

# RESTAURACIÓN DE LA CUBIERTA VEGETAL Y DE ESPACIOS DEGRADADOS EN LA REGIÓN DE LA MACARONESIA

---

Juan Carlos Santamarta Cerezal  
Jorge Naranjo Borges



# RESTAURACIÓN DE LA CUBIERTA VEGETAL Y DE ESPACIOS DEGRADADOS EN LA REGIÓN DE LA MACARONESIA

---

Juan Carlos Santamarta Cerezal  
Jorge Naranjo Borges



2015



Restauración de la Cubierta Vegetal y de Espacios Degradados en la Región de la Macaronesia

© 2015, los autores



Colegio de Ingenieros de Montes

Calle Cristóbal Bordiú, 19 28003 Madrid

Teléfono +34 915 34 60 05

*colegio@ingenierosdemontes.org*

Depósito Legal: TF 870-2015

ISBN: 978-84-608-3697-1

481 pp. ; 24 cm.

1ª Ed: noviembre, 2015

Diseño:

Alba Fuentes Porto

Como citar este libro:

Santamarta, J.C., Naranjo Borges, J. (eds.) (2015). Restauración de la Cubierta Vegetal y de Espacios Degradados en la Región de la Macaronesia. Madrid: Colegio de Ingenieros de Montes.

Fotos de la Portada, Mª V. Santana y Jorge Naranjo Borges

Ninguna parte de este libro puede ser reproducida transmitida en cualquier forma o por cualquier medio, electrónico o mecánico, incluido fotografías, grabación o por cualquier sistema de almacenar información sin el permiso del autores.

# Índice

---

PRÓLOGO.....	11
PRÓLOGO DE LOS AUTORES.....	13

## MÓDULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA RESTAURACIÓN

### CAPÍTULO I

#### DEGRADACIÓN DE ESPACIOS NATURALES EN LA REGIÓN DE LA MACARONESIA

*Santamarta Cerezal, Juan Carlos ; Naranjo Borges, Jorge.*

1. Introducción.....	17
2. Espacios degradados por incendios forestales.....	18
3. Espacios degradados por el pastoreo.....	20
4. Espacios degradados versus especies invasoras.....	23
5. Espacios degradados por la erosión y desertificación.....	26
6. Vertederos en espacios insulares.....	28
7. Espacios agrícolas marginales abandonados.....	30
8. Espacios degradados por actividades mineras.....	32
9. Bibliografía.....	35

### CAPÍTULO 2

#### SINGULARIDADES DE LA REGIÓN MACARONÉSICA

*Salas Pascual, Marcos; Naranjo Cigala, Agustín.*

1. Introducción.....	37
2. La Macaronesia: ¿una, muchas o ninguna?.....	40
3. La biodiversidad de la Macaronesia.....	44
4. La fragilidad de la Macaronesia.....	52
5. Agradecimientos.....	57
6. Bibliografía.....	58
7. Anexos (tablas).....	61
8. Anexos (mapas).....	66

### CAPÍTULO 3

#### LA IMPORTANCIA DE LAS AVES EN LA RESTAURACIÓN DE LA LAURISILVA CANARIA

*Velázquez Padrón, Carlos; Cabrera Mujica, José Julio.*

1. Introducción .....	71
2. La laurisilva en Gran Canaria .....	72
3. Ejemplos de ornitocoria .....	72
4. Reflexiones .....	77
5. Conclusiones .....	80
6. Bibliografía .....	80

### CAPÍTULO 4

#### ESTRATEGIAS DE RESTAURACIÓN DE SUELOS VOLCÁNICOS DEGRADADOS

*Rodríguez Rodríguez, Antonio; Arbelo Rodríguez, Carmen Dolores.*

1. Introducción .....	81
2. Factores y procesos de degradación de suelos .....	83
3. Principales componentes de los suelos de origen volcánico .....	96
4. Principales propiedades de los suelos de origen volcánico .....	100
5. Restauración de los suelos de origen volcánico degradados .....	104
6. Bibliografía .....	110

### CAPÍTULO 5

#### EVALUACIÓN AMBIENTAL DE PLANES Y PROYECTOS

*Naranjo Borges, Jorge.*

1. Introducción .....	113
2. Términos técnicos .....	115
3. Procedimientos, trámites y plazos de la evaluación ambiental .....	116
4. Estudio de impacto ambiental y Estudio ambiental estratégico .....	122
5. Actividades sometidas a evaluación ambiental .....	125
6. Evaluación ambiental versus restauración forestal .....	128
7. Conclusiones .....	130
8. Bibliografía .....	130

**CAPÍTULO 6****DEGRADACIÓN DEL TERRENO, CAMBIO CLIMÁTICO Y BOSQUES***Santamarta Cerezal, Juan Carlos; Peraza Zurita, María Dolores.*

1. Introducción .....	131
2. Degradación del terreno: un fenómeno a escala global .....	132
3. Degradación del terreno, clima y cambio climático.....	133
4. Importancia de los bosques en el marco de la degradación del terreno y el cambio climático .....	143
5. Bibliografía.....	145

**CAPÍTULO 7****RESTAURACIÓN Y GESTIÓN DE ECOSISTEMAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES EN LA LUCHA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO***Santamarta Cerezal, Juan Carlos; Peraza Zurita, María Dolores.*

1. Introducción .....	149
2. Restauración y gestión de ecosistemas y cambio climático .....	150
3. Estrategias de mitigación del cambio climático en terrenos agrícolas y forestales	154
4. Financiación de actividades de restauración y gestión de ecosistemas en el marco de un clima cambiante.....	160
5. Bibliografía.....	161

**MÓDULO II: RESTAURACIÓN DE LA CUBIERTA VEGETAL****CAPÍTULO 8****VIVEROS FORESTALES***Ramos Martín, Carolina.*

1. Introducción .....	167
2. Factores para el emplazamiento de un vivero forestal .....	169
3. Elección de la planta.....	171
4. Uso de plantas en restauraciones .....	173
5. Caso práctico: Proyecto de repoblación forestal en el Paisaje Protegido de Pino Santo..	177
6. Bibliografía.....	181

**CAPÍTULO 9****REPOBLACIONES FORESTALES***López Figueroa, Javier.*

1. Introducción .....	183
2. Ahoyado.....	184
3. Transporte de la planta.....	187
4. Aviverado de la planta .....	188
5. Distribución manual de la planta .....	189
6. Plantación.....	189
7. Riego de las repoblaciones.....	196
8. Bibliografía.....	197
Anexo fotográfico .....	198

**CAPÍTULO 10****CUIDADOS CULTURALES Y TRABAJOS COMPLEMENTARIOS***Naranjo Borges, Jorge.*

1. Introducción .....	209
2. Protección individual de las plantas.....	209
3. Reposición de marras .....	211
4. Riego .....	212
5. Poda de guiado .....	213
6. Desbroce y escardas .....	214
7. Recalce o aporcado .....	216
8. Repoblación bajo cubierta.....	216
9. Seguimiento y control .....	218
10. Ataques y enfermedades .....	219
11. Trabajos complementarios.....	221
12. Bibliografía .....	222

## MÓDULO III: RESTAURACIÓN DE ESPACIOS DEGRADADOS

### CAPÍTULO 11

#### EL RÉGIMEN TORRENCIAL: RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO-FORESTAL

*Pérez-Soba Diez del Corral, Ignacio.*

1. Aspectos generales del fenómeno torrencial y de su corrección.....	225
2. Las actuaciones de corrección en la cuenca .....	237
3. Las actuaciones de corrección en los cauces.....	251
4. Bibliografía.....	272

### CAPÍTULO 12

#### HIDROLOGÍA, EROSIÓN Y RESTAURACIÓN DE SUELOS VOLCÁNICOS AFECTADOS POR INCENDIOS FORESTALES: EXPERIENCIA EN LAS ISLAS CANARIAS

*Neris Tomé, Jonay; Santamarta Cereza, Juan Carlos; Prieto Prieto, Francisco; Agulló Pérez, Juan; García Villegas, Paloma.*

1. Introducción.....	279
2. Experiencias, avances científicos e innovación tras los incendios en Canarias .....	280
3. Consideraciones finales .....	290
4. Bibliografía.....	291

### CAPÍTULO 13

#### RESTAURACIÓN DE ESPACIOS DEGRADADOS POR MEDIO DEL ARBOLADO URBANO

*Calderón Guerrero, Carlos.*

1. Espacios degradados urbanos .....	295
2. El arbolado urbano como herramienta de restauración en espacios degradados..	297
3. Principales características del arbolado urbano.....	300
4. Gestión fitopatológica y mantenimiento del arbolado empleado para la restauración de espacios degradados .....	305
5. Beneficios del arbolado urbano empleado para la restauración de espacios degradados en zonas urbanas y periurbanas.....	307
6. Bibliografía.....	313



**CAPÍTULO 14****ZONAS COSTERAS DEGRADADAS DE LA MACARONESIA***González Pérez, Carlos Enrique.*

1. Aspectos generales.....	315
2. Marco Normativo .....	318
3. Criterios de Actuación .....	320
4. Aplicación a las Islas Canarias.....	329
5. Vulnerabilidad frente al cambio climático .....	337
6. Bibliografía.....	340

**CAPÍTULO 15****RESTAURACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE LADERAS EN TERRENOS VOLCÁNICOS***Hernández Gutiérrez, Luis E.; Santamarta Cerezal, Juan Carlos; Ramos Villar, Antonio; Luque, Javier; Hernández Durán, Germán; Hernández Rodríguez, Israel; Asensio, Carmelo; Santana, Ana.*

1. Introducción .....	341
2. Inestabilidades frecuentes en las unidades geotécnicas volcánicas de Canarias ....	341
3. Casos de aplicación .....	346

**MÓDULO IV: RESTAURACIÓN DE ESPACIOS DEGRADADOS****CASO 1****RESTAURACIÓN FORESTAL DEL BOSQUE TERMÓFILO EN SAN JOSÉ DEL ÁLAMO***Echevarría Chicoy, Jaime.*

1. Introducción, antecedentes y localización del espacio y/o proyecto .....	357
2. Diagnóstico del problema .....	358
3. Plan de actuación .....	358
4. Principales actuaciones.....	360
5. Resultados y Seguimiento.....	363
6. Agradecimientos .....	363
7. Referencias y bibliografía .....	364
8. Anexo fotográfico.....	364

**CASO 2****FINCA TALAVERA, EN PARQUE RURAL DE TENO. TENERIFE***García Rodríguez, M<sup>a</sup> de las Mercedes.*

1. Introducción .....	367
2. Trámites administrativos de la obra .....	371
3. Evolución de las parcelas.....	375
4. Conclusiones .....	396
5. Agradecimientos .....	397
6. Bibliografía .....	397

**CASO 3****RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO-FORESTAL DE LA HOYA DE JARANITA***Barranco Reyes, Jesús.*

1. Introducción, antecedentes y localización del espacio y/o proyecto .....	399
2. Diagnóstico del problema, tipo de espacio degradado.....	401
3. Plan de actuación .....	403
4. Principales actuaciones .....	407
5. Reforestación .....	412
6. Anexo fotográfico.....	415
7. Agradecimientos .....	425
8. Referencias y bibliografía .....	425

**CASO 4****EL JARDÍN BOTÁNICO DEL PALMENTUM DE SANTA CRUZ***Morici, Carlo.*

1. Introducción, antecedentes y localización .....	427
2. Diagnóstico del problema, tipo de espacio degradado.....	428
3. Plan de actuación .....	429
4. Principales estrategias y actuaciones .....	429
5. Dificultades encontradas.....	430
6. El resultado actual y la llegada espontánea de aves y mariposas autóctonas.....	431
7. Agradecimientos .....	432
8. Referencias y bibliografía .....	432

**CASO 5****RESTAURACIÓN HIDROLÓGICA DEL BARRANCO DE LA ORCHILLA Y LA PISTA DE MADRE DEL AGUA (TENERIFE).***Agulló Pérez, Juan; Gutiérrez García, Bernabé Ángel.*

1. Introducción, antecedentes y localización del espacio y/o proyecto .....	433
2. Diagnóstico del problema, tipo de espacio degradado.....	434
3. Plan de actuación .....	434
4. Principales estrategias y actuaciones .....	435
5. Anexo fotográfico .....	439
Referencias y bibliografía.....	446

**CASO 6****RECUPERACIÓN DEL DOMINIO PÚBLICO EN EL CHO VITO***Sánchez Clavero, Teresa.*

1. Introducción.....	447
2. Contexto general. Núcleos marginales.....	447
3. Cho Vito. Características generales .....	448
4. Recuperación del dominio público en el Cho Vito. ....	453
5. Reportaje fotográfico antes-después de la actuación.....	456
6. Conclusiones.....	459
7. Bibliografía.....	461

<b>GUÍA DE AUTORES .....</b>	<b>463</b>
------------------------------	------------

<b>OTROS LIBROS EDITADOS .....</b>	<b>481</b>
------------------------------------	------------

# Prólogo

De un tiempo a esta parte los compañeros Juan Carlos Santamarta y Jorge Naranjo están concienciados en divulgar actuaciones forestales variadas. En esta ocasión tratan de dos cuestiones relacionadas con la actividad humana: La Restauración de Cubierta Vegetal y la de Espacios Degradados, en una región geográfica singular, la Macaronesia. Una zona biogeográfica ubicada en el océano Atlántico, a unas latitudes particulares y suelos de origen volcánicos, donde uno de sus archipiélagos es el de Canarias, el más próximo al continente de África y quizás el más afortunado en biodiversidad por razones del clima y de la vegetación, derivadas a su vez de la diversidad ecológica que le proporciona la edad y altitud de los edificios insulares.

No es la primera vez que Juan Carlos y Jorge se dedican a publicitar este tipo de trabajos. Ya lo han hecho en otras ocasiones y eso demuestra el interés de ambos por los problemas que afectan al medio natural de las islas de la Macaronesia, en particular de Canarias, donde concentran sus mayores estudios, y por las soluciones correspondientes.

Hay que reconocer que la historia es un cúmulo de paisajes y la actividad antrópica ha generado muchos impactos, muchas veces negativos, cuando no se han conducido por la senda de la simbiosis las relaciones hombre- naturaleza. Ello ha venido sucediendo desde que se tienen conocimientos históricos en las islas, después del equilibrio existente entre aborígenes y naturaleza antes de la conquista de Canarias en el siglo XV. De hecho lo advirtió el adelantado Fernández de Lugo cuando dio un mensaje premonitorio acerca del futuro arbóreo de Tenerife, ya que de continuar el ritmo de cortas de los bosques insulares por culpa de la deforestación con fines agrícolas, la vida en la isla del Teide no superaría los doscientos años. Siglos más tarde un canario muy especial, el polifacético sacerdote José Viera y Clavijo, dejó constancia de la importancia y utilidad de los árboles y de los montes en el *Librito de la Doctrina Rural*, para que los jóvenes canarios se aficionasen al estudio de la Agricultura, al igual que pretenden los editores con este nuevo libro que tenemos el honor de prologar, a la hora de aplicar soluciones en el ámbito de la restauración ambiental de espacios degradados.

A Viera y Clavijo le siguieron europeos muy particulares en el mundo de la naturaleza. Nos referimos al prusiano Alejandro de Humboldt, quien describió los pisos de vegetación en la isla de Tenerife y su aplicación al resto de los territorios insulares, y a su paisano Leopoldo von Buch, quien escribió sobre el medio físico de muchas islas de Canarias. También a S.

Berthelot y P. Webb, quienes nos legaron una magnífica historia geográfica y natural de Canarias. Entrado el siglo XX fueron notables las aportaciones que sobre la importancia de los árboles escribieron personajes como los periodistas canarios, Francisco González Díaz y Antonio Lugo Massieu, quienes se apoyaron en la revista *El Campo*, editada en La Orotava. Fue en esta Villa tinerfeña, cuna del mecenas forestal Conde del Valle de Salazar, donde primero se llevaron a cabo los consorcios forestales, cuando el Patrimonio Forestal del Estado (PFE), a mitad de la década de 1940, inició las repoblaciones en los montes del valle de La Orotava y continuó por otros municipios e islas. En el recuerdo los ingenieros forestales L. Ceballos y F. Ortuño, L. Oramas y J. Nogales, M. Díaz Cruz y J.M. Galeán.

En los años de la década de 1970 se notaron en Canarias los estudios biológicos de dos botánicos singulares asentados en Gran Canaria, Eric Sventenius y Günter Kunkel. Como luego se apreció en la isla de El Hierro el impacto agroforestal del Plan de Conservación de Suelos que permitió el desarrollo de la ganadería local. Un plan que tuvo nombres propios como Filiberto López Cadenas, J. Aguiló, José Miguel González, Federico Padrón y Zósimo Hernández. Llevamos el caso al Congreso Forestal Internacional de Bali en 1978 y dimos a conocer el papel de los tagasastes a la hora de fijar el suelo, aportar nitrógeno, captar agua de nieblas, proveer de pasto al ganado y corregir las cicatrices de las excavaciones de tierra vegetal usada en las sorribas.

