al.</i> (2005); Castaldi & Chiocchini (2012)
Antecedentes históricos	Valentin <i>et al.</i> (2005)



## INTRODUCCIÓN

- *Badlands* y producción de sedimentos
- Producción de sedimentos: factores
- Evaluación de restauraciones de cárcavas a largo plazo
- La vegetación protege de la erosión y mejora el suelo
- Política hidráulica y restauradora en España (1940-1960)



## La vegetación protege de la erosión y mejora el suelo

- Favorece la infiltración del agua, incrementando las tasas de infiltración (Bruijnzeel, 2004; Zheng *et al.*, 2005; Valentin *et al.*, 2005; Perkins *et al.*, 2012; Fields-Johnson *et al.*, 2012; Navarro *et al.*, 2014)
- Protege el suelo por armado de raíces, intercepción e incremento de rugosidad superficial (Gallart *et al.*, 2002; Valentin *et al.*, 2005; Zheng *et al.*, 2008; Torri *et al.*, 2013; Navarro *et al.*, 2014)
- Los sedimentos provenientes de cárcavas puede reducirse un 62% al establecerse bosque (Gómez *et al.*, 2003; Valentin *et al.*, 2005)
- Mejora las propiedades químicas, físicas e hidrológicas del suelo (Biervaß *et al.*, 2014)
- Genera mayor espesor de la capa de mantillo (Navarro *et al.*, 2014), lo que mejora la estructura, la comunidad microbiana, el ciclo de nutrientes y el pH (Zheng *et al.*, 2005), y en definitiva generan suelos de mayor calidad (Zheng *et al.*, 2005; Zhang *et al.*, 2013)
- La erosionabilidad en suelos desnudos y deforestados son similares en periodos menores a un siglo (Navarro *et al.*, 2014)
- La evolución de algunas propiedades del suelo como la fertilidad puede ser lenta (Vallauri *et al.*, 2002; Perkins *et al.*, 2012)



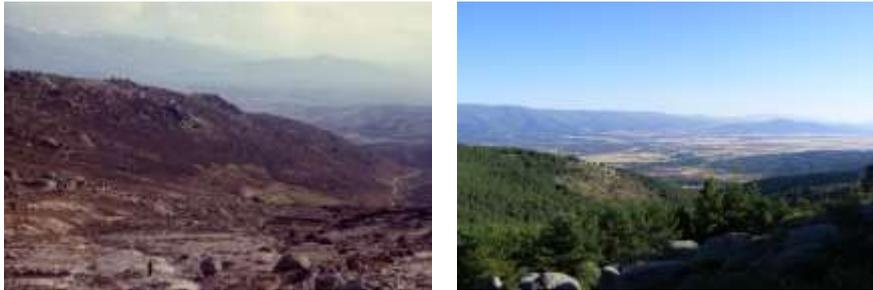
## INTRODUCCIÓN

- *Badlands* y producción de sedimentos
- Producción de sedimentos: factores
- Evaluación de restauraciones de cárcavas a largo plazo
- La vegetación protege de la erosión y mejora el suelo
- Política hidráulica y restauradora en España (1940-1960)