El libro lo han estructurado los editores en diferentes módulos. El primero lo dedican a los Fundamentos y abarca siete capítulos. El segundo contempla tres capítulos dedicados a la Restauración de la cubierta vegetal y, el tercero a la Restauración de espacios degradados. En el cuarto tratan de seis diferentes casos de aplicación y las estrategias utilizadas. Las aportaciones personales han sido complementadas por otros compañeros expertos en las diferentes materias. Ello va a permitir alcanzar, de manera didáctica y pedagógica, los objetivos de comprender la diferencia entre los distintos conceptos de restauración, recuperación y reparación de espacios degradados, al igual que un conocimiento de las diferentes técnicas de restauración del medio natural que se utilizan para los diversos tipos de escenarios.

Isidoro Sánchez García, Ingeniero de Montes

## Prólogo de los autores

En el año 2013 editamos el libro de Ingeniería Forestal y Ambiental en Medios Insulares, el cual contemplaba aquello que un técnico debería conocer antes de acometer un proyecto ambiental en las islas. Han pasado 2 años y queríamos cerrar el ciclo con un libro que contemplara la restauración de los espacios naturales en una región tan sensible como la Macaronesia, partiendo de nuevas experiencias realizadas en Canarias, algunas de las cuales vienen contempladas en el presente libro.

La tarea de editar y compilar un libro como el que nos ocupa no es fácil, por un lado el tiempo que tenemos que quitar a nuestras familias y por otro la dificultad de encontrar financiación para poder editarlos, ya que nuestros libros son sin ánimo de lucro y puestos a disposición de la comunidad forestal, sin ningún tipo de apoyo por parte de ninguna administración. Sin embargo, es una gran satisfacción dejar este legado a las generaciones futuras, un legado que fundamentalmente es una herramienta para realizar proyectos con marcado carácter ambiental y con criterios de sostenibilidad.

También queremos agradecer la participación en la obra de los autores, la mayoría son compañeros y amigos de la profesión, algunos repiten la experiencia del libro del año 2013. Sin ellos, su experiencia profesional y conocimiento hubiera sido imposible acabar el presente libro. Gracias al Colegio de Ingenieros de Montes por avalar a ésta y otras obras que hemos editado.

Pedimos disculpas de antemano, por algunos errores o imprecisiones que pueda tener el manuscrito y que rogamos nos indiquen por los correos que ponemos a su disposición. Esperamos que, como en el libro de 2013, éste también resulte de igual utilidad.

Los Autores

Dr. Juan Carlos Santamarta Cerezal  
*jcsanta@ull.es*

Dr. Jorge Naranjo Borges  
*jnarbor@gobiernodecanarias.org*

En Canarias, Noviembre 2015



# FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA RESTAURACIÓN





## CAPÍTULO I

---

# Degradación de espacios naturales en la Región de la Macaronesia

Santamarta Cerezal, Juan Carlos  
Naranjo Borges, Jorge

## 1. Introducción

Desde el punto de vista ambiental, se entiende por degradación todo proceso capaz de producir, a largo plazo, un cambio profundo y negativo del ecosistema insular. Los entornos insulares de la Macaronesia son muy sensibles a cualquier perturbación, debido a las limitaciones de su territorio. En los sistemas insulares, la degradación de espacios naturales supone un gran problema medioambiental, debido principalmente a la fragilidad de los ecosistemas, que en algunos casos, como el de las Islas Canarias suponen la rotura del equilibrio de comunidades vegetales relicticas. Además a este impacto se le une el hecho de que una de las peculiaridades para el turismo de Canarias es los valores ambientales que tienen las islas, sobre todo las no capitalinas que hace que mucho turismo de calidad se sienta atraído por estos valores. Es por ello, que un desarrollo sostenible debe tener prioridad sobre acciones incorrectamente planificadas, principalmente las que tienen que ver con el uso del terreno. Aspectos como la gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU), la actividad minera, los incendios forestales, el sobrepastoreo, la erosión y degradación del terreno, son muy complejos de gestionar en un entorno insular como el macaronésico. También hay que tener en cuenta el peso específico que tiene la agricultura en las islas, aunque existen suelos gravemente degradados en casi todas las regiones del mundo, los efectos negativos de un suelo degradado sobre la economía son más severos en las islas que más dependen de la agricultura para obtener ingresos. El avance de las zonas urbanas y el incremento de las obras públicas e infraestructuras, así como el abandono progresivo de las actividades agroforestales, reducen considerablemente el espacio para el desarrollo de la agricultura. Otro factor limitante en las islas, es la escasez de los recursos hídricos naturales; existe una relación directa entre el incremento y regulación de los recursos con las masas forestales de las islas (Santamarta, 2009). En el caso particular de las Islas Canarias, las grandes amenazas que se ciernen sobre el territorio son variadas, perturbaciones por intrusión de especies invasoras, incendios forestales provocados, presión antrópica,

urbanización desmesurada, pérdida de suelos y erosión hídrica, descontrol en la gestión de herbívoros, deficiente y compleja gestión de los RSU, descontrol en la actividad minera. Por lo tanto, la restauración de espacios degradados y la restauración de la cubierta vegetal constituyen, una parte esencial del desarrollo sostenible en las islas.

## 2. Espacios degradados por incendios forestales

Debido a las repercusiones sociales, económicas y ambientales, las causas y consecuencias de los incendios forestales han sido ampliamente estudiadas. La ecología del fuego y las consecuencias ecológicas de los incendios han sido investigadas. Buena parte de los presupuestos en materia de medio ambiente se destina a la extinción de incendios con el fin de evitar, entre otros males, la pérdida de vegetación.

Existen ecosistemas con distintos grados de adaptación o tolerancia al fuego, que dependiendo de la intensidad del fuego pueden sobrevivir a los incendios forestales. La estrategia rebrotadora de la gran mayoría de las especies canarias es conocida y consigue la supervivencia de numerosos individuos tras la perturbación provocada por un incendio.

Importante es conocer la dinámica natural del ecosistema en cuanto a incendios. Para un ecosistema, modificar su tasa natural de perturbaciones, tanto aumentándola como disminuyéndola, implica un gran impacto en el mismo y sus efectos se pueden percibir rápidamente, como en el caso de la eliminación del fuego de los ecosistemas canarios: aumento de la biomasa de estrato inferior, aumento de la cantidad de pinocha, regeneración pobre, etc (Arévalo et al., 2013).

Si bien individuos, e incluso el ecosistema se pueden lentamente recuperar tras un incendio, durante la fase de recuperación sabemos que las lluvias torrenciales se llevan el suelo desnudo desprovisto de hojarasca, y además desaparecen nichos ecológicos, refugio y alimentación para la fauna que tiene que emigrar en búsqueda de nuevos territorios.

Si los incendios son reincidentes en bosques concretos o son de gran intensidad, se comienzan a perder los individuos más sensibles de una población, es decir, los ejemplares más jóvenes y los más viejos (Figura 1.1). Los individuos supervivientes entran en una fase de estrés, que si no va acompañada de lluvia en el siguiente invierno lleva a más pérdidas provocadas por sequía fisiológica. Entonces pueden perderse recursos genéticos. El gran incendio forestal de 2007 de Gran Canaria por ejemplo causó pérdidas incalculables, pues pinos centenarios y emblemáticos como el Pino del Mulato, el Pino de La Lajilla o el Pino de Pilancones dejaron de formar parte de nuestros bosques para siempre. Estos pinos tenían huellas del pasado, heridas abiertas sin corteza en su base donde las llamas del incendio

se cebaron durante días. La estabilidad de los pinos quedó seriamente mermada de tal forma, que ante la exposición a los vientos, el tronco enflaquecido que aún permanecía actuaría de bisagra. En el caso del Pino de Pilancones un fuerte viento tumbaría el pino el 30 de enero de 2008 después de 550 años (Guzmán, 2013).



Figura 1.1: Pino centenario caído tras varios días de fuego en su base. Gran Incendio Forestal de Gran Canaria 2007.

Tras innumerables campañas de sensibilización sobre el peligro de incendios forestales y grandes inversiones en extinción de incendios, toca pensar también en otras estrategias para evitar la degradación de los espacios. Si se actúa para minimizar las consecuencias de un posible incendio, entonces hay que llevar a cabo una selvicultura preventiva basada en reducir las existencias de la masa a través de podas y clareos. Asimismo se pueden desbrozar barrancos o laderas de matorral, especialmente cañaverales y zarzales, con el fin de cambiar de modelo de combustible. Esos lugares son los ideales para crear barreras verdes, es decir, la plantación con especies más higrófilas que un momento dado atenúen la propagación de un incendio.

Desde el punto de vista de la planificación, es necesaria una ordenación territorial inequívoca que no de pie a la especulación urbanística si un monte es quemado, pues la degradación sería mayor. La separación entre monte y asentamiento humano debe ser clara de tal manera que las viviendas no invadan los montes, que por recarga del acuífero, freno de erosión, etc., sean necesarios. Pero también la planificación tiene que encargarse de lograr la mayor productividad sostenible del bosque, unida a una política forestal basada en la vinculación laboral y patrimonial de la población local.

Si definitivamente ocurre un incendio forestal, los agentes deben investigar sobre su causalidad y, en un marco legal de apoyo debe llegarse a sanciones ejemplares. Sigue existiendo un porcentaje alto de causas desconocidas de los incendios forestales (Ascanio y Santana, 2011). El trabajo en el monte para evitar la degradación consiste en actuar de emergencia antes de la época de las siguientes lluvias para retener el mayor suelo posible, por lo que se instalan fajinas, empalizadas o diques mixtos (Tardío y Caballero, 2008) con los propios materiales del área incendiada.

### 3. Espacios degradados por el pastoreo

Los pastizales naturales, definidos como aquellos terrenos con pastos que se han formado como consecuencia de la evolución de la vegetación sin haber sido implantados por el hombre, debieron ser como tales muy escasos antes de la llegada de los primeros pobladores a las Islas Canarias. La franja costera de las islas caracterizada por su extrema aridez, así como la espesura de la formación de cardonal tabaibal impediría el establecimiento de praderas. Los ecosistemas forestales canarios formados por vegetación arbórea cuando aún existía un nivel freático alto y abundante agua tanto en el subsuelo como el suelo, cabría esperar que fueran densos y que, por lo tanto, las herbáceas estuvieran relegadas a los huecos existentes. Por último, la región subalpina, por encima del piso de vegetación arbórea como zona de pastos de verano está relegada a cotas altas de La Palma y Tenerife.

Los prados entendidos como tierras llanas o de suave relieve, en el cual crecen las plantas herbáceas con el fin de generar pasto para el ganado, forman ecosistemas creados como consecuencia de la actividad humana consistente en una economía rural basada en la ganadería. Antes de instalarse el comercio, es decir, la importación y exportación de mercancías, el mantenimiento de la cabaña ganadera dependió durante siglos del pasto y forraje existente en las islas. Si bien el ecosistema es consecuencia de la actividad humana, las especies de herbáceas y gramíneas son nativas y forma parte de la biodiversidad canaria. El ser humano a través del uso de los recursos naturales dirigirá la composición florística y biodiversidad. La biodiversidad de esta comunidad vegetal depende de la intensidad del

aprovechamiento en relación a la producción. Tanto si el aprovechamiento se lleva a cabo con gran intensidad como si no, la biodiversidad tiende a reducirse, empobreciéndose la flora y la fauna. En ningún caso podría justificarse el sobrepastoreo o pastoreo sin control, ya que lleva a la degradación de la vegetación herbácea, a la erosión y a la pérdida de suelo. Sí se contempla, desde un concepto moderno de la biodiversidad, el mantenimiento de pastos como ecosistema, puesto que asegura la supervivencia de especies de flora y fauna adaptadas a este ecosistema.

El pastoreo formó parte importante de la cultura aborígen, se trata por tanto de una actividad ancestral que forma parte de la historia en Canarias. Se ha tratado en gran medida de una actividad asociada a la economía de subsistencia en la búsqueda de alimento para una población aislada geográficamente. Para la obtención de pastos dada su escasez de manera natural en las islas, tuvo que recurrirse a través de los siglos y los avances tecnológicos a la deforestación mediante las talas, fuegos o simplemente ramoneo que impidiera la regeneración natural. Este hecho supuso desde la introducción del ganado caprino y bovino en unas islas oceánicas sin presencia de animales herbívoros, el principio de la degradación de los ecosistemas naturales.

En la actualidad el cometido de los gestores y planificadores deberá consistir en poner en una balanza los pros y contras de la actividad ganadera, con el fin de asumir la menor degradación posible del medio ambiente y de esa manera poder llevar a cabo una actividad económica sostenible.

La actividad de pastoreo en laderas aptas supone una actividad sana para el animal y una fuente de alimentación natural que repercute directamente en la calidad del alimento para la población humana. En el trasiego de los animales por las montañas, éstos abrirán veredas que a la postre podrán servir de acceso a las personas. Las pezuñas de los animales podrán transportar semillas de plantas que de germinar podrán impulsar la recolonización de especies y la biodiversidad. Especies de aves en peligro de extinción como el cuervo o el guirre (alimoche) están asociadas a la existencia de ganado.

No obstante, los frágiles ecosistemas insulares se caracterizan por la presencia de numerosos endemismos, que a menudo se refugian en pequeños enclaves con poblaciones muy reducidas. La desaparición de especies endémicas supone la desaparición de recursos genéticos de valor incalculable, además de parte del patrimonio de la humanidad. Existen casos, en que las poblaciones de vegetación endémica han sobrevivido en sitios inaccesibles, donde los herbívoros no acceden.

La solución definitiva pasa por una gestión adecuada, con la debida ordenación del territorio donde se especifique los lugares aptos para el pastoreo y la carga ganadera asumible. Pensemos por un momento que jóvenes potenciales ganaderos se dirigen a la

Administración competente en la materia. Deberá ser la Administración la que ponga a disposición de esos jóvenes la posibilidad de ocupar los lugares, fincas o cortijos habilitados para practicar el pastoreo. Se trata de llegar a una convivencia entre el pastoreo y la regeneración de los ecosistemas. A la convivencia se podrá llegar a través de un consenso que elimine el ganado sin control que pasta a sus anchas y que asuma la necesidad del vallado temporal durante la fase de regeneración o repoblación de ecosistemas forestales si es preciso (Figura 1.2). También en ciertos lugares, principalmente en andenes, podrán localizarse vallados que impidan el paso a los herbívoros para salvaguardar las poblaciones de endemismos vegetales. En el consenso también debe haber cabida para el aumento de productividad en determinadas áreas, basada en la implantación de especies forrajeras que actúe a modo de medida compensatoria por la pérdida de pastos. Los sistemas silvopastoriles como las dehesas españolas son un claro ejemplo de un sistema sostenible. No podrá asumirse el pastoreo en lugares con escasez de pastos o en laderas con graves problemas de erosión.



Figura 1.2: Valla que impide al ganado el acceso a la repoblación forestal en Gran Canaria.

## 4. Espacios degradados versus especies invasoras

La introducción de seres vivos fuera de su área de distribución natural supone, tras la destrucción de los hábitats, el segundo problema ambiental por orden de magnitud que afecta a la Biosfera a escala global (UICN, 2000). Entre sus impactos sobre el medio natural, se pueden destacar la pérdida de biodiversidad, la homogeneización de los ecosistemas e incluso la extinción de especies nativas. Sobre éstas últimas, la introducción de seres vivos exóticos tiene un impacto negativo a través de fenómenos de competencia, depredación, contaminación genética e introducción de patógenos (Sanz et al., 2004).

La introducción de especies alóctonas actúa conjuntamente a veces con otros factores de perturbación, como pueden ser el cambio climático o el exceso de fragmentación del territorio por infraestructuras. Además de la implicación del aumento de las comunicaciones, la introducción se ve favorecida por el incremento de las áreas degradadas, que son fruto de la alta presión humana sobre el territorio. Debemos de entender que las invasoras no son causa de nada, sino síntoma de deterioro de los hábitats (Árevalo et al., 2013).

En el caso de especies vegetales, éstas son a menudo oportunistas que aprovechan espacios vacíos para colonizarlos tales como áreas afectadas por el fuego, áreas de vertidos, taludes o tierras abandonadas. Se trata de especies que han sido transportadas por el ser humano superando barreras biogeográficas que serían infranqueables de otro modo. La naturalización sería el proceso inmediatamente posterior, que en caso de producirse comenzaría cuando la especie introducida es capaz de superar barreras bióticas (polinización, producción de frutos y semillas, supervivencia a predadores, etc.) y abióticas (adaptación al nuevo clima y suelo), pudiendo reproducirse de manera regular (Sanz et al., 2004).

Para que una planta introducida actúe como invasora, ha de reunir una serie de características, tales como la existencia de mecanismos de dispersión de tanto a corta como a larga distancia, así como semillas longevas, con capacidad para formar bancos persistentes en el suelo. Suelen tener un crecimiento rápido y una alta valencia ecológica, es decir, capacidad para habitar en un amplio rango de condiciones ambientales. Asimismo tienen capacidad para sobrevivir ante condiciones adversas, tanto naturales como debidas a perturbaciones de origen antrópico. Por último, ha de existir afinidad climática entre el área de origen de la especie y la región invadida.

También los ecosistemas que acogen a las especies invasoras han de poseer unas características. Las características del medio que propician la entrada de especies alóctonas invasoras son la destrucción de la vegetación natural original, de modo que se crean unos espacios vacíos que serán ocupados por aquellas especies mejor capacitadas



para la colonización, no necesariamente autóctonas. La fuerte presión demográfica, con la consiguiente urbanización del terreno y trasiego de personas y mercancías actúan como vectores de introducción de especies exóticas (jardinería, actividad comercial, etc.). La existencia de unas condiciones térmicas benignas, sobre todo en lo que se refiere a las temperaturas mínimas (ausencia de heladas), favorecen la introducción de especies exóticas termófilas. La proximidad del mar, debido a su efecto tampón sobre las temperaturas, hace además que las zonas costeras sean más proclives a ser invadidas.

Por si fuera poco el clima benigno reinante en las Islas Canarias, la insularidad de sus territorios los hace más susceptibles a la invasión de especies alóctonas por varias razones. Las condiciones naturales de las islas con relativa poca superficie terrestre propicia que las especies nativas crezcan con menos competencia y en áreas reducidas. El aislamiento merma además la adaptación a condiciones adversas (depredadores, enfermedades), pues las perturbaciones son menores que en el continente. Las distancias son menores y las especies pueden colonizar mucho espacio en comparación con el continente.

En Canarias el 90% de las especies son nativas y el 10% restante son introducidas (Martín et al., 2005). En total unas 150 especies invasoras están transformando los hábitats y amenazando a otras especies nativas. Las Islas Canarias son la parte del territorio nacional donde la gravedad del problema alcanza los niveles de magnitud más elevados (Sanz et al., 2004).

Sin embargo, la presencia de especies invasoras no solo va unida a aspectos negativos. Debemos de poner en una balanza también en un lugar dado las ventajas que pueden reportar su presencia, con el fin de gestionar adecuadamente el territorio. En laderas de pronunciada pendiente estas especies evitan la erosión y permiten la infiltración. En ocasiones sirven de refugio para otras plantas y animales, de posadero o atalaya para las aves e incluso de alimento, en el caso de las tuneras, para aves y lagartos.

Para la recuperación de hábitats las especies que más dificultades presentan debido a su difícil control son matoespuma (*Ageratina adenophora*), caña (*Arundo donax*), tabaco moro (*Nicotiana glauca*), tuneras (*Opuntia dillenii* y *Opuntia maxima*) y rabogato (*Pennisetum setaceum*). Pensemos por un momento que en un espacio costero protegido se acomete la eliminación de la tunera india (*Opuntia dillenii*), con el fin de que vuelva a aparecer el cardonal-tabaibal originario de la zona. Si no acometemos una plantación de cardones y tabaibas inmediata, ese terreno baldío podría ser colonizado rápidamente por otra especie de difícil control como el rabogato (Figura 1.3). Hay que pensar que además con el tiempo se ha creado una relación entre la fauna y la tunera, y el tuno se ha convertido en fuente de alimento. Por ello, en la gestión óptima del territorio se ha de saber medir los tiempos en las operaciones de control y eliminación de especies alóctonas invasoras.

Debemos de tener presente que a veces no es posible la erradicación, salvo en los estados iniciales de la colonización. Por ello, se hace necesaria campañas educativas a través de los medios de comunicación, así como la instalación de carteles informativos en puertos y aeropuertos advirtiendo de las graves consecuencias. A partir de ahí, se requiere un control de las especies y el empleo de códigos de buenas prácticas que alteren o degradan el menor territorio posible. Posteriormente se ha de ir sustituyendo paulatinamente las especies alóctonas, eliminándolas y plantando especies nativas. Las formas de gestión han de mantenerse en el tiempo, de poco servirá actuar un año, y al año siguiente no.

Por último, en cuanto a la fauna exótica en espacios degradados, debemos destacar las ratas y gatos por su especial daño hacia la avifauna endémica. La fauna exótica se distribuye por todas las islas y todos los ecosistemas, pero se concentra en espacios degradados en el entorno de asentamientos humanos. Las colonias de aves marinas son las grandes perjudicadas de las concentraciones de ratas y gatos (López-Darias et al., 2011), debido a su localización costera y al tipo de nidificación en huras. La mejoría de estas colonias de aves marinas pasa por regenerar el hábitat. Para ello es necesario un control directo de los depredadores, pero también la eliminación de los factores que propician su propagación. No nos podemos olvidar también de la necesaria educación ambiental para que la conducta de las personas no incida a favor de la proliferación de animales como ratas y gatos.



Figura 1.3: Expansión de tabaco moro y *rabogato* a lo largo del trazado de una nueva pista.

## 5. Espacios degradados por la erosión y desertificación

La erosión es un proceso natural de naturaleza física y química que desgasta, destruye y transporta continuamente los suelos y rocas de la corteza terrestre. Este proceso se puede ver acentuado, modificado o corregido, por la acción antrópica. Por otro lado, la desertificación es el resultado de la destrucción de la cubierta vegetal, la erosión del suelo, la falta de agua y la actividad del hombre.

En el caso de las Islas Canarias, según el Gobierno de Canarias (2007), unas 329.000 hectáreas, el 43% de su superficie, están sometidas a intensos procesos de erosión debidos a la acción de la lluvia y el viento, siendo Fuerteventura y Gran Canaria las islas que sufren el problema de una forma más acuciante. La erosión en el caso de Canarias es especial, pues se trata de islas de naturaleza volcánica en las que los procesos de erosión se ven potenciados por las características propias de aridez que definen el clima del archipiélago canario. Actualmente existe una pérdida de suelo en torno a unas 13 toneladas por hectárea y año, lo que representa aproximadamente 5 mm de espesor de suelo (según un estudio del Departamento de Edafología y Geología de la Universidad de La Laguna). Este problema es especialmente grave en las islas de Lanzarote y Fuerteventura, en las que la erosión hídrica, unida a la erosión eólica, provoca pérdidas de hasta 150 toneladas por hectáreas y año.



Figura 1.4: Paisaje dunar en la isla de Fuerteventura.

Las islas situadas más al Sur de la Macaronesia sufren más los efectos de la erosión y desertificación. Principalmente en Cabo Verde y en las islas Orientales de Canarias, zonas donde la precipitación no es muy abundante.

La lucha contra la desertificación comprende las actividades que forman parte de un aprovechamiento integrado de la tierra de las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas para el desarrollo sostenible y que tienen por objeto: (i) la prevención o la reducción de la degradación de las tierras, (ii) la rehabilitación de tierras parcialmente degradadas, y (iii) la recuperación de tierras desertificadas.

Hay que tener en cuenta la relación entre los bosques y los recursos hídricos. Esta relación es muy sensible en las islas macaronésicas, con suficiente precipitación, orografía y áreas forestales. Existe una relación importante entre la infiltración del agua en el suelo y los suelos forestales. También la vegetación es un elemento que sujeta y conserva el suelo, por lo tanto reduce la degradación del territorio. Perder cobertura arbórea supone perder recursos hídricos o parte de su regulación, por eso hay que proteger los bosques, creando perímetros de protección, por su efecto en la infiltración y posterior recarga en los acuíferos insulares. Protegiendo nuestros bosques se protegen los acuíferos macaronésicos, en cantidad y calidad.



Figura 1.5: Cultivos tradicionales de gavias en Fuerteventura, en contraste con las laderas abandonadas.

El cambio de uso del territorio o suelo es un factor importante de catalización e incremento de la erosión, también el abandono de sistemas agrarios tradicionales, como por ejemplo los bancales de la Gomera, un claro ejemplo de infraestructura que sujeta y conserva el suelo en laderas de elevada pendiente. Los bancales también recolectan la escorrentía e impiden que ésta transporte los materiales sueltos.

También ciertos proyectos de infraestructuras como la construcción de carreteras, aeropuertos, complejos turísticos, entre otros han contribuido con frecuencia al desarrollo de procesos erosivos.

## 6. Vertederos en espacios insulares

La gestión de RSU en las islas de la Macaronesia es un problema importante. De nuevo el factor fundamental es la limitación del territorio y la alta densidad de población. Las islas presentan algunas particularidades respecto a la gestión de residuos. En ocasiones, se presenta el problema de la falta o saturación de instalaciones de tratamiento o disposición final en la propia isla, lo que obliga a costosos transportes.

Inicialmente, las diferentes comunidades rurales gestionaban de una manera artesanal los residuos con vertederos privados de escaso volumen, que cada cierto tiempo se quemaban, en algunos casos, los residuos se tiraban al mar. El incremento del nivel de vida en los años 70-80, la masiva importación de materias primas de fuera de las islas, así como la incorporación de los envases desechables etc supuso la creación de vertederos cada vez de mayor tamaño. Estas instalaciones generaban impactos visuales, olores, humos, problemas sanitarios, afectación a acuíferos, entre otros. Hay que añadir, en general, la importancia de las actividades vinculadas al turismo, tales como las de los sectores hotelero, de la restauración y del ocio. Ello se traduce en una población equivalente muy superior a la censada (Jofra et al., 2011).

Las Islas Canarias constituyen una de las regiones ultraperiféricas de la Unión Europea por su mayor distancia al continente. Este aspecto condiciona también la gestión de los residuos generados en su territorio. Sólo en Canarias, en el año 2015, existen 24 vertederos incontrolados, en los cuales se debe hacer las operaciones de clausura, restauración y sellado por no cumplir la directiva comunitaria al respecto de 1999.

En todo el archipiélago canario se aprecia la presencia de vertederos incontrolados y objetos viejos abandonados. En los vertederos incontrolados, las basuras han estado siendo arrojadas a los barrancos. Cuando llueve han ido a parar al mar, contaminando las costas, o bien, se incinera la basura con los impactos ambientales que supone para

la atmósfera. Según la organización ecologista Ben Magec (Ecologistas en Acción de Canarias) los vertederos incontrolados generan en la población los siguientes impactos:

- La contaminación de las aguas, tanto marinas como subterráneas.
- La degradación del suelo.
- La contaminación del litoral debido a los vertidos directos al mar, que arrastra las basuras y las dispersa por toda la costa.
- La eliminación y/o desplazamiento de la flora y fauna original.
- La proliferación de plagas de insectos, roedores, aves, etc.
- La destrucción del paisaje en general.
- El malestar social y psicológico ante una situación que parece no tener fin.
- Afección a actividades económicas colindantes, como agricultura y ganadería.
- La degradación de espacios naturales protegidos de alto valor ecológico y paisajístico.



Figura 1.6: Ampliación del vertedero de La Gomera.

Los expedientes por vertidos ilegales de basura en Canarias superan ya cualquier otro tipo de infracciones medioambientales, incluidas las construcciones ilegales. Todo ello deriva en la proliferación indiscriminada y constante de los vertederos ilegales, sobre todo en barrancos y zonas costeras cuya degradación comienza a ser preocupante, sobre todo en islas como Gran Canaria y Lanzarote.

La actividad infractora en materia medioambiental se ha reducido sensiblemente en Canarias debido al incremento de la inspección y el control.

Estos espacios, al igual que los vertederos controlados, necesitan de una recuperación para aumentar así la calidad ambiental del lugar.

Las actuaciones básicas de los trabajos de restauración consisten en:

- Movimiento de tierras y retirada de residuos con el fin de lograr un relieve final lo más acorde posible con el entorno.
- Aporte de tierra vegetal que facilite la integración paisajística.
- Revegetación en la que se emplean especies adecuadas al medio en el que se encuentra.
- Cerramiento perimetral para evitar nuevos vertidos.

El futuro en la cuestión de la gestión de residuos en la islas pasa indudablemente, por un mayor porcentaje de reciclaje, creación de puntos limpios, reducción en la generación de residuos, reutilización, valorización y el uso de tecnologías menos contaminantes.

## 7. Espacios agrícolas marginales abandonados

En el caso de las Islas Canarias, se caracterizan por tener un terreno abrupto, lo que supone que el agricultor canario ha tenido que acondicionarlo para poder cultivar en él: a veces aplanando el suelo del malpaís o transportando tierra de otros lugares etc. pero es la creación de bancales la técnica más utilizada para ensanchar la superficie agraria. Ésta consiste en realizar sobre el terreno terrazas de reducidas dimensiones que se sostiene por pared o talud, cuya producción es destinada normalmente al autoabastecimiento, en especial de papas, hortalizas y algunos frutales. Debido a ello los costes para crear suelo cultivable son muy elevados, si bien este suelo tiene la gran ventaja de ser muy productivo siempre que no le falta el agua y no actúe el viento.

En las islas con más relieve se puede diferenciar dos zonas, según en la vertiente en la que se encuentre: la zona norte, húmeda y de gran riqueza agrícola; la zona sur, seca, árida

y pobre. En esta última zona existen una serie de adaptaciones: conversión de zonas a regadío, cultivo en invernadero etc. que han dado lugar a un excelente rendimiento.



Figura 1.7: Cultivos en bancales abandonados en Tenerife.

El orden de importancia de los cultivos se establece atendiendo a las siguientes variables: la superficie que ocupa, su producción y el valor de esa producción en el mercado. Según los distintos productos que se obtienen de los cultivos, en el archipiélago canario podemos distinguir dos tipos de agricultura:

- Agricultura productiva o comercial: se localiza en las zonas costeras y los productos que se obtienen son para la exportación. La desventaja que se presenta en este tipo de agricultura es que el producto que se comercializa se encarece, debido a la importación de fertilizantes, semillas, escasez de agua y al transporte. Los productos típicos que se obtiene de esta agricultura son: el plátano y el tomate.

- Agricultura de subsistencia: se localiza en zonas de medianías y se trata de una agricultura tradicional y familiar. Su escasa rentabilidad es debida a la falta de mecanización, al pequeño tamaño que tienen los terrenos que se cultivan y a la importación de productos semejantes, que se encuentran en el mercado a precios más económicos. El producto típico que se obtiene de esta agricultura es la papa.



La agricultura canaria, en estos momentos se encuentra en una situación crítica debido a los siguientes motivos:

- Abandono progresivo del campo debido a la emigración desde las áreas rurales a las grandes ciudades, lo que se tradujo en el crecimiento de la población activa del sector servicios en disminución del primario.
- Escasez de agua y como consecuencia el precio elevado de la misma. Por este motivo, tienen que subir los precios de sus artículos, con lo que los consumidores cuando se dirigen a los mercados buscan productos más baratos procedentes de la importación aunque sean de peor calidad que los del lugar.

Las subvenciones que reciben los agricultores por parte de la Administración son escasas. Los agricultores tienen que esperar estas ayudas de un año para otro.

Como consecuencia de la marginación de la agricultura, se produce una desertización progresiva del campo debida al abandono de las estructuras que se crearon para obtener suelo cultivable.

Las estructuras que más han sufrido este abandono son los bancales, que además de formar parte de un patrimonio agrario tradicional que conviene conservar, también suponen una estructura, que si está cultivada, evita la aparición de la erosión.

Es por ello que existe una necesidad de recuperar estos espacios dedicados a la agricultura para contribuir a poner freno a la erosión. Una manera de restaurar estos terrenos es la reforestación, proporcionada desde la Unión Europea por medio de un régimen de ayudas para la reforestación de explotaciones agrarias en declive.

## 8. Espacios degradados por actividades mineras

En el caso de los medios insulares en general y en Canarias en particular, la extracción de áridos, si no se toman las medidas ambientales adecuadas finalizan en un proceso erosivo grave en las zonas afectadas. Esta tipología minera, remueve el suelo y lo deja desprotegido a expensas del agua, también cambia las dimensiones y la forma del terreno. Las plantas de áridos causan además un gran impacto ambiental y paisajístico. El problema en un territorio fragmentado, como el macaronésico, con una presión turística y urbanística importante, es que la economía necesita los áridos.



Figura 1.8: Explotaciones mineras en Tenerife.

En las Islas Canarias existen casi cien explotaciones. De conformidad con la información recogida en el Censo de Explotaciones Mineras de Canarias, año 2007, existen un total de 94 explotaciones mineras en Canarias: 65 en la provincia de Las Palmas y 29 en Santa Cruz de Tenerife, sólo en Tenerife se consumieron 4 millones de toneladas en 2009. El principal sector de la actividad minera en Canarias es el de los áridos, empleados principalmente para edificación y obra pública. El segundo sector en importancia son las rocas ornamentales, y, por último, para uso industrial. También es importante el número de explotaciones relacionadas con la minería del agua, en este sentido, existen numerosas explotaciones, en cuya bocamina se ha ido acumulando a lo largo de los años de perforación, escombreras con materiales procedentes del frente de la mina. En el caso de Tenerife, en la islas Canarias, existen 1.051 galerías, con una superficie perforada de 1.680 kilómetros, lo que supone aproximadamente unos 6 millones de metros cúbicos de material extraído. Este material, en ocasiones se suele utilizar para la reparación y mantenimiento de pistas forestales, o para su uso en construcción, pero por lo general, dado la complejidad de los accesos a las explotaciones, se deposita en la bocamina. También se destaca que algunas de las explotaciones se localizan en espacios naturales.



Figura 1.9: Escombrera procedente de una explotación minera en el Hierro.

El problema en las Islas Canarias en este sentido es que existen plantas ilegales, que suministran parte de la demanda que tiene las Islas con plantas machacadoras que no cuentan con autorización administrativa, ni cumplen con los requisitos técnicos mínimos establecidos en la legislación vigente (marcado CE, normativa EHE) y, que no garantizan la posterior restauración e integración ambiental de la zona, por lo que se crean territorios propensos a la erosión.