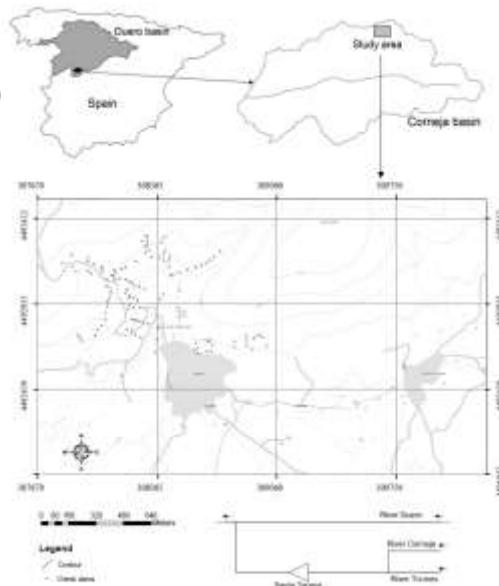


## Objetivo

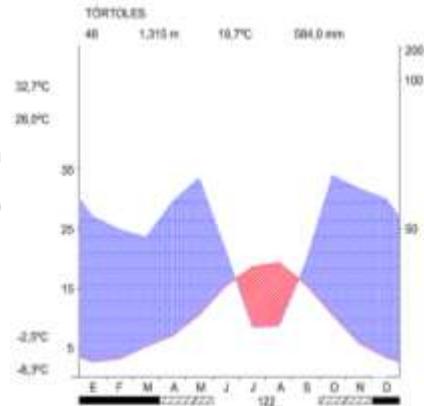
Evaluar la evolución de la cubierta vegetal, del suelo y los procesos erosivos en una zona de *badlands* sobre suelos graníticos en el Centro de España, bajo clima mediterráneo-continental, después de una restauración proyectada en 1964.



## ÁREA DE ESTUDIO



- P media anual = 571 mm
- Factor R erosividad de la lluvia (Wischmeier & Smith, 1978) =  $860 \text{ MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$
- ETP Thornthwaite = 659 mm
- T media anual =  $10,6 \text{ }^\circ\text{C}$
- Periodo seco = 2,4 meses.
- Clima mediterráneo-continental.
- Índice aridez UNEP (1997) = 0,89 zona húmeda
- Índice pluviosidad Lang (1915) = 53,9 semiárido
- Monzogranitos biotíticos porfídicos de grano grueso (IGME, 2008), aspecto meteorizado, bolos y canchales
- Orthents y Xerepts (USDA, 2010)
- 70% Ar, pH 6,7
- Vegetación original: bosques de encina y rebollo
- Vegetación actual: pinar de *Psyl*, *Ppt*, *Php*



## MATERIAL Y MÉTODOS

### Fuentes de información:

- Ordenanzas municipales de Bonilla de la Sierra (siglo XVI)
- Catastro del Marqués de la Ensenada (1750-1760)
- Diccionario Geográfico-Estadístico de Madoz (1850)
- Catálogos antiguos de montes de utilidad pública: Clasificación de Montes Públicos Exceptuados de Desamortización (1859) (ICONA, 1990), Catálogo de los Montes Públicos Exceptuados de la Desamortización (1862) (ICONA, 1991), Catálogo de los Montes y demás Terrenos Forestales Exceptuados de la Desamortización por Razones de Utilidad Pública (1901) (ICONA, 1993), y actual Catálogo de Montes de Utilidad Pública (JCYL, 2001).
- Fotografías aéreas de 1945, 1956, 1977, 1984, 2002 y 2007.
- Proyectos de restauración de la Confederación Hidrográfica del Duero. En total 6 proyectos redactados entre 1964 y 1971 por el ingeniero de montes David Azcarretazábal, que incluyen una buena colección de fotografías anteriores a la restauración.
- Fotografías actuales realizadas en los transectos efectuados en campo.

+Inventario florístico de árboles, arbustos y matorrales



## Muestreo

4 tipos de vegetación: Pinar, Matorral, Cárcavas y laderas degradadas, Cuñas de diques

Para cada uno de ellos: 3 parcelas (en total 12)

Variables medidas/calculadas	
Profundidad del perfil	P
Espesor de restos vegetales y de humus	K
Elementos gruesos	N
Textura	Na
pH	C/N
Conductividad eléctrica	Grupo hidrológico de suelo
Materia orgánica	Erosionabilidad
Carbonatos	RAS
Caliza activa	Tasa de infiltración
Ca	Resistencia a penetración
Mg	Resistencia a cortante



Para caracterizar la masa forestal:

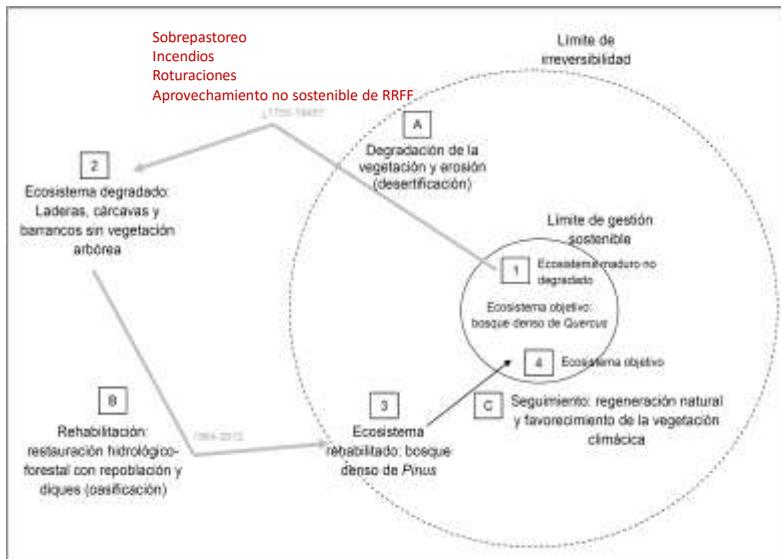
12 parcelas circulares de 10 m de diámetro