Aunque existe inventario de canteras abandonadas lo cierto es que hasta la fecha no se ha llevado a cabo un programa en Canarias, dirigido o continuado de restauración con elementos inertes y posterior repoblación forestal para la recuperación del paisaje.

Obtener el acceso a estos recursos naturales es complicado debido al aumento de la competencia en el uso del suelo, a la carencia de planificación minera, a una predisposición negativa respecto a las actividades extractivas y a una excesiva burocratización de los procedimientos administrativos para la obtención de permisos y licencias. Lo fundamental en las islas es ordenar las extracciones, equilibrar usos e intereses contrapuestos, compatibilizar la actividad minera con el entorno natural y recuperar los espacios, una vez acaben las concesiones, tal y como contempla la legislación minera.

## 9. Bibliografía

- Árevalo, J. R., Mora, B. y Fernández-Lugo, S. (2013). ¿Perturbaciones forestales o dinámica forestal? En: Ingeniería Forestal y Ambiental en Medios Insulares: Técnicas y Experiencias en las Islas Canarias. Colegio de Ingenieros de Montes. Madrid. 649 pp.
- Ascanio Santana, F. y Santana Rodríguez, J.C. (2011). Los Agentes de Medio Ambiente en la investigación de los incendios forestales. XVIII Jornadas Forestales de Gran Canaria.
- Guzmán Ojeda, J. (2013). Los 550 años del Pino de Pílancones, el “abuelo forestal”. Pellagofio.
- IUCN (2000). IUCN guidelines for the Prevention of Biodiversity Loss caused by Alien Invasive Species.
- Jofra, M., Font, D., Mestre, M. (2011). Estudio sobre modelos de gestión de residuos en zonas insulares. Barcelona: Ent, Environment and Management.
- Orden de 13 de junio de 2014, por la que se aprueban las Directrices técnicas para el manejo, control y eliminación del rabogato (*Pennisetum setaceum*)
- López-Darias, M., Luzardo, J., Martínez, R., González, D., García, E. A. & Cabrera, J. (2011). Poaching vs. patrolling: effects on conservation of Cory's Shearwater *Calonectris diomedea borealis* colonies. *Bird Conservation International*: 1 - 11.
- Martín, J. L., Marrero, M., Zurita, N., Arechavaleta, M. e Izquierdo, I. (2005). Biodiversidad en Gráficas. Especies Silvestres de las Islas Canarias. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación Territorial, Gobierno de Canarias. 56 pp.
- Sanz Elorza, M., Dana Sánchez, E. D. y Sobrino Vesperinas E. (2004). Atlas de las plantas alóctonas invasoras en España. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. 378 pp.
- Real Decreto Legislativo 630/2013, de 2 de agosto, por el que se regula el Catálogo español de especies exóticas invasoras.
- Tardío Cerrillo, G. y Caballero Serrano, C. (2008). Nuevo elemento para controlar la erosión. Comunicación Técnica. 9º Congreso Nacional del Medio Ambiente.
- Santamarta, J.C. (2009). Singularidades sobre la construcción, planificación y gestión de las obras y recursos hídricos subterráneos en medios volcánicos. Estudio del caso en las islas Canarias Occidentales. Universidad Politécnica de Madrid.
- Santamarta, J.C., Naranjo, J. (2013). Ingeniería Forestal y Ambiental en Medios Insulares. Madrid: Colegio de Ingenieros de Montes.
- Santamarta, J.C. (2013). Hidrología y Recursos Hídricos en Islas y Terrenos Volcánicos. Madrid: Colegio de Ingenieros de Montes.
- Viera, G. (2009). Impacto del ganado guanil en la recuperación de la flora y fauna de la Reserva Natural Integral de Inagua después del incendio de julio de 2007. XVI Jornadas Forestales de Gran Canaria.



## CAPÍTULO 2

---

# Singularidades de la región macaronésica

Salas Pascual, Marcos  
Naranjo Cigala, Agustín

### 1. Introducción

Es curioso como un concepto tan asentado y ampliamente utilizado en la actualidad, la macaronesia, se emplea para los más diversos aspectos históricos o socioeconómicos (proyectos europeos de diversa índole, comercio, política, etc.), mientras que cada día plantea más dudas sobre el uso que lo originó: la designación de una región biogeográfica. En el presente capítulo intentaremos analizar cuáles son los aspectos que permitieron en su momento la creación de esta idea, así como la evolución que ha sufrido a lo largo de los años.

El nombre *macaronesia* deriva del griego μακάρων νηῆσοι, que significa 'islas afortunadas'. Este era el nombre del lugar a donde marchaban los héroes muertos, en la mitología helena. La asimilación de este archipiélago mitológico a las islas del atlántico medio, fue una constante desde la antigüedad (Blázquez 1977). De ahí que, cuando se empezaron a vislumbrar las fuertes relaciones biogeográficas que existen entre los archipiélagos de Azores, Madeira, Salvajes, Canarias y Cabo Verde, surgió este nombre como el más propicio para nombrar a este colectivo de islas.

Pero en la noción de *macaronesia* todo parece estar en discusión, incluso su autor original. En la bibliografía podemos encontrar dos teorías sobre quién fue el primero en utilizar este nombre en biogeografía: por un lado existe la idea de que fue el botánico alemán A. Engler en 1872, para agrupar a las islas de Azores, Madeira, Salvajes y Canarias (Machado 1992; Pérez de Paz 1995); pero también puede leerse que el concepto se debe a otro botánico, Philip Barker Webb, en 1835, aproximadamente, quién la emplea para referirse a los archipiélagos de Azores, Madeira, Salvajes, Canarias y Cabo Verde (Sjögren 2000). En realidad el concepto debió estar en la mente de casi todos los naturalistas que visitaban este grupo de islas. Fueron muchos los viajeros que recalaban en Madeira y Canarias desde principios del siglo XIX, y muchos debieron percatarse de sus parecidos, sobre todo desde el punto de vista geológico, florístico y paisajístico. Cronológicamente, Webb fue el primero en utilizarlo en una publicación, aunque lo limitó a Madeira y Canarias (Stearn

1973). A medida que se estudiaban el resto de archipiélagos, éstos se integraban a esta misma idea: Engler incluyó las Azores en la fecha anteriormente mencionada, y no fue hasta 1961 cuando Pierre Dansereau suma Cabo Verde a los anteriores grupos insulares (Vanderpoorten et al. 2007).

Así nace la idea más extendida en la actualidad de lo que significa la macaronesia: un conjunto de archipiélagos situados en el atlántico norte, entre los 15° N en Cabo Verde y los 40° N en Azores de origen volcánico, islas nacidas desde el fondo oceánico y emergidas en un intervalo de tiempo relativamente similar (los últimos 25 millones de años), influidas por los vientos alisios, la rama oriental de la corriente del Golfo y la corriente fría de Canarias (figura 2. 1).

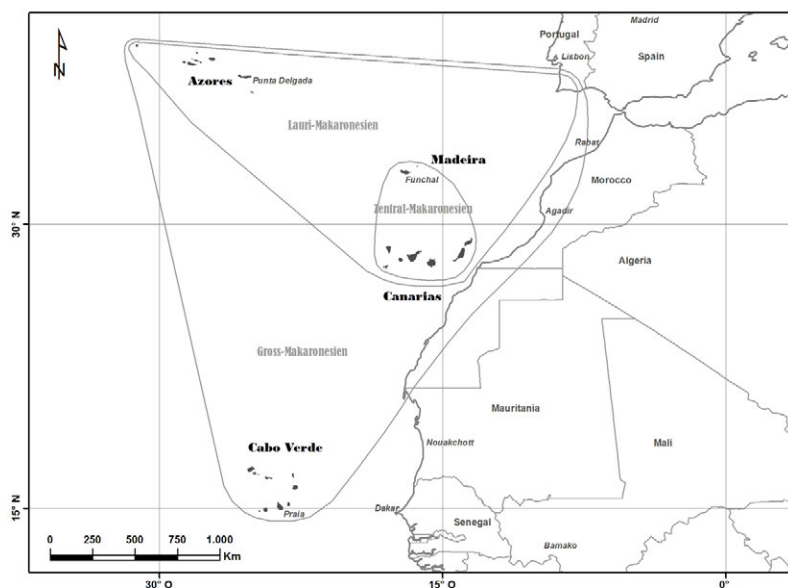


Figura 2.1: Diferentes territorios incluidos históricamente en la Macaronesia

Su naturaleza volcánica es sin duda el punto de unión más patente entre las islas que forman la Macaronesia. Todas ellas se produjeron tras fracturarse la corteza oceánica de la placa africana sobre la que se asientan, excepto las Azores, situada sobre la dorsal oceánica atlántica, de tal manera que las islas de Flores y Corvo se sitúan sobre la placa tectónica americana, separándose progresivamente del resto del archipiélago (García Talavera 1999). Aunque la formación de la base de estas islas, situada a miles de metros por debajo del nivel del mar, se inició millones de años antes, estas no alcanzaron la superficie hasta hace unos 30-25 millones de años, gracias a incesantes erupciones de materiales,

preponderantemente basálticos. La actividad eruptiva no ha cesado desde entonces, con fases más activas y constructivas y otras más tranquilas, en las que predominaron las fuerzas erosivas de los agentes geológicos externos y meteorológicos. En periodo histórico se han registrado erupciones volcánicas en Azores (Capelinhos y Caldeira, 1958 en Faial; Sete Cidades, 1880 en San Miguel; etc., y las últimas erupciones subaéreas de Velas y Cachorro en 1963-64, y Serreta en 2001), Canarias (La Palma: Teneguía 1971, Duraznero, Hoyo Negro 1949, etc.; Lanzarote: Timanfaya, 1730-36, Tao y Tinguatón 1824, etc.; Tenerife: Chahorra 1796, Chinyero 1909; y El Hierro: Lomo Negro 1793 y la última, submarina, al sur de La Restinga, en 2011) y Cabo Verde (la más reciente en Pico do Fogo en la isla del mismo nombre en 1951, 1995 y 2014-2015).



Figura 2.2: Erupción de la boca adventicia del Pico de Fogo en 2014-15 (Isla de Fogo, Cabo Verde). Foto Javier Gil León.

Pero estos son sólo los grupos insulares que hoy están emergidos. En las aguas cercanas a la actual Macaronesia se encuentran una serie de edificios desmantelados submarinos, junto con otros que nunca llegaron a emerger, formando lo que se ha venido en llamar Paleo-Macaronesia (Fernández-Palacios et al. 2011). Este conjunto formaría un rosario continuo de islas desde el extremo suroccidental de la Península Ibérica hasta Cabo Verde y desde Madeira hasta las Azores. Esta nueva concepción de la evolución geológica



de este sector del Atlántico ayuda a la comprensión de las vías de colonización de la Macaronesia así como de sus relaciones biogeográficas con los continentes cercanos. A estas características abióticas se le suma la semejanza en su biota, parecido que se debe sobre todo a su condición de territorios vecinos y fragmentados, lo cual incide aún más en el hecho insular que condiciona su flora y fauna. Tradicionalmente las características florísticas han sido las que han fundamentado la existencia de la Macaronesia, y entre estas la principal ha sido la existencia de la formación vegetal de la laurisilva como emblema macaronésico. Los bosques integrados por árboles de hojas similares al laurel, dominados por especies de los géneros *Laurus*, *Ilex*, *Prunus*, *Morella*, relictos de una extensísima masa arbórea que cubriría las orillas del Mediterráneo durante el Terciario, están presentes en los tres archipiélagos de Azores, Madeira y Canarias. A esto se suma la presencia de diversas especies y géneros, botánicos y zoológicos, exclusivos y comunes a dos o tres archipiélagos macaronésicos. A esta biodiversidad y a las relaciones interinsulares de la misma, dedicaremos gran parte de este capítulo.

Pero a todas las cuestiones anteriores, relacionadas con la naturaleza de los territorios aquí estudiados, se unen numerosos aspectos históricos y socioeconómicos que han terminado por configurar paisajes actuales semejantes. Por todo esto, aunque, como veremos más adelante, está en seria discusión si el conjunto de estas islas puede considerarse, desde un punto de vista científico, una región biogeográfica, es innegable que bajo una óptica medioambiental<sup>1</sup>, los archipiélagos de Azores, Madeira, Salvajes, Canarias y Cabo Verde, forman un conjunto perfectamente diferenciable y con suficientes similitudes como para ser considerados una unidad.

## 2. La Macaronesia: ¿una, muchas o ninguna?

Ya se ha visto que la noción de *macaronesia* fue acuñada principalmente por botánicos, y éstos, una vez asentado el concepto, prosiguieron con la tendencia de incorporar nuevos territorios a esta región considerando para ello como fundamento esencial el parecido florístico de distintos territorios vecinos con el área macaronésica.

De esta manera Sunding (1979) incorpora a los referidos archipiélagos una franja del continente africano, denominándolo **enclave macaronésico continental**, que se extendería entre Agadir en Marruecos y Nouadhibou en Mauritania, introduciéndose en el continente por los valles del anti Atlas marroquí. Las razones de esta adición se basan en la semejanza de las floras de Canarias y de esta zona norteafricana, con especies y comunidades idénticas o vicariantes entre el continente africano y estas islas atlánticas. Son comunes muchas de las plantas características de la flora de la costa en ambas regiones:

*Traganum moquinii*, *Euphorbia regis-jubae*, *Euphorbia balsamifera*, *Chenoleoides tomentosa*, etc., además de otras muy significativas de la vegetación canaria como *Dracaena draco*, *Laurus novocanariensis*, *Davallia canariensis*, etc.

Más adelante Gunther Kunkel (1993) incluye a todo lo anterior parte del extremo suroccidental de la Península Ibérica, donde cree ver relictos de la laurisilva macaronésica. De esta manera subdivide la región macaronésica s.l. que él llama "Groos-Makaronesien" (gran Macaronesia), formada por las islas y los enclaves continentales africano e ibérico, en Macaronesia Central (Madeira, Salvajes y Canarias) y Lauri-Macaronesia (las tres anteriores más Azores y el enclave europeo peninsular), ver figura 2. 1.

Pero cuando una pretendida zona biogeográfica se hace tan grande dejan de ser tan evidentes las similitudes y cobran importancia las diferencias. Eso ocurre con la región Macaronésica. Los estudios específicos de diferentes grupos taxonómicos hacen necesarias las subdivisiones en este territorio:

- Un análisis de la flora de los distintos archipiélagos hace patente la separación de Cabo Verde del resto de islas (De Nicolás et al. 1989). Las influencias tropicales en la vegetación caboverdiana son evidentes y diferencian estas islas del resto.
- En cuanto a la existencia del pretendido enclave macaronésico africano, el mismo grupo taxonómico que hizo concebir su existencia, ha servido para desterrarlo. Frederic Médail y Pierre Quézel (1999) presentan un magnífico trabajo en el que tras analizar las afinidades entre la flora y vegetación del suroeste de Marruecos y las Islas Canarias, termina concluyendo que por muchas razones, entre ellas el escaso 2 o 3% de especies comunes entre estas dos regiones, no se debe incluir esta zona del norte de África en la región Macaronésica. Esto no impide que toda la bibliografía reciente sobre la biogeografía norteafricana hable sin tapujos de afinidades botánicas entre esta zona marroquí y Canarias (Médail & Quézel 1999; Charco 1999 y 2001; Galán et al. 2003; etc.). En la actualidad este sector norteafricano se considera biogeográficamente, parte de la región Mediterránea, ya sea bien como una provincia independiente, la provincia Agadirensis (Superprovincia Iberomarroquí-Atlántica; Subregión Mediterránea Occidental) (Galán et al. 2003) o como el sector Agadiro-Ifniense de la provincia Atlántica Marroquí (Subregión Mediterránea Norteafricana) (Rivas-Martínez 2009)
- El estudio de las ecoregiones marinas del mundo (Spalding et al. 2009), diferencia también entre lo que denomina Lusitanian Macaronesia, formada por los archipiélagos de Azores, Madeira, Salvajes y Canarias, y la West African Transition province que incluye a Cabo Verde, repitiendo como razón para la separación,

el clima tropical de estas últimas, perfectamente apreciable en la existencia de arrecifes de coral en aguas del archipiélago caboverdiano.

- Cuando se estudian las algas en esta Macaronesia Lusitánica, se encuentran a su vez dos grupos diferenciados: uno formado por Azores, Madeira y Salvajes, y otro integrado exclusivamente por las Islas Canarias (Tuya & Haroun 2009).
- Un estudio de los helechos y briófitos de los cinco archipiélagos incluidos inicialmente en la Macaronesia prueba de nuevo que las islas de Cabo Verde no deben ser consideradas relacionadas con el resto de islas. Pero Canarias, Madeira y Azores tampoco pueden considerarse una única unidad, según este análisis, ya que con respecto a los musgos, Canarias tiene mayores similitudes con la zona norteafricana que con Madeira o Azores. Según esta investigación sólo puede hablarse de una región macaronésica para el grupo Azores-Madeira-Canarias desde el punto de vista de las hepáticas y los helechos (Vanderpoorten et al. 2007).



Figura 2.3:Delfín común (*Delphinus delphis*) en aguas de Azores. Foto Cristian Ortiz García.

A este panorama que pone en serias dudas la unidad de los archipiélagos macaronésicos como una unidad biogeográfica hay que añadir los estudios climáticos y bioclimáticos de esta región del Planeta.

- Los trabajos de Walter & Lieth (1967) y Kämmer (1974), presentan ya, sin concretar, las diferencias existentes entre los climas de Cabo Verde, tropical, Madeira, Salvajes y Canarias, Mediterráneo y Azores, Templado.
- Con esta misma información, De Nicolás et al. (1989), profundizan en estas diferencias a la hora de relacionarlas con las relaciones fitogeográficas de estos archipiélagos.
- Rivas-Martínez, en su *Ensayo Geobotánico sobre la Macaronesia* (2009) concluye con la desintegración de la supuesta región Macaronésica, incluyendo las Azores en la región Eurosiberiana, Madeira, Salvajes y Canarias en la región Macaronésica, ambas regiones dentro del Reino Holártico y Cabo Verde queda enclavada en el reino Paleotropical, en la región Sahelo-Sudánica, todo esto por razones eminentemente bioclimatológicas.

Las diferencias climáticas entre estas islas son fácilmente perceptibles. El clima eurosiberiano templado en el cual se encuentran las Azores se caracteriza por la ausencia de meses secos, mientras que el clima mediterráneo, propio de Madeira, Canarias y Salvajes, se define por la presencia de al menos 3 meses secos, coincidiendo éstos con los más calurosos del año. En las regiones de clima tropical, como Cabo Verde, los meses lluviosos coinciden con los más cálidos del año.

En conclusión, hoy, la mayor parte de los científicos aceptan que el término *Macaronesia*, ha desaparecido de la Biogeografía, en sentido estricto. Los Archipiélagos que han permanecido ligados desde esta perspectiva, dentro de la región Mediterránea, subregión Canario-Madeirense (Rivas Martínez 2009), son los que originariamente se calificaron como tales: Madeira, Salvajes y Canarias, que podrían denominarse como la *eumacaronesia*.

Aun así reiteramos que este hecho no impide que se siga utilizando el término para nombrar a una región del Planeta con muchas afinidades, naturales, culturales, etc.



Figura 2.4: La isla de La Gomera de la Macaronesia Central, con 9,4 millones de años de antigüedad y estabilidad volcánica en el período Cuaternario.

Foto Agustín Naranjo Cigala.

### 3. La biodiversidad de la Macaronesia

Además de su origen volcánico, la Macaronesia se caracteriza por una elevada biodiversidad, hasta el punto de convertirse en uno de los puntos calientes de biodiversidad del Planeta (Myers et al. 2000). El número de especies de cada grupo taxonómico que encontramos en cada Isla de los distintos archipiélagos macaronésicos y el resumen para cada conjunto se presentan en las tablas del anexo.

Estas cifras, obtenidas de Arechavaleta et al. 2005, para Cabo Verde, Borges et al. 2008 para Madeira y Salvajes, Borges et al. 2010, para Azores y Arechavaleta et al. 2010, para Canarias, hay que tomarlas con cautela, ya que una buena parte del número de especies presente en cada isla son especies introducidas, por lo que para tener un más clara noción de la biodiversidad autóctona de cada una de ellas sería necesario eliminar de los listados

estas especies alóctonas o introducidas por el ser humano. Sirvan como ejemplo algunas cifras. El número de especies y subespecies de flora vascular existente en Canarias es de 2.233, pero sin contar las especies consideradas no nativas, desciende hasta 1.516, es decir son introducidas más del 32% de las plantas que se han citado en las Islas Canarias. Este número aumenta hasta el 37,8% en los vertebrados de Canarias y al 43,5% en los vertebrados de las Islas Azores. Teniendo claro lo anterior, hoy por hoy es imposible realizar un análisis de la biodiversidad macaronésica basándose sólo en las especies autóctonas, endémicas o no, ya que faltan estudios en gran parte de la biota de estos archipiélagos que nos permitan dilucidar su carácter introducido o nativo.

De ahí que para apreciar la importancia de la biodiversidad de esta región se recurra a índices de endemidad más que a índices de biodiversidad. Estos índices se han calculado para los cinco archipiélagos y se presentan en la tabla 2. 1.

Tabla 2.1: Índices de endemidad de la Macaronesia.

	Canarias	Azores	Madeira	Cabo Verde	Gran Canaria	SIC Ji- námbar	Valleseco (GC)
Superficie (km <sup>2</sup> )	7.447,00	2.341,00	828,00	4.033,00	1.560,00	0,30	22,00
Número de taxones	14.318	6.112	7.452	3.251	1.308	63	448
Índice de biodiversidad (nº de taxones /km <sup>2</sup> )	1,92	2,61	9,00	0,81	0,84	212,84	20,36
Número de endemismos	3.857	411	1.286	540	215	13	95
Índice de endemidad 1 (nº de endemismos/ km <sup>2</sup> )	0,52	0,18	1,55	0,13	0,14	43,92	4,32
Índice de endemidad 2 (nº de endemismos/ nº de taxones)	0,27	0,07	0,17	0,17	0,16	0,21	0,21

De estos índices presentados, el más generalizado es el de especies/km<sup>2</sup>, pero es también el menos clarificador, ya que sólo es útil cuando podemos comparar dos territorios de superficie similar. Cuando se calcula para territorios de pequeña magnitud su valor es muy elevado. Por ejemplo, para el Archipiélago de Las salvajes, con 4 km<sup>2</sup> de superficie y 361 especies, este índice es de 90,25, mientras que para la isla de Gran Canaria, con 1.560 km<sup>2</sup> y 5.872 especies, es de 0,26. ¿Quiere esto decir que Las Salvajes son muchísimo más biodiversas que la isla Gran Canaria? En absoluto. Dos territorios de esa misma isla, el Sitio de Interés Científico de Jinámar, con 0,3 km<sup>2</sup> y 63 especies y el municipio de Valleseco, con 22 km<sup>2</sup> y 448 especies, tienen índices de 212,84 y 20,36, respectivamente. Queda claro que este índice está fuertemente influenciado por el tamaño de la superficie analizada. Aun así, del análisis de este dato en los diferentes archipiélagos estudiados queda patente que el menos biodiverso es Cabo Verde, con un valor de 0,81 especies por km<sup>2</sup>.

Algo parecido ocurre con el segundo índice de biodiversidad calculado: el número de endemismos por km<sup>2</sup>. También aquí existe una fuerte relación entre su valor y la superficie estudiada. A menor área, mayor índice de endemidad. Es posible visualizar que el Archipiélago con un mayor número de endemismos por km<sup>2</sup> es Madeira, dejando a un lado las islas Salvajes, con 1,55 especies endémicas por unidad de superficie, seguida de Canarias con 0,52. En cuanto al número de especies endémicas, resulta interesante la aparente escasez de endemismos existentes en las Azores (411) y en Cabo Verde (540), sobre todo frente a los más de 3.800 de Canarias y a los casi 1.300 de Madeira. La pretendida homogeneidad de la flora y fauna caboverdiana se explica por el clima más desértico que presenta este archipiélago, mientras que el caso de Azores parece deberse a varios factores: su juventud, su tamaño y su escasa diversidad ambiental (Triantis et al. 2011). Comparado con Canarias y Madeiras, Cabo Verde y Azores poseen índices más bajos pero confrontado este hecho con la gran extensión territorial de los distintos países Europeos la endemidad sigue siendo muy relevante

Esta enorme diversidad no puede explicarse por una única razón. Entre las varias causas de esta riqueza destacan las siguientes:

- Su situación entre diferentes regiones biogeográficas: holártica eurosiberiana, holártica mediterráneo, paleotropical, en incluso holártica atlántico-norteamericana, en algunas islas Azores.
- Su fragmentación territorial, lo que propicia la especiación peripátrica, es decir, una especie llega del continente o de otra isla y se adapta a las nuevas condiciones, generando un nuevo taxón o variedad. (Marrero & Francisco-Ortega 2001).
- Su diversidad ambiental en una misma isla, que facilita la especiación parapátrica, es decir dentro de un mismo territorio, por adaptación a diversos ambientes o por

hibridación entre especies con poblaciones vecinas (Marrero & Francisco-Ortega 2001).

- Su condición de refugios ecológicos, que han propiciado que floras extinguidas en otros territorios tengan en éste un lugar donde permanecer como relictos o fósiles vivientes. Estas condiciones especiales se relacionan con el clima particular de esta zona del atlántico norte: la presencia de los alisios y la corriente fría de Canarias, entre otras.
- La variación del nivel del mar durante los periodos glaciares y la existencia pretérita de islas, hoy desaparecidas, que facilitaron la llegada de flora y fauna hasta las actuales islas macaronésicas (Fernández-Palacios et al. 2011)

Todos estos factores, y otros que pueden actuar en grupos concretos o en casos particulares, han permitido que la explosión en la producción de especies en estos archipiélagos sea espectacular, con géneros endémicos que incluyen hasta una treintena de especies, caso de *Hemycicla*, género de moluscos gasterópodos endémico de Canarias con 35 especies en su seno, o *Caseolus*, endémico de Madeira con 27 especies. Sólo en el caso de las islas Canarias, el número de géneros endémicos es muy alto: 22 géneros de flora vascular (Santos 2001), 99 de invertebrados terrestres (Oromí & Báez 2001), y 1 en la fauna vertebrada terrestre, concretamente los lagartos del género *Gallotia*.

Pero no sólo son importantes los géneros endémicos, otros, compartidos con varias regiones vecinas, también ofrecen datos importantes: entre la flora, el género *Aeonium* aporta 28 especies, con varias subespecies y variedades, *Echium* 25 especies, *Sideritis* 24 especies, *Sonchus* 23 especies, *Lotus* 22, *Limonium* 21, *Argyranthemum* 18, etc., la mayoría de ellas endémicas (según Acebes et al. 2010). Entre los invertebrados destaca el género *Laparocereus*, con 106 especies en Canarias y 33 en Madeira, *Attalus* 52 especies, *Dysdera* 47, etc., entre los moluscos *Napaeus* con 50 especies, etc. (Fernández-Palacios 2010).

La importancia de esta riqueza no importa sólo a las regiones que la poseen, sino también afecta directamente a las regiones vecinas, ya que hoy se sabe que la biodiversidad macaronésica es una fuente de nuevas especies para sus territorios circunvecinos, incluso colonización inversa (Kim et al. 2008; Illera et al. 2011; Vanderpoorten et al. 2013). Hasta el momento siempre se ha pensado en que el flujo de la propagación de organismos vivos se había producido desde el continente hasta las islas, como parece lógico en islas oceánicas que nunca han tenido contacto físico con las zonas continentales y que surgen del fondo oceánico. Ahora conocemos por ejemplo, casos comprobados de colonización y formación de nuevas especies a partir de elementos nativos de la macaronesia ya sea en la flora criptogámica (Laenen et al. 2011) o en las plantas superiores (Carine et al. 2004). En el primer caso, se ejemplifica en la hepática *Radula lindenbergiana*, que recolonizó el oeste



de Europa a partir de su refugio macaronésico. En el segundo es posible encontrar varios ejemplos, pero el más demostrado es el de *Convolvulus fernandesii*, una especie endémica del Cabo Espichel, en la costa atlántica portuguesa. Esta especie está muy próxima a varias especies macaronésicas, como *Convolvulus canariensis*, *C. massonii*, *C. fruticosus*, y *C. lopezsocasii*, y muy posiblemente procedería de un proceso de recolonización del continente europeo por parte de plantas insulares. Similares casos pueden ser los del drago norteafricano, *Dracaena draco* ssp. *ajgal*, las citas africanas de *Laurus azorica*, etc.

Pero la diversidad no es sólo el número de especies que presenta una región, también se considera biodiversidad como tal, la variedad de hábitats de un territorio y los archipiélagos macaronésicos también exhiben una gran diversidad en este aspecto.

Es difícil concretar el número de ecosistemas diferentes que pueden existir en la Macaronesia, Fernández-Palacios (2011) se refiere a 11 principales:

- Matorral costero desértico (Madeira, Salvajes, Canarias y Cabo Verde)
- Bosque termófilo (Madeira, Canarias y Cabo Verde)
- Bosques de acacias (Cabo Verde)
- Laurisilva (Azores, Madeira y Canarias)
- Pinar (Canarias)
- Brezales de cumbre (Azores y Madeira)
- Matorrales de cumbre (Canarias)
- Pastizales de cumbre (Cabo Verde)
- Lagos (Azores)
- Turberas (Azores)
- Campos de Lava (Azores, Canarias y Cabo Verde)

En una aproximación fitosociológica reducida a la vegetación Canaria, Del Arco et al. (2006) estiman la existencia en este archipiélago de los siguientes tipos de vegetación, asimilables a diferentes ecosistemas:

- Ecosistemas de aguas salobres: saladares.
- Acantilados costeros
- Arenales
- Traspayas y barrancos edafohalinos: tarajaleras

- Tabaibales de tolda (*Euphorbia aphylla*)
- Tabaibales dulces
- Cardonales
- Bosques termoesclerófilos, arbustedas y matorrales termófilos
- Monteverde, sauzales, arbustedas y matorrales de zonas húmedas
- Pinares, escobonales, retamares y otros matorrales de cumbre
- Complejos de vegetación, sobre malpaíses, acantilados, gleras, y otras comunidades permanentes: vegetación rupícola, comunidades liquénicas, cerrillares, etc.
- Geosigmatums: tarajaleras, baleras, sauzales.

La tabla 2. 2 se ha confeccionado tomando una opción intermedia entre ambos enfoques, con ánimo divulgativo pero sin simplificaciones que disminuirían la posibilidad de ver la riqueza de hábitats que atesoran estos archipiélagos.

Tabla 2.2: Ecosistemas principales No Antrópicos.

Ecosistemas	Subtipos	A	M	S	C	CV
Matorral crasicaule desértico y subdesértico (tabaibales, cardonales, etc.)			X	X	X	X
Bosque termófilo			X		X	X
Bosques de acacias						X
Monte verde (laurisilva)	Laurisilva xérica		X		X	X
	Laurisilva húmeda	X	X		X	
	Bosques de tilos ( <i>Ocotea foetens</i> )		X		X	
Brezales	Brezales subarbóreos (potenciales o de sustitución)	X	X		X	
	Brezales cacuminales y de crestería		X		X	
	Brezales enanos de cumbre	X				

Ecosistemas	Subtipos	A	M	S	C	CV
Pinar y matorrales de leguminosas asociados	Pinar				X	
	Escobonales y codesares				X	
	Retamar y codesar de cumbre				X	
Sauceda			X		X	
Palmeral	Palmeral de fondo de barranco				X	
	Palmeral costero				X	X
Tarjalera (formaciones de <i>Tamarix</i> spp.)					X	X
Dunas costeras y vegetación psamófila				X	X	X
Saladares y juncales costeros					X	X
Formaciones halófilas rocosas		X	X	X	X	X
Ecosistemas rupícolas	Rezumaderos	X	X		X	X
	Casmofítica		X	X	X	X
	Casmocomófitas		X		X	X
	Malpaíses	X			X	X
Ecosistemas dulceacuícolas o higrófilos	Lagos	X				
	Turberas	X				
	Bordes y fondos de charcas y barrancos no permanentes	X	X		X	X
Herbazales y pastizales vivaces	De cumbre					X
	Neocolonizadores y de sustitución		X		X	X
	Aerohalinos	X				



Figura 2.5: *Azorina vidalii*, endemismo de Azores. Foto Cristian Ortiz García.



Figura 2.6: *Aeonium glutinosum*, endemismo de Madeira. Foto Marcos Salas Pascual.

No se han incluido en esta relación los ecosistemas antrópicos, relacionados con la acción humana. Los matorrales de sustitución de la vegetación potencial, tales como matorrales nitrófilos (*Rumex lunaria*, *Launaea arborescens*, etc.), tabaibales de tabaiba amarga o especies afines (*Euphorbia regis-jubae*, *E. lamarckii*, etc.), jarales y matorrales de *Globularia salicina*, etc., se integran en los ecosistemas caracterizados por las formaciones vegetales que sustituyen, por lo que no pueden ser considerados como ecosistemas diferenciados. Este listado dista mucho de ser considerado como exhaustivo. Quedan por nombrar multitud de microhábitats que realmente proporcionan la riqueza ambiental que caracteriza las islas y en concreto la Macaronesia.

#### 4. La fragilidad de la Macaronesia

Todo el estudio de las características naturales de las islas macaronésicas que se ha presentado en los puntos anteriores necesita ser analizado desde una premisa básica: lo que vemos en la actualidad no es sino una parte de lo que debió ser antes de la llegada del ser humano a las Islas.

La transformación que produjo en la naturaleza de las islas la actividad humana ha sido muy importante y sólo ahora empezamos a conocer algunos de estos efectos. Dejando a un lado los cambios a gran escala que se están originando en la actualidad, nos referimos al cambio climático y a sus repercusiones sobre el medio, la alteración que ocasionó la colonización humana de la Macaronesia ha causado extinción de especies, cambios en los procesos edafogénicos, modificación del relieve, cambios en las redes hidrográficas disminución del nivel freático de las islas, etc. Todas estas transformaciones han propiciado que hoy sea difícil imaginar cómo serían estos archipiélagos sin la intervención del hombre y las consecuencias biogeográficas que tales intervenciones han propiciado.