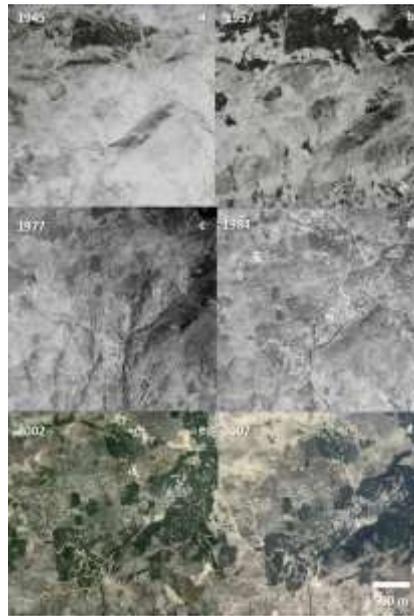
Variables medidas: densidad (pies/ha), diámetro normal, altura total



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

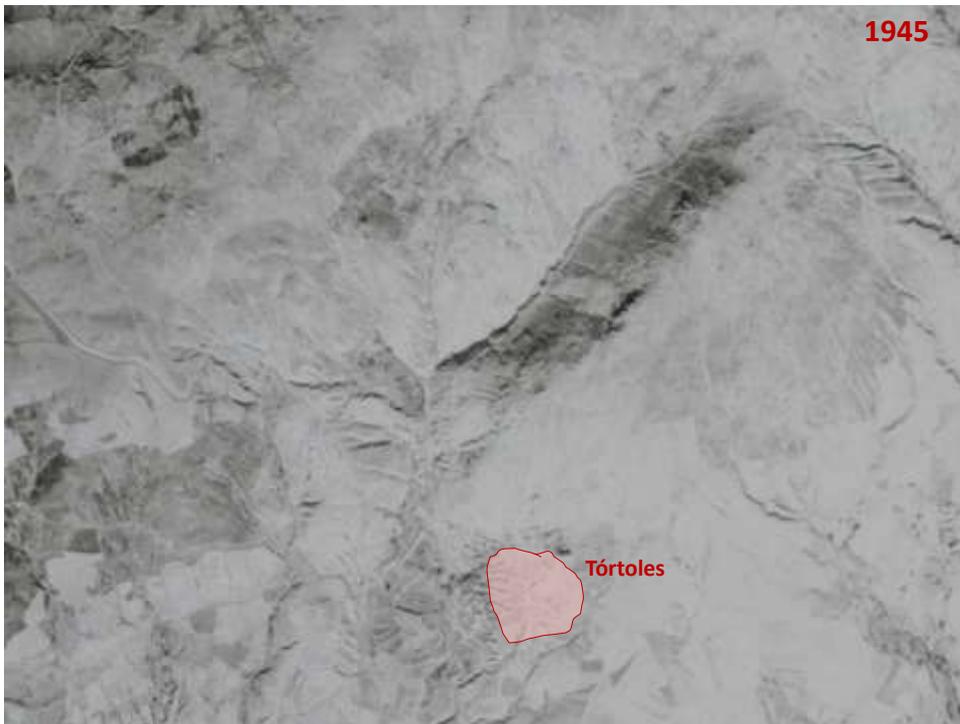
- Vegetación
- Suelo
- Erosión

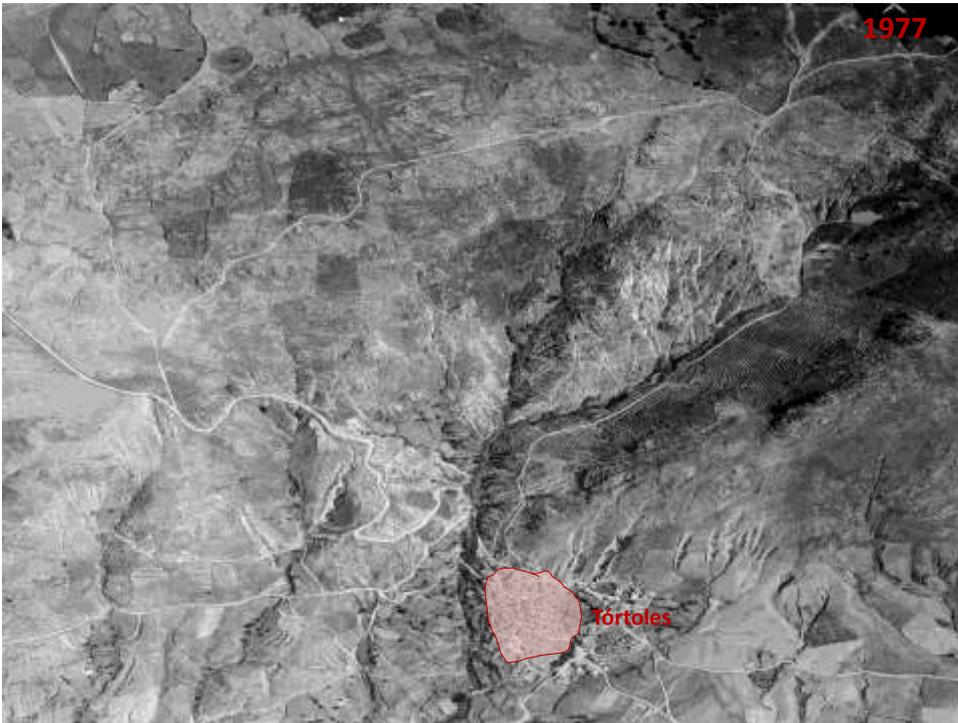
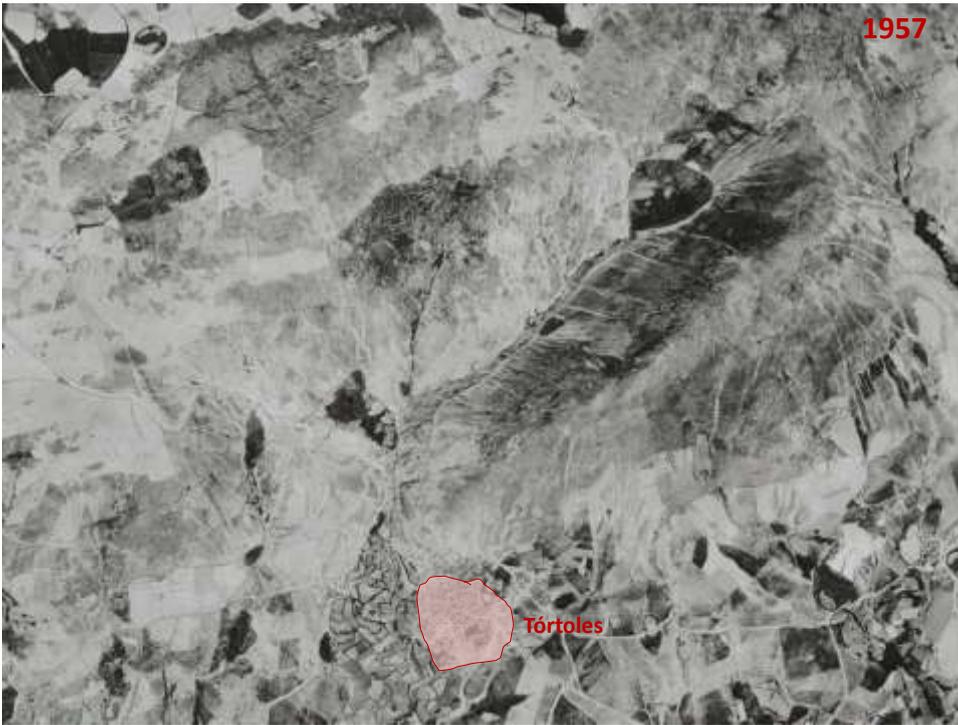