Lo que constituye la Macaronesia en la actualidad está quizá más relacionado con el factor humano que con cuestiones geológicas o bióticas. Por tanto, es importante entender las actividades antrópicas sobre su naturaleza (modalidad, intensidad y tiempo), para comprender lo más acertadamente posible los rasgos comunes que poseen las distintas islas que componen la Macaronesia.

Varios son los aspectos que determinan el nivel de la acción antrópica sobre el Medio: la fecha de inicio del poblamiento de las islas; las formas de la colonización; la evolución de la población y los habitantes actuales y el grado de riqueza de las regiones insulares que determina la cantidad de recursos disponibles y la relación con el entorno. Todos estos parámetros quedan reflejados en la tabla 2.3.



Figura 2.7: *Lotus kunkelii*, endemismo del archipiélago Canario. Foto Agustín Naranjo Cigala.

Tabla 2.3: Parámetros históricos y socioeconómicos que determinan la presión antrópica sobre el Medio.

Archipiélago	Inicio de la colonización y grupos humanos	Nº de habitantes	Densidad (hab./km <sup>2</sup> )	PIB per cápita (€ en 2011) <sup>1</sup>
	1460			
Cabo Verde	Colonizadas por europeos y africanos traídos como esclavos	500.585	101	2.719
	Siglo X a.C.			
	Su conquista europea concluye en 1496			
Canarias	Una primera colonización por parte de habitantes del norte de África, y una segunda fase de poblamiento europeo muy activo	2.218.344	284,46	19.301

Madeira	Descubiertas en 1419, pobladas desde 1425.  Colonizada y poblada por europeos	267.785	334,4	20.800
Azores	Conocidas desde 1420, se inicia su colonización en 1439.  Colonizada y poblada por europeos	246.746	104	15.100

Las islas Salvajes se encuentran deshabitadas en la actualidad, pero tradicionalmente y desde el siglo XV, han recibido la visita de marineros y pescadores que cazaban aves marinas y que soltaron en la isla principal ganado para poder abastecerse en las visitas y estancias futuras. Esto hace que tampoco Las Salvajes puedan considerarse libres de la influencia humana. Por ello y dado que son las islas más antiguas en la actualidad (unos 27 millones de años), es posible que existieran en ellas algunas especies que no hayan podido resistir la presión antrópica y se extinguieran.

Excepto Canarias, el resto de Archipiélagos estaban deshabitados cuando los europeos las encontraron e iniciaron su colonización en el primer cuarto del siglo XV. En el caso de las Canarias, la población aborigen procedente del norte de África y cuya primera datación conocida en la actualidad se aleja hasta el s. X a.C., también produjo grandes cambios en el medio del que se servía. La idea de que las poblaciones humanas precoloniales en Canarias no afectaron el medio natural está hoy totalmente descartada como demuestran varias investigaciones. Estos primeros pobladores introdujeron fauna y flora, ya sea de manera voluntaria o involuntaria, que pudo producir las primeras extinciones en Canarias. Las ratas y ratones (*Mus musculus*, *Rattus rattus*) muy probablemente condicionaron la desaparición de varios roedores autóctonos como el ratón de malpaís (*Malpaisomys insularis*) y las ratas endémicas del género *Canaryomys*, *C. bravoii* y *C. tamaranae* y posiblemente de pardelas que nidificaban en lugares de fácil acceso: pardela del Jable (*Puffinus holeae*) en Fuerteventura, pardela del Malpaís (*Puffinus olsoni*), de Fuerteventura y Lanzarote y otras aves que habían disminuido o perdido su capacidad de volar como la codorniz canaria (*Coturnix gomerae*), presente en varias islas; el verderón de Trías (*Carduelis triasii*) que habitó en La Palma, en zonas de laurisilva; el escribano patilargo (*Emberiza alcoveri*) que vivió en Tenerife.

Las cabras y otros grandes mamíferos herbívoros u omnívoros (ovejas, cerdos) que traían los primeros pobladores también pudieron hacer desaparecer un buen número de especies vegetales, de las que lamentablemente no tenemos ninguna información. En época histórica también se han producido extinciones de vertebrados, como los lagartos gigantes de La Palma y Tenerife (*Gallotia auaritae* y *Gallotia goliath* respectivamente). Entre los vegetales parecen haberse extinguido en Canarias *Clethra arborea* en Tenerife, árbol todavía presente en Madeira y posiblemente *Solanum nava* en Tenerife y Gran Canaria y *Kunkeliella psilotoclada* en Tenerife.

Pero estos ejemplos son únicamente la punta del iceberg. Con total seguridad han desaparecido de la Macaronesia un gran número de especies, ya sea totalmente extintas, o bien desaparecidas en alguna de las islas o archipiélagos.

A partir de la colonización europea de estas islas, se inició la supresión sistemática de bosques y formaciones naturales para dedicar los mejores suelos para la agricultura y la ganadería. El primer cultivo que se instaló en todas las islas con fines de exportación fue el de la caña de azúcar. Este tipo de actividad agrícola e industrial no sólo consume suelo, sino que necesita de gran cantidad de leña y de un sistema de canalización de agua para los ingenios y trapiches. Es sin duda un tipo de actividad que consume grandes recursos naturales y que afecta al medio en gran medida (Rodríguez et al. 2004; Rodríguez & Naranjo 2005). Al mismo tiempo, el progresivo aumento de la población requería de campos donde producir los recursos alimentarios, ya sean tubérculos, millo, verduras, cereales, etc. como pastos y dehesas para el ganado. En poco tiempo las islas quedarían totalmente colonizadas y los ecosistemas naturales fuertemente afectados.

De los archipiélagos macaronésicos, los que presentan un mayor grado de degradación y antropización son Azores y Cabo Verde, ambos fuertemente influenciados por la lejanía de las urbes colonizadoras y el rigor de sus climas. Es interesante la relación existente entre el menor índice de naturalidad y la menor riqueza de la población. En las islas más pobres, la subsistencia depende totalmente de los recursos naturales que se puedan aprovechar del medio, y por tanto todo es utilizado. El turismo (como industria) está propiciando un aumento de la calidad de vida en estas islas. Para tener una mejor perspectiva del grado de pobreza o riqueza de estos territorios insulares baste decir que el PIB per cápita en Azores en 1990 era de 963 euros (fuente: Instituto Oficial de estadística de Portugal, ([http://infoline.ine.pt.](http://infoline.ine.pt)), mientras que en Cabo Verde, en 1990, era de aproximadamente 900 euros (Fuente: Banco Mundial: World Development Indicators 2005, datos en línea). En Canarias, en esta misma década este indicador económico alcanzaba los 10.000 euros (Fuente: Instituto Canario de Estadística)



La mejoría experimentada en los últimos años ha propiciado una mejoría en la salud del medio natural de esta región archipelágica, pero no sabemos cuántas especies y cuantos hábitats han desaparecido en los últimos 500 años de actividad humana sobre las islas macaronésicas. Y aunque existe en la actualidad el pensamiento generalizado de que la presión humana se ha relajado en las últimas décadas esto no es del todo cierto, es mejor decir que se ha desplazado territorialmente dentro de las distintas islas: las zonas agrícolas experimentan un proceso de abandono y de regeneración natural; los bosques se recuperan paulatinamente gracias a su protección y fomento y los ecosistemas hídricos se regeneran al frenar el descenso del nivel freático e instalar desaladoras para el abastecimiento humano y agrícola; pero las zonas costeras que habían sido muy poco afectadas hasta hace poco por su escasa utilidad agrícola o ganadera, están siendo hoy objeto de una enorme transformación por parte de la actividad turística descontrolada. Este aspecto que ya sucedió en Canarias y Madeira hace años, se repite hoy en Cabo Verde, siguiendo los mismos modelos de ocupación no sostenible.

Otro aspecto en el que las islas macaronésicas son especialmente sensibles es el de la introducción y expansión de especies exóticas invasoras, tanto de flora como de fauna. Este problema, considerado en la actualidad como uno de los tres más importantes relacionados con la pérdida de la biodiversidad, tiene una especial relevancia en los ecosistemas insulares (Gimeno et al. 2006) y puede en breve plazo ser la causa de la pérdida biodiversidad en cualquiera de sus facetas. De las muchas especies exóticas invasoras de estos grupos insulares destacamos algunas como *Carpobrotus edulis*, en Madeira y Azores, *Ulex europaeus*, en Madeira, Azores y Canarias, *Lantana camara* y *Arundo donax* en todas las Islas, *Furcraea foetida* en Cabo Verde, *Hedychium gardnerianum* en Azores y Madeira, *Opuntia maxima* en Canarias y Madeira, *Pennisetum setaceum* en Canarias. Mientras en animales destacan la rata común (*Rattus rattus*), el milpiés *Ommatoiulus moreletii*, el conejo común europeo (*Oryctolagus cuniculus*), el gato común (*Felis silvestris*, *F. catus*), los picudos de las palmeras (*Diocalandra frumenti* y *Rhynchophorus ferrugineus*) o la culebra real de California (*Lampropeltis getula californiae*) (Silva et al. 2008).



Figura 2.8: Dragonal de *Dracaena draco* subsp. *caboverdeana*. Foto Javier Gil León.

## 5. Agradecimientos

Parte de este trabajo se inscribe dentro de los análisis que se están realizando en el marco del proyecto HAR2013-40899-P *Poblamiento, adaptación cultural y cambio medioambiental en la Protohistoria canaria: los casos de Lanzarote y Fuerteventura*, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad cuyo investigador principal es el profesor de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Pablo Atoche Peña. Asimismo, queremos agradecer al profesor de la Universidad de La Laguna, José María Fernández-Palacios y al naturalista Rubén Barone Tosco su disposición y amabilidad al facilitarnos el acceso a algunos artículos científicos de difícil adquisición. También a los geógrafos Javier Gil León y Cristian Ortiz García por cedernos imágenes de Cabo Verde y Azores respectivamente.

## 6. Bibliografía

- Acebes Ginovés, J. R., M. C. León Arencibia, M. L. Rodríguez-Navarro, M. J. Del Arco Aguilar, A. García Gallo, P. L. Pérez de Paz, O. Rodríguez Felgado, V. E. Martín Osorio & W. Wildpret de la Torre (2010). "Pteridophyta, Spermatophyta" in M. Arechavaleta, S. Rodríguez, N. Zurita & A. García (coord.). *Lista de especies silvestres de Canarias (hongos, plantas y animales terrestres)*. 2009, 119-172. Santa Cruz de Tenerife: Gobierno de Canarias.
- Arechavaleta, M., N. Zurita, M. C. Marrero & J.L. Martín (eds.) (2005). *Lista preliminar de especies silvestres de Cabo Verde (hongos, plantas y animales terrestres)*. 2005. Santa Cruz de Tenerife: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación Territorial, Gobierno de Canarias.
- Arechavaleta, M., S. Rodríguez, N. Zurita & A. García (coord.) (2010). *Lista de especies silvestres de Canarias. Hongos, plantas y animales terrestres*. 2009. Santa Cruz de Tenerife: Gobierno de Canarias.
- Blázquez, J. M. (1977). "Las Islas Canarias en la antigüedad". *Anuario de Estudios Atlánticos* 23: 35-50.
- Borges, P. A. V., C. Abreu, A. M. F. Aguiar, P. Carvalho, R. Jardim, I. Melo, P. Oliveira, C. Sérgio, A. R. M. Serrano & P. Vieira (eds.) (2008). *A list of the terrestrial fungi, flora and fauna of Madeira and Selvagens archipelagos*. Funchal and Angra do Heroísmo: Direcção Regional do Ambiente da Madeira and Universidade dos Açores.
- Borges, P. A. V., A. Costa, R. Cunha, R. Gabriel, V. Gonçalves, A. F. Martins, I. Melo, M. Parente, P. Raposeiro, P. Rodrigues, R. S. Santos, L. Silva, P. Vieira & V. Vieira (eds.) (2010). *A list of the terrestrial and marine biota from the Azores*. Príncipe: Cascais.
- Carine, M. A., S. J. Ruseell, A. Santos-Guerra & J. Francisco-Ortega (2004). "Relationships of the Macaronesian and Mediterranean Floras: molecular evidence for multiple colonizations into Macaronesia and back-colonization of the continent in *Convolvulus (Convolvulaceae)*", *American Journal of Botany* 91(7): 1070-1085.
- Charco, J. (1999). *El bosque mediterráneo en el Norte de África. Biodiversidad y lucha contra la desertificación*. Madrid: Agencia Española de Cooperación Internacional.
- Charco, J. (2001). *Guía de los árboles y arbustos del Norte de África. Laves de determinación, descripciones, ilustraciones y mapas de distribución*. Madrid: Agencia Española de Cooperación Internacional.
- De Nicolás, J. P., J. M. Fernández-Palacios, F. J. Ferrer & E. Nieto (1989). "Inter-Island Floristic Similarities in the Macaronesian Region". *Vegetatio* 84 (2): 117-125.
- Fernández-Palacios, J.M. (2010) "The islands of Macaronesia" in A. R. M. Serrano, P. A. V. Borges, M. Boeiro & P. Oromí (eds.) *Terrestrial arthropods of Macaronesia: biodiversity, ecology and evolution*. 11–39. Lisbon: Sociedade Portuguesa de Entomologia.
- Fernández-Palacios, J. M., L. de Nascimento, R. Otto, J. D. Delgado, E. García-del-Rey, J. R. Arévalo & R. J. Whittaker (2011). "A reconstruction of Palaeo-Macaronesia, with particular reference to the long-term biogeography of the Atlantic island laurel forests". *J. Biogeogr.* 38: 226–246
- Galán de Mera, A., A. V. Pérez Latorre & J. A. Vicente Orellana (2003). "Relaciones fitogeográficas entre el suroccidente de la Península Ibérica y el Noroeste de África. Una propuesta de sectorización". *Lagascalia* 23: 27-51.
- García-Talavera, F. (1999). "La Macaronesia. Consideraciones geológicas, biogeográficas y paleoecológicas" in J. M. Fernández-Palacios, J. J. Bacallado & J. A. Belmonte (eds.) *Ecología y cultura en Canarias*, 39-63. Santa Cruz de Tenerife: Museo del Cosmos.

- Gimeno, I., M. Vilà & Ph. E. Hulme. (2006) "Are islands more susceptible to plant invasion than continents? A test using *Oxalis pes-caprae* L. in the western Mediterranean". *J. Biogeogr.* 33: 1559–1565.
- Johnson, D.L., S. H. Ambrose, T. J. Bassett, M. L. Bowen, D. E. Crummey, J. S. Isaacson, D. N. Johnson, P. Lamb, M. Saul, & A. E. Winter-Nelson (1997). "Meanings of environmental terms". *Journal of Environmental Quality* 26: 581–589.
- Illera, J.C., K. Koivula, J. Broggi, M. Päckert, J. Martens & L. Kvist (2011). "A multi-gene approach reveals a complex evolutionary history in the *Cyanistes* species group". *Molecular Ecology* 19:4123–4139.
- Kämmer, F. (1974). *Klima und Vegetation auf Tenerife, beson ders im Hinblick auf den Nebelniederschlag. Scripta Geobotanica*. Göttingen: Verlag Erich Goltze KG.
- Kim S-C, M.R. McGowen, P. Lubinsky, J.C. Barber, M.E. Mort, A. Santos-Guerra (2008) Timing and Tempo of Early and Successive Adaptive Radiations in Macaronesia. *PLoS ONE* 3(5): e2139
- Kunkel, G. (1993). *Die Kanarischen Inseln und ihre Pflanzenwelt*. – 3. Stuttgart: Ed. Gustav Fischer.
- Laenen, B., A. Désamoré, N. Devos, A. J. Shaw, J. M. González-Mancebo, M. A. Carine & A. Vanderpoorten (2011). "Macaronesia: a source of hidden genetic diversity for post-glacial recolonization of western Europe in the leafy liverwort *Radula lindenbergiana*". *J. Biogeogr.* 38: 631–639.
- Machado, A. 1992. "Zoogeografía" in *Monografía de los Carábidos de las Islas Canarias*, 649-668. La Laguna: Instituto de Estudios Canarios.
- Marrero, A. & J. Francisco-Ortega (2001). "Evolución en islas: la forma en el tiempo" in J. M. Fernández-Palacios & J. L. Martín Esquivel (eds.) *Naturaleza de las Islas Canarias. Ecología y Conservación*, 141-150. Santa Cruz de Tenerife: Turquesa.
- Médail, F. & P. Quézel. 1999. The phytogeographical significance of S.W. Marocco compared to the Canary Islands. *Plant Ecology* 140: 221-244.
- Myers, N., R. A. Mittermeier, C. G. Mittermeier, G. A. B. da Fonseca & J. Kent. (2000). "Biodiversity hotspots for conservation priorities". *Nature* 403: 853-858.
- Oromí, P. & M. Báez (2001). "Fauna invertebrada nativa terrestre" in J. M. Fernández-Palacios & J. L. Martín Esquivel (eds.) *Naturaleza de las Islas Canarias. Ecología y Conservación*, 205-212.. Santa Cruz de Tenerife: Turquesa.
- Pérez de Paz, P.L. (1995). "Macaronesia: entre el mito y la realidad". *Ecosistemas* 15:47-51.
- Rivas-Martínez, S. (2009). "Ensayo geobotánico global sobre la Macaronesia" in E. Beltrán Tejera, J. Afonso-Carrillo, A. García Gallo y O. Rodríguez Delgado (eds.), *Homenaje al Prof. Dr. Wolfredo Wildpret de la Torre*, 255-296. La Laguna: Instituto de Estudios Canarios.
- Rodríguez Delgado, O., A. Naranjo Cigala, M. Salas Pascual & M. T. Cáceres Lorenzo (2004). "Evolución y aprovechamientos de la vegetación canaria derivados del cultivo de la caña de azúcar", in A. Vieira (coord.) *O açúcar e o quotidiano*, 283-300. Funchal: Centro de Estudos de História do Atlântico.
- Rodríguez Delgado, O., A. Naranjo Cigala (2005). *El azúcar y su cultura en las islas atlánticas. Paisajes, geografía, etnobotánica y geobotánica*. Consejería de Educación, Cultura y Deportes del Gobierno de Canarias; Dirección General de Patrimonio Histórico; Ayuntamiento de Los Llanos de Aridane.
- Silva, L., E. Ojeda Land & J. L. Rodríguez Luengo (eds.) (2008). *Flora y Fauna Terrestre Invasora en la Macaronesia. TOP 100 en Azores, Madeira y Canarias*. Ponta Delgada: ARENA.
- Sjögrene, E. (2000). "Aspects on the biogeography of Macaronesia from a botanical point of view". *Arquipélago. Life and Marine Sciences. Supplement 2(Part A):* 1-9.