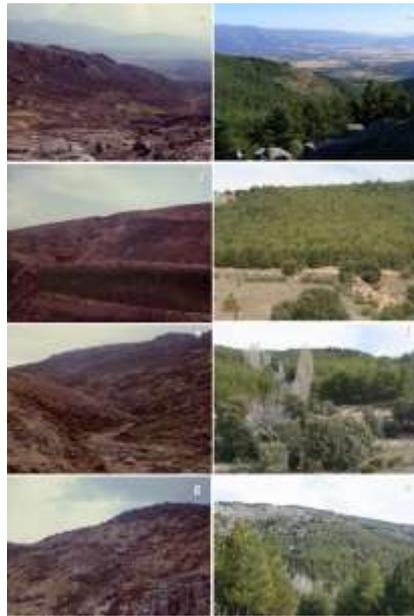
Instituto de Geografía y Geomática

UCAV  
www.uca-ile.es









Year	Characteristics of the tree cover	SF (ha)	SF (%)
1945	<b>Total tree covered surface</b>	<b>8.16</b>	<b>1.11</b>
	Native oak grove	8.16	1.11
	Reforested surface	0.00	0.00
1957	<b>Total tree covered surface</b>	<b>8.16</b>	<b>1.11</b>
	Native oak grove	8.16	1.11
	Reforested covered surface	0.00	0.00
1977	<b>Total tree covered surface</b>	<b>16.35</b>	<b>2.22</b>
	Riparian grove	1.64	0.22
	Native oak grove	8.16	1.11
	Reforested covered surface	6.53	0.89
	<b>Bare reforested surface</b>	<b>57.36</b>	<b>7.78</b>
1984	<b>Total tree covered surface</b>	<b>250.87</b>	<b>34.04</b>
	Riparian grove	16.40	2.23
	Native oak grove	81.58	11.07
	Reforested covered surface	152.89	20.75
	<b>Bare reforested surface</b>	<b>486.02</b>	<b>65.95</b>
2002	<b>Total tree covered surface</b>	<b>736.90</b>	<b>100.00</b>
	Riparian grove	16.40	2.23
	Native oak grove	81.58	11.07
	Reforested covered surface	638.91	86.70
	<b>Bare reforested surface</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
2007	<b>Total tree covered surface</b>	<b>736.90</b>	<b>100.00</b>
	Riparian grove	16.40	2.23
	Native oak grove	81.58	11.07
	Reforested covered surface	638.91	86.70
	<b>Bare reforested surface</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>



Layer	Before restoration according to the restoration project (Azcarretazabal, 1964)		Present day	
Trees and bushes	<i>Castagus monogyna</i>	Very scarce	<i>Pinus pinaster</i>	Abundant
			<i>Pinus silvestris</i>	Abundant
	<i>Rosa canina</i>	Very scarce	<i>Pinus halepensis</i>	Frequent
			<i>Pinus nigra ssp. nigra</i>	Frequent
	<i>Sambucus nigra</i>	Very scarce	<i>Castagus monogyna</i>	Frequent
			<i>Rosa canina</i>	Frequent
	<i>Quercus ilex ssp. ballota</i>	Very scarce	<i>Cupressus arizonica</i>	Scarce
			<i>Sambucus nigra</i>	Scarce
	<i>Populus nigra</i>	Scarce	<i>Quercus ilex ssp. ballota</i>	Scarce
			<i>Populus nigra</i>	Scarce, only at the bottom of ravines
<i>Populus trichocarpa</i>	Very scarce	<i>Populus x euroamericana</i>	Scarce, only at the bottom of ravines	
		<i>Populus trichocarpa</i>	Scarce, only at the bottom of ravines	
<i>Salix caprea</i>	Very scarce	<i>Salix caprea</i>	Scarce, only at the bottom of ravines	
		<i>Salix atrocinerea</i>	Scarce, only at the bottom of ravines	
<i>Quercus pyrenaica</i>	Very scarce	<i>Salix fragilis</i>	Scarce, only at the bottom of ravines	
		<i>Ulmus minor</i>	Scarce, only at the bottom of ravines	
Shrubs	Abundant	<i>Quercus pyrenaica</i>	Very scarce	
		<i>Prunus avium</i>	Very scarce	
		<i>Juglans regia</i>	Very scarce	
		<i>Thymus zygis</i>	Frequent, only in treeless areas	
		<i>Cistus albidus</i>		
Abundant	Abundant	<i>Lamium stoechas</i>		
		<i>Retama sphaerocarpa</i>		
Abundant	Abundant	<i>Cistus scoparius</i>		



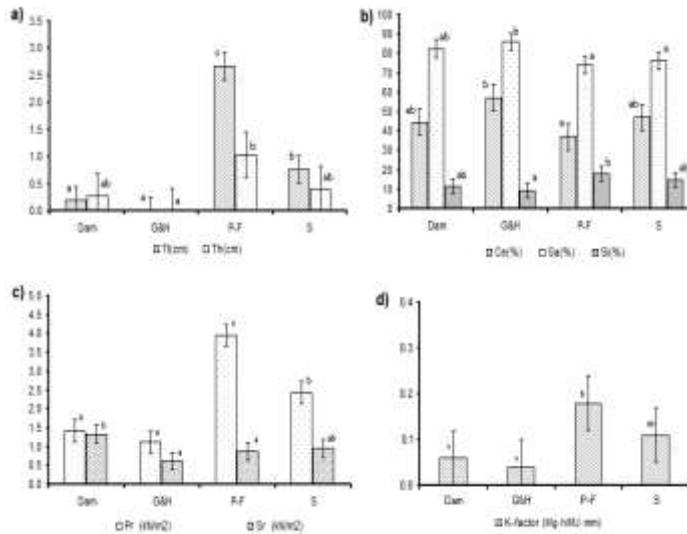
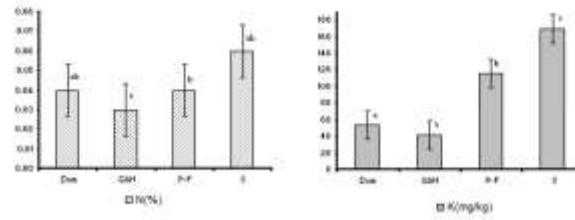
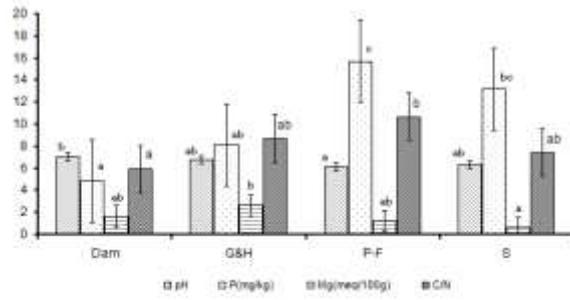
Plot	Coords: UTM 30N Datum ETR89	Species	D (trees·ha <sup>-1</sup> )	D <sub>m</sub> (m)	H (m)
1	307682, 4493333	Psl, Ppt	2,500	0.35	12.0
2	308122, 4492573	Psl, Ppt	3,000	0.30	10.0
3	308118, 4492637	Psl, Ppt	2,500	0.20	5.0
4	308895, 4493367	Psl	3,333	0.20	10.0
5	309255, 4494099	Psl, Png, Ppt	2,769	0.12	9.0
6	309279, 4494077	Ppt, Psl	1,687	0.19	6.0
7	309226, 4494095	Psl, Png, Ppt	4,775	0.10	6.0
8	309252, 4494060	Psl	1,894	0.17	6.0
9	307716, 4493314	Psl	2,706	0.13	7.0
10	307743, 4493320	Psl	2,501	0.11	5.0
11	307810, 4493336	Png, Ppt	2,546	0.15	6.0
12	307840, 4493342	Png, Ppt	2,642	0.14	6.5
Mean			2,737.75	0.18	7.38
Standard deviation			774.98	0.08	2.29