- Spalding, M.D., H. E. Fox, G. R. Allen, N. Davidson, Z. A. Ferdana, M. Finlayson, B. S. Halpern, M. A. Jorge, A. Lombana, S. A. Lourie, K. D. Martin, E. McManus, J. Molnar, C. A. Recchia & J. Robertson (2007). "Marine ecoregions of the world: a bioregionalization of coastal and shelf areas". *Bioscience* 57: 573–583.
- Stearn, W.T. (1973) "Philip Barker Webb and Canarian Botany". *Monographiae Biologicae Canariensis* 4: 15–29.
- Sunding, P. (1979). "Origins of the Macaronesia flora" in D. Bramwell (ed.), *Plants and islands*, 13–40. London: Academic Press.
- Triantis, K. A., J. Hortal, I. Amorim, P. Cardoso, A. M. C. Santos, R. Gabriel & P. A. V. Borges (2012). "Resolving the Azorean knot: a response to Carine & Schaefer (2010)". *J. Biogeogr.* 39: 1179–1187.
- Tuya, F. & R. J. Haroun (2009). "Phytogeography of Lusitanian Macaronesia: biogeographic affinities in species richness and assemblage composition". *Eur. J. Phycol.* 44(3): 405–413.
- Vanderpoorten, A., F. J. Rumsey & M. A. Carine (2007). "Does Macaronesia exist? Conflicting signal in the bryophyte and pteridophyte floras". *Am. J. Botany* 94: 625–639.
- Vanderpoorten A., J. Patiño & J.M. González-Mancebo (2013). "Macaronesia: a refugium and obligate custom office for Atlantic bryophyte species in transit from and towards Europe". In: Caujapé-Castells J, Nieto Feliner G, Fernández Palacios JM (eds.) (2013) *Proceedings of the Amurga international conferences on island biodiversity 2011*. 68- 74. Fundación Canaria Amurga-Maspalomas, Las Palmas de Gran Canaria, Spain.
- Walter, H. & H. Lieth (1967). *Climate diagram world atlas*. Jena: Fischer.

## NOTAS

1 La definición más aceptada de medio ambiente es "conjunto de componentes físicos, químicos, biológicos, sociales, económicos y culturales capaces de causar efectos directos e indirectos, en un plazo corto o largo sobre los seres vivos. Desde el punto de vista humano, se refiere al entorno que afecta y condiciona especialmente las circunstancias de vida de las personas o de la sociedad en su conjunto (Johnson et al. 1997)

2 Fuente del PIB per cápita: Azores, Canarias y Madeira eurostat (STAT/14/29 27 february 2014) [http://europa.eu/rapid/press-release\\_STAT-14-29\\_en.pdf](http://europa.eu/rapid/press-release_STAT-14-29_en.pdf); Cabo Verde Instituto Nacional de Estadística (<http://capeverde.africadata.org/>)

## 7. Anexos (tablas)

### Leyenda tablas anexo

1. Nombre de cada isla de la Macaronesia
2. Hongos nativos
3. Hongos endémicos
4. Líquenes nativos
5. Líquenes endémicos
6. Briófitos nativos
7. Briófitos endémicos
8. Pteridófitos nativos
9. Pteridófitos endémicos
10. Spermatófitos nativos
11. Spermatófitos endémicos
12. Platelmintos nativos
13. Platelmintos endémicos
14. Nemátodos nativos
15. Nemátodos endémicos
16. Anélidos nativos
17. Anélidos endémicos
18. Briozoos nativos
19. Briozoos endémicos
20. Nemertinos nativos
21. Nemertinos endémicos
22. Moluscos nativos
23. Moluscos endémicos
24. Artrópodos nativos
25. Artrópodos endémicos
26. Vertebrados nativos
27. Vertebrados endémicos
28. Total nativos
29. Total endémicos
30. \*En gris: no se tienen datos

Tabla 2.4: Número de especies de cada grupo taxonómico de las islas de la Macaronesia.

1 NOMBRE	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	HONG- NAT	HONG- END	LIQU- NAT	LIQU- END	BRIO- NAT	BRIO- END	PTER- NAT	PTER- END	SPER- NAT
EL HIERRO	277	4	296	3	193	3	34	1	670
LA PALMA	1.090	26	728	18	344	3	42	1	862
LA GOMERA	620	18	662	13	292	2	41	1	862
TENERIFE	1.136	58	939	17	427	5	53	1	1.415
GRAN CANARIA	506	35	333	4	304	2	47	2	1.261
FUERTEVENTURA	48	1	215	8	128	2	16	0	732
LANZAROTE	64	3	197	4	112	2	15	0	686
MADEIRA	738	36	378	6	507	10	72	7	1.034
PORTO SANTO	13	0	16	1	104	0	13	0	444
DESERTAS	4	0	7	0	55	2	11	0	201
SALVAJES	3	0	25	0	9	0	3	0	101
CORVO	7	0	13	0	179	2	37	5	308
FLORES	128	2	120	4	277	4	53	6	494
FAIAL	113	2	197	6	286	4	58	5	699
PICO	94	1	228	8	283	4	58	6	551
GRACIOSA	31	0	150	3	131	0	31	5	414
SAO JORGE	34	0	152	3	310	4	44	4	469
TERCEIRA	287	15	451	7	361	5	54	6	609
SAO MIGUEL	214	5	394	5	358	4	61	4	687
SANTA MARIA	13	0	56	0	214	0	41	3	602
SANTO ANTAO	23	0	163	5	110	5	28	1	478
SAO VICENTE	14	0	84	5	25	1	11	1	279
SANTA LUZIA	0	0	1	0	0	0	1	0	78
BRANCO	0	0	2	0	0	0	0	0	64
RASO	3	0	2	0	0	0	0	0	65
SAO NICOLAU	14	0	117	4	74	4	20	1	211
SAL	7	0	32	4	2	1	0	0	123
BOAVISTA	1	0	28	3	1	0	2	0	170
MAIO	0	0	13	1	0	0	1	0	167
SANTIAGO	18	0	134	6	35	2	14	0	281
FOGO	3	0	70	4	55	3	23	0	217
BRAVA	2	0	33	3	24	0	12	0	159





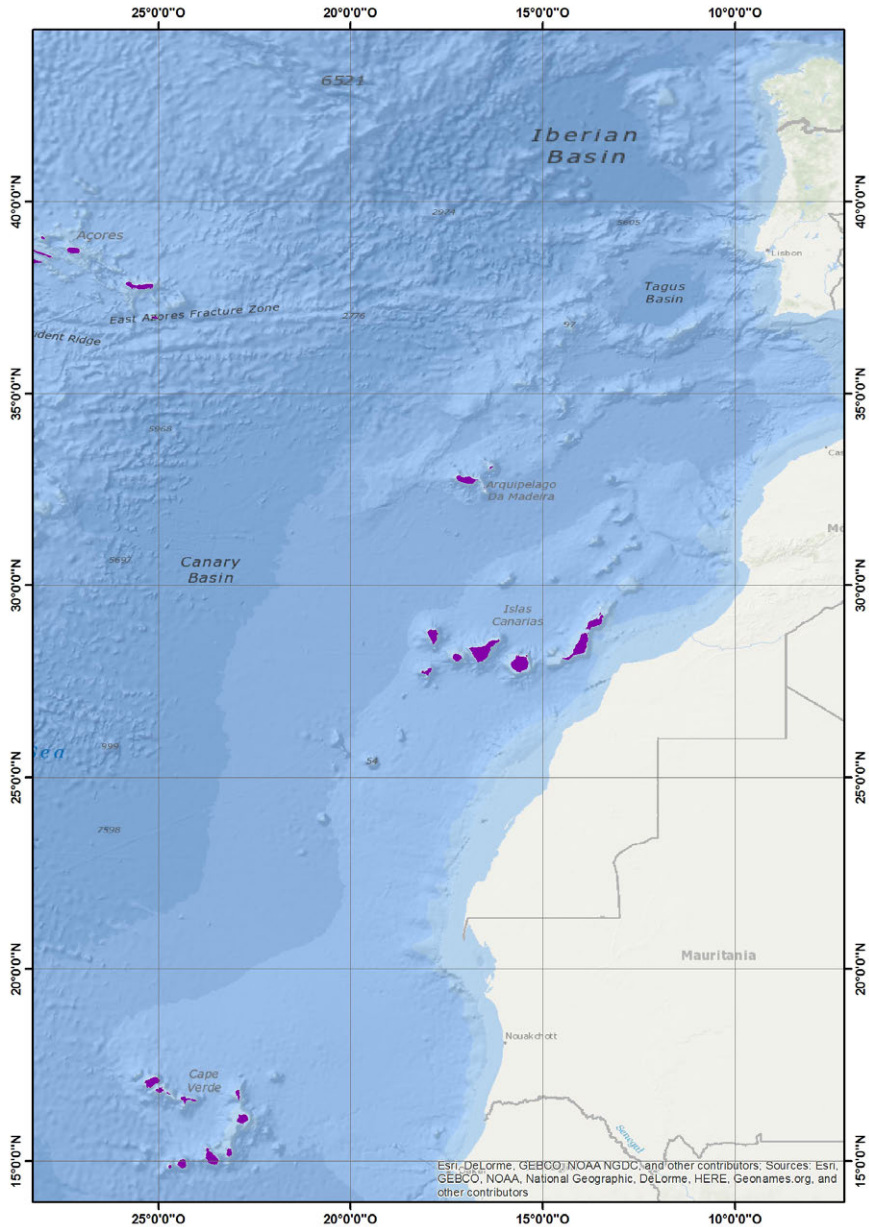
1	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
NOMBRE	NEME- NAT	NEME- END	MOLU- NAT	MOLU- END	ARTR- NAT	ARTR- END	VERT- NAT	VERT- END	TOTA- NAT	TOTA- END
EL HIERRO	0	0	32	17	1.368	509	62	7	2963	667
LA PALMA	0	0	56	30	2.741	843	62	5	5979	1106
LA GOMERA	0	0	78	62	2.321	849	64	7	4993	1133
TENERIFE	0	0	112	71	4.988	1.630	112	8	9324	2093
GRAN CANARIA	0	0	74	45	3.190	1.026	93	5	5872	1336
FUERTEVENTURA	0	0	41	32	1.695	434	66	5	2959	561
LANZAROTE	0	0	40	28	1.391	396	58	4	2600	508
MADEIRA			174	92	3.542	795	52	3	6559	1065
PORTO SANTO			87	71	766	140	34	0	1477	248
DESERTAS			32	26	298	92	14	0	623	156
SALVAJES			8	1	202	39	10	1	361	52
CORVO			45	16	266	31	26	7	881	97
FLORES			64	23	796	93	33	8	1981	185
FAIAL			70	30	946	89	33	10	2438	192
PICO			68	29	802	102	35	10	2136	210
GRACIOSA			56	19	478	41	34	10	1325	96
SAO JORGE			62	25	616	84	33	10	1734	177
TERCEIRA			70	27	1208	120	40	10	3124	238
SAO MIGUEL			87	33	1578	138	54	11	3536	247
SANTA MARIA			79	33	789	68	37	10	1853	145
SANTO ANTAO			30	8	703	147	24	6	1559	218
SAO VICENTE			18	6	483	97	16	3	930	141
SANTA LUZIA			2	1	52	14	8	3	142	29
BRANCO			2	1	6	4	12	4	86	20
RASO			2	1	10	3	17	6	99	22
SAO NICOLAU			22	9	491	99	24	8	973	152
SAL			6	3	315	65	17	4	502	88
BOAVISTA			11	2	312	56	27	4	552	74
MAIO			8	5	225	35	21	3	435	52
SANTIAGO			22	6	1096	181	40	9	1640	231
FOGO			8	4	457	84	23	8	856	124
BRAVA			16	4	307	53	29	6	582	81

Tabla 2.5: Número de especies de cada grupo taxonómico de los archipiélagos macaronésicos (conjunto de islas).

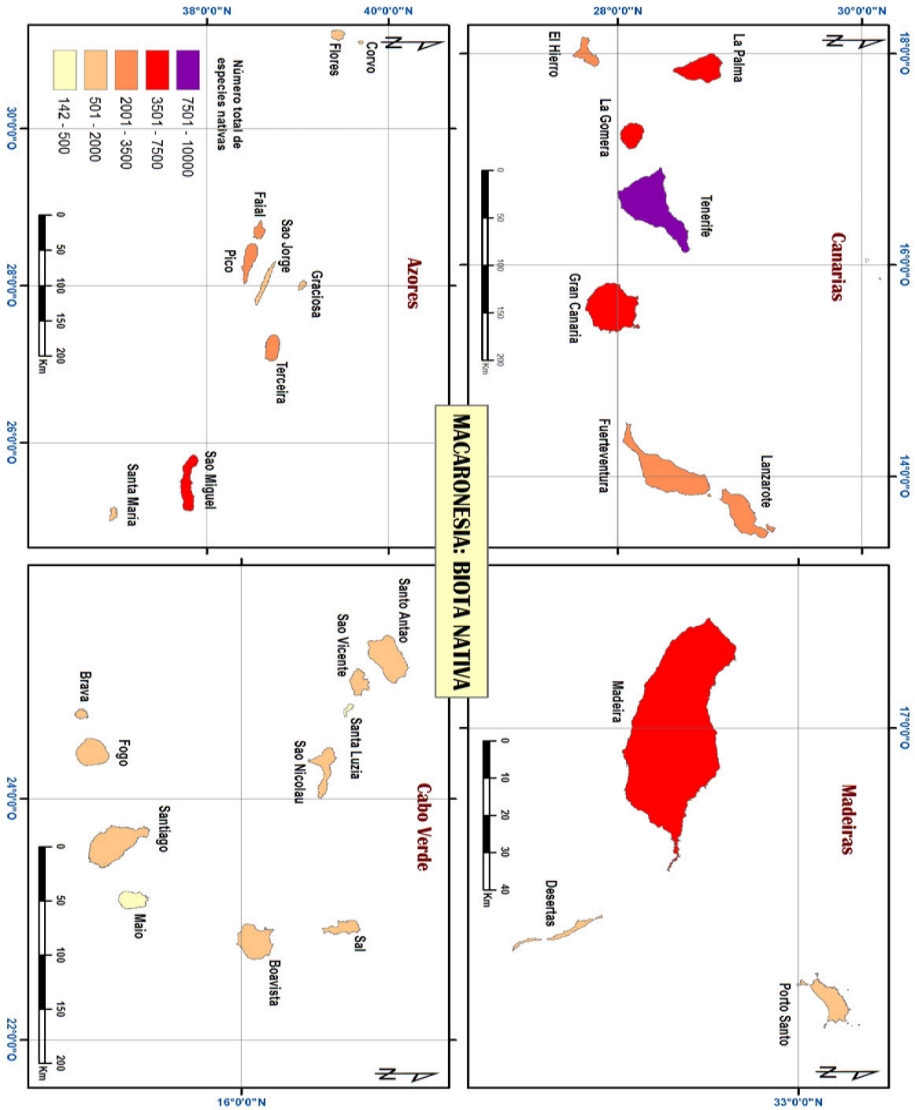
1	NOMBRE	CANARIAS	MADEIRAS	AZORES	CABO VERDE
2	HONG-NAT	1.893	742	543	62
3	HONG-END	107	36	24	0
4	LIQU-NAT	1.548	757	788	260
5	LIQU-END	40	12	9	8
6	BRIO-NAT	503	509	475	153
7	BRIO-END	6	11	7	6
8	PTER-NAT	64	72	76	33
9	PTER-END	2	7	7	1
10	SPER-NAT	2.027	1.100	1.010	724
11	SPER-END	537	129	58	65
12	PLAT-NAT	60	5	31	
13	PLAT-END	1	1	0	
14	NEMA-NAT	116	63	131	
15	NEMA-END	9	1	2	
16	ANEL-NAT	62	36	22	
17	ANEL-END	0	0	0	
18	BRIO-NAT	2			
19	BRIO-END	0			
20	NEME-NAT	2			
21	NEME-END	0			
22	MOLU-NAT	286	249	114	39
23	MOLU-END	236	164	16	10
24	ARTR-NAT	7.599	3.859	2.278	1.915
25	ARTR-END	2.898	921	236	435
26	VERT-NAT	156	58	69	65
27	VERT-END	21	4	12	15
28	TOTA-NAT	14318	7450	5537	3251
29	TOTA-END	3857	1286	371	540