\*Significant differences at the 95% (\*\* 99%) confidence level

	Shrub (a)	Gullies and hillslopes (b)	Pine-forest (c)	Check dam (d)	p-value ANOVA	Number of samples (a/b/c/d)
<b>Physical properties</b>						
Thickness of litter (cm)	0.5	0.0	2.7	0.2	0.0000**	3/3/3/3
Thickness of surface (cm)	0.2	0.0	1.0	0.3	0.1020	3/3/3/3
Course elements (%)	47.14	37.22	37.28	44.72	0.0789	3/3/3/3
Sand USDA (%)	70.97	86.33	74.31	82.67	0.0482*	3/3/3/3
Silt USDA (%)	23.48	9.45	18.08	11.52	0.1186	3/3/3/3
Clay USDA (%)	7.38	7.57	7.60	5.81	0.2992	3/3/3/3
Steady-state infiltration rate (mm h <sup>-1</sup> )	405.13	369.00	335.56	303.11	0.3321	4/9/9/9
Penetration resistance (kN m <sup>-2</sup> )	217	110	375	139	0.0000**	4/4/4/4/4/4
Shear-strength resistance (kN m <sup>-2</sup> )	92	61	82	132	0.0220*	4/4/4/4/4/4
Hydrologic Soil Group (NRCS, 2007)	A-B	A-B	A-B	A-B	-	3/3/3/3
Water soil content -33 bar (%)	0.1118	0.1011	0.1185	0.1010	0.4511	3/3/3/3
Erodibility (Mg h t <sup>-1</sup> mm <sup>-2</sup> )	0.11	0.04	0.18	0.00	0.0566	3/3/3/3
<b>Chemical properties</b>						
pH	6.59	6.80	6.16	7.07	0.0954	3/3/3/3
EC (µS cm <sup>-1</sup> )	0.04	0.05	0.05	0.06	0.5716	3/3/3/3
OM (%)	0.54	0.37	0.69	0.41	0.1990	3/3/3/3
DB (%)	0.32	0.22	0.36	0.25	0.3014	3/3/3/3
P (mg Kg <sup>-1</sup> )	10.47	8.15	15.71	4.87	0.0583*	3/3/3/3
K (mg Kg <sup>-1</sup> )	95.01	41.67	115.22	54.00	0.0001**	3/3/3/3
Ca (mg 100g <sup>-1</sup> )	6.14	8.77	6.18	6.19	0.3143	3/3/3/3
Mg (mg 100g <sup>-1</sup> )	1.55	2.64	1.26	1.05	0.1913	3/3/3/3
Na (mg 100g <sup>-1</sup> )	0.10	0.10	0.14	0.01	0.7558	3/3/3/3
SAR	0.18	0.23	0.28	0.02	0.4473	3/3/3/3
N (%)	0.04	0.05	0.04	0.04	0.0650	3/3/3/3
C/N	8.19	8.70	10.67	5.94	0.1497	3/3/3/3







- Tasa de erosión en 50 años (Díaz, 2015):  $5,4 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$   
 $>0,3\text{-}1,4 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$  No tolerable (Verheijen *et al.*, 2009)
- Tasas de erosión actuales (Díaz, 2015):  
 Pinar:  $0,1 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$   
 Cárcavas activas:  $59,9 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$



## CONCLUSIONES

- El análisis de la evolución histórica de la vegetación muestra que la gestión tradicional, carente de medidas efectivas de protección, provocó la desaparición del bosque original de encina y roble.
- Esto supuso la desprotección del suelo y el consecuente agravamiento de procesos erosivos como erosión laminar y en regueros, cárcavas y barrancos.



- La restauración hidrológico-forestal llevada a cabo en 1964-65, que pretendía reducir la cantidad de sedimentos que llegaran al embalse de Santa Teresa, ha conseguido una cubierta forestal densa, reducir la erosión (prácticamente se ha anulado), acelerar la edafogénesis y crear un ambiente adecuado para recuperar el bosque original.
- En los terrenos restaurados:
  - Mayor espesor de restos vegetales y de humus
  - Mayores contenidos de P y K
  - Mayor resistencia a la penetración
  - Mejores indicadores biológicos (fauna edáfica, hongos)
- En definitiva, la mejora del suelo se ha producido aunque es lenta



II Encuentro sobre Restauración Hidrológico-Forestal Uva-UCAV

# **Efectos sobre el suelo y la vegetación de la restauración de las cárcavas de Tórtoles (Ávila) después de 50 años**

**Jorge Mongil Manso ([jorge.mongil@ucavila.es](mailto:jorge.mongil@ucavila.es))  
Joaquín Navarro Hevia  
Virginia Díaz Gutiérrez  
Verónica Cruz Alonso  
Iván Ramos Díez**