## 8. Anexos (mapas)

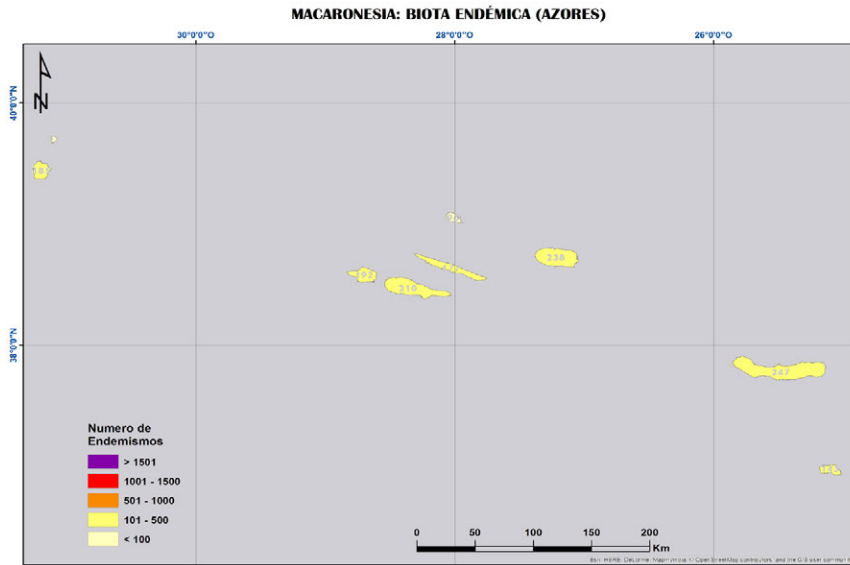
Mapa 2.1: Atlántico Norte, Macaronesia emergida y Paleomacaronesia.



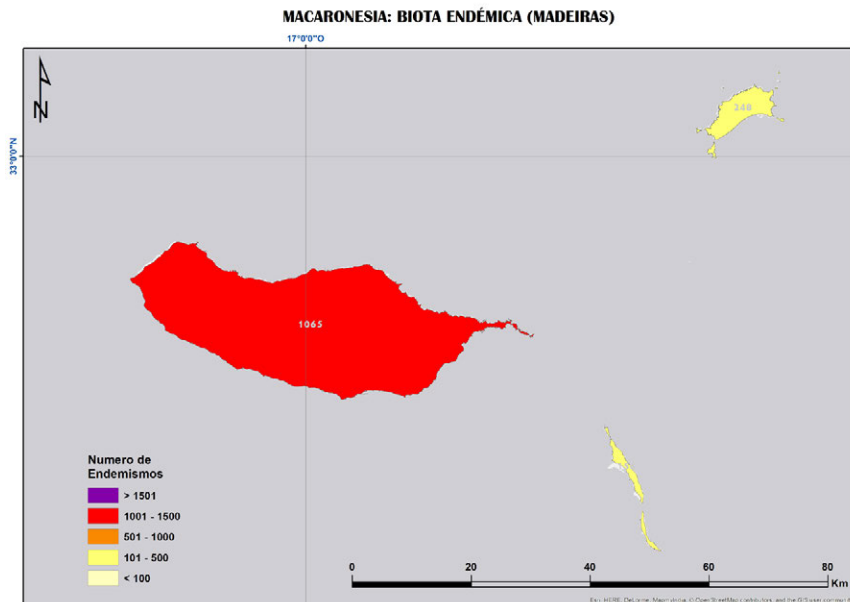
Mapa 2.2: Biota nativa de la Macaronesia; número de especies.



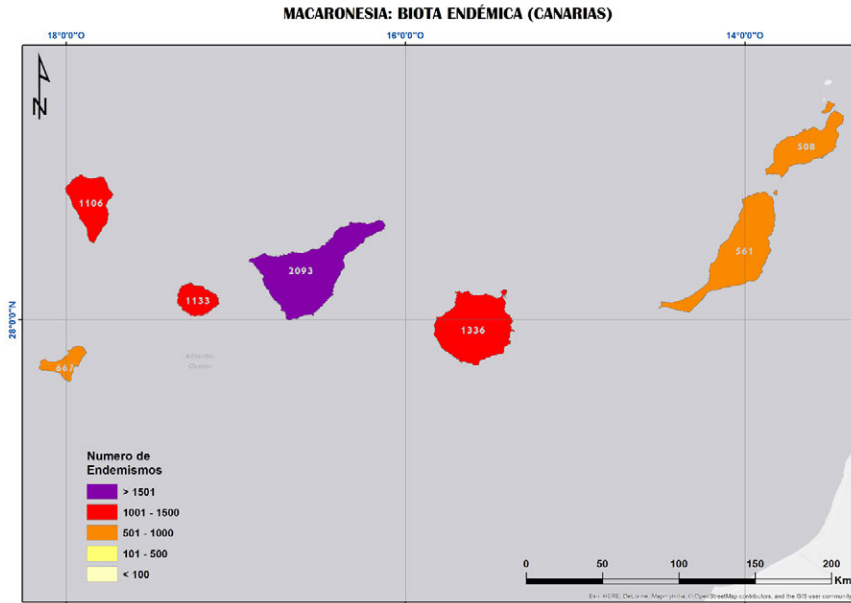
Mapa 2.3: Biota endémica de la Macaronesia; Azores



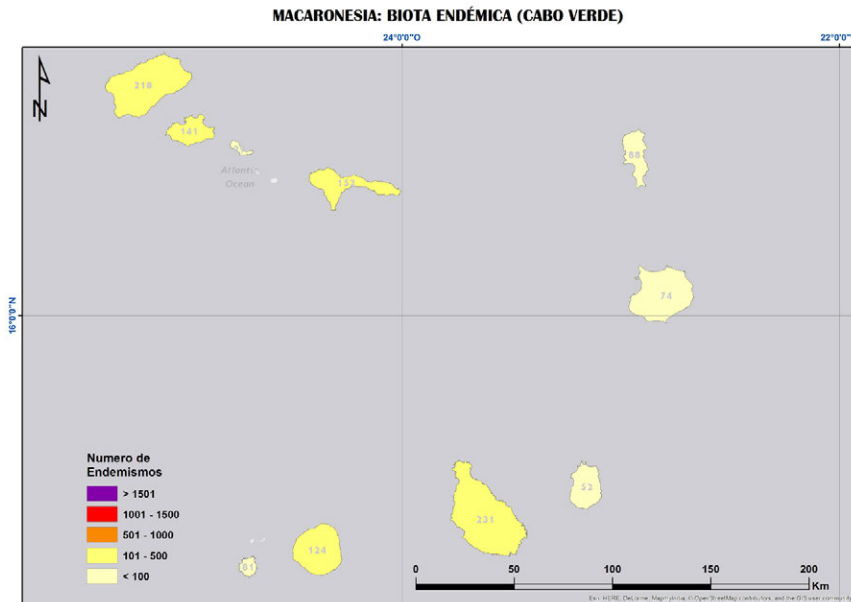
Mapa 2.4: Biota endémica de la Macaronesia; Madeira.



Mapa 2.5: Biota endémica de la Macaronesia; Canarias.



Mapa 2.6: Biota endémica de la Macaronesia; Cabo Verde.





## CAPÍTULO 3

---

# La importancia de las aves en la restauración de la laurisilva canaria

Velázquez Padrón, Carlos  
Cabrera Mujica, José Julio

### 1. Introducción

Cuando se habla de un bosque, a menudo se pone el énfasis en los árboles. Si se profundiza en su composición, se suelen citar por estratos las especies vegetales acompañantes. Pero rara vez se hace alusión a la fauna que vive asociada a la formación boscosa en cuestión. Quizá esto se deba a que damos por sentado, que la fauna necesita al bosque, o vive de él, pero que no existen interdependencias entre la foresta y los animales que la habitan.

El fenómeno de la ornitocoria (propagación de semillas por las aves) ha sido bastante investigado por los ecólogos. En general se constata, que los pájaros al ser territoriales, no suelen dispersar las semillas más allá de los límites de su territorio. En paseriformes por ejemplo las distancias de dispersión no suelen sobrepasar los 50 m, rara vez llegan a 100 m. No obstante aves de mayor tamaño, como palomas, oropéndolas o arrendajos transportan las semillas a más de un kilómetro de distancia (Bonn y Poschold, 1998), con lo que el efecto colonizador es considerable. En Canarias hay ejemplos muy interesantes de ornitocoria, quizá el más llamativo sea el que se ha puesto de manifiesto en las Cañadas del Teide (Rumeu y Nogales, 2014) con el mirlo capiblanco (*Turdus torquatus*). Esta especie europea que pasa el invierno en la alta montaña de Tenerife se ha convertido actualmente en un vector imprescindible para la recuperación del cedro canario (*Juniperus cedrus*) en Las Cañadas, al ingerir sus frutos y defecar las semillas, sin que éstas pierdan su viabilidad.

Este capítulo, de carácter netamente divulgativo y en absoluto científico, reúne una serie de experiencias hechas por sus autores, donde se pone de manifiesto el importante papel que están jugando algunas aves en la recuperación del monteverde, en concreto en la isla de Gran Canaria. Se hacen finalmente algunas reflexiones, sobre la idoneidad de aprovechar la ornitocoria como elemento de restauración forestal.



## 2. La laurisilva en Gran Canaria

Gran Canaria, es sin duda la isla donde la laurisilva ha sido más castigada. Si bien su extensión original se desconoce, se estima que en su día, pudo haber alrededor de 14.000 ha (PEPEN, 1986). Actualmente su superficie no llega al 2% de su potencial. Es quizá por este motivo, por el que se esté poniendo actualmente un gran interés en su restauración, con diferentes programas en marcha (LIFE-Rabiche, adquisición de fincas por las Administraciones para su posterior repoblación, firma de acuerdos de gestión con particulares, Día del Árbol, etc.). Paralelamente a los esfuerzos, tanto de las Administraciones, como de diferentes entidades privadas (Ascan-GUM, Grupo Ecológico La Vinca, Grupos Montañeros, Fundación Foresta, etc.) así como de ciudadanos anónimos, la naturaleza está poniendo su importante grano de arena, propiciando la recolonización de amplias superficies, que hasta hace pocos años albergaban actividad agropecuaria. En este sentido algunas aves están funcionando como verdaderos dispersores de semillas y por ende de brinzales, muchos de los cuales consiguen perpetuarse, enriqueciendo y haciendo avanzar al bosque, sin carga económica alguna para las arcas públicas. Esta oportunidad, podrá permitir redireccionar los esfuerzos económicos y humanos hacia una mejor, más eficiente gestión de los procesos.

## 3. Ejemplos de ornitocoria

### 3.1. Laureles bajo olmos

Ponemos como primer ejemplo una pequeña olmeda en la Finca de Osorio (Teror), que de por sí tiene un origen muy interesante. En principio se trataba de una alineación de olmos, a modo de seto entre cultivos. El olmo, que es una especie muy palatable para el ganado, se podaba severamente, con lo que mantenía su estructura lineal y arbustiva. Una vez que cesó la presión, la alineación original se ha extendido en altura y en superficie. El incremento territorial lo consigue gracias a su propagación por brotes de raíz, con lo que actualmente ha pasado a cubrir una superficie de alrededor de 1.000 m<sup>2</sup>. Paralelamente y al cobijo del extraordinariamente denso bosque de olmos (magnífico refugio contra depredadores), los pájaros, principalmente mirlos, han ido regurgitando las semillas no digeridas de laureles, paloblanco y fayos, con lo que se está generando un incipiente núcleo de laurisilva (Figura 3.1), donde antes solo había tierras de labor abandonadas. Un dato interesante es que el laurel adulto más cercano se encuentra a 75 m de la citada olmeda.



Figura 3.1: Olmeda de Osorio (Teror). Laurel de regeneración natural con crecimiento apical dominante. La interacción de las aves con el desarrollo de bosques alóctonos de olmo, castaño, álamo blanco y otros está creando condiciones idóneas para la recuperación de especies de monteverde.

### 3.2. Cedros bajo coníferas

Otro caso muy interesante se ha dado en la Reserva Natural Especial del Brezal del Palmital, en el municipio de S. M<sup>a</sup>. de Guía. Hace más de cinco décadas el entonces Patrimonio Forestal del Estado, repobló la parte alta de la Reserva con diferentes especies de coníferas, casi todas foráneas. En su parte suroeste se plantó un pequeño rodal de cedros canarios.

Muy pronto, principalmente los mirlos, comenzaron a comerse los sabrosos frutos del cedro y a “sembrar” el terreno de semillas semidigeridas. Se ha constatado regeneración natural de cedro a 320 metros de los pies semilleros. Con el tiempo la presencia de la segunda generación de cedros canarios es notable. Y como colofón, estos nuevos árboles, por la densidad de sus copas, sirven a las aves de refugio y nuevo posadero, hasta donde

trasladan y comen frutos de paloblanco, madroño, drago y de los propios cedros (Figura 3.2). El resultado es que al pie de la primera y de la segunda generación de cedros canarios, aparecen renuevos de gran variedad de especies.



Figura 3.2: Madroños de regeneración natural bajo cedro de segunda generación.

### 3.3. Viñátigos bajo copas

El viñátigo es una laurácea que abunda en las formaciones maduras de la laurisilva húmeda. La estrategia de dispersión de la semilla es principalmente barócora, es decir, disemina el fruto por gravedad (Naranjo, 2012). En Gran Canaria pervive en unos pocos enclaves, inconexos entre sí. Uno de los viñátigos más imponentes es el del Barranco de Las Ánimas (Valleseco) por su altura (Artiles, 1996). Este ejemplar se ha caracterizado por presentar una muy pobre fructificación, probablemente por su aislamiento. Desde que se ha repoblado en la finca con más individuos y éstos han entrado en edad fértil, se ha elevado considerablemente su producción de frutos, lo que nos hace pensar en el incremento de la polinización cruzada. Desde hace pocos años se observa una importante regeneración natural de viñátigo en la zona (Figura 3.3). La regeneración sin embargo no es homogénea; si bien se encuentran brinzales a una distancia de más de 100 m de los pies

semilleros, éstos se concentran bajo otros árboles (laureles, pinos, alcornoques, frutales) o arbustos de cierto porte (codesos, bencomias). El patrón viene marcado por la idoneidad como posadero, sin distinción de la especie. La zona, que está conformada por antiguas parcelas de cultivo abandonadas, está poblada principalmente de helecho y zarza. Bajo estas formaciones apenas se observa regeneración natural.



Figura 3.3: Regeneración de viñátigo bajo bencomia.

### 3.4. Semillas en los bebederos

En la vertiente oeste del Pico de Osorio se encuentra el “Aula de la Laurisilva”, un albergue que centra su labor pedagógica en poner en valor esta tan castigada formación boscosa en Gran Canaria. El gerente de este albergue, Javier Guerra nos mostraba extrañado, como en el bebedero para perros aparecían semillas de viñátigo (Figura 3.4), estando el ejemplar más cercano a 50 m del lugar (J. Guerra, comunicación personal). Respecto al mirlo común, suele ser habitual que ingiera frutos de considerable tamaño. Si el fruto posee una semilla que no pueda pasar por todo el tracto digestivo, digiere la pulpa y regurgita la semilla (M. Nogales, comunicación personal). Una explicación para esta acumulación de semillas en los bebederos puede radicar en que el mirlo, antes de saciar su sed, debe “descargarse” del lastre que suponen las semillas en su estómago. Este comportamiento sin duda reforzaría en el pasado el “trasiego” de semillas alrededor de nacientes y cursos permanentes de agua.



Figura 3.4: Semillas de viñátigo recogidas del fondo del bebedero para perros y que previamente fueron depositadas por los pájaros.

### 3.5. Otros ejemplos

Existen innumerables ejemplos de zoocoria, dado que afortunadamente es un proceso frecuente. Se ha podido constatar por ejemplo, como tras la plantación de un orobal una ladera se ha llenado de nuevos individuos, tras ser "sitiado" el lugar por paseriformes. Lo mismo está experimentando un colonizador nato como la bencomia, que junto al granadillo, actúan como excelentes posaderos.

Aunque sea de otra especie, en este caso introducida, en la zona de Valsequillo se observa cómo el conejo come frutos de retama blanca y sus semillas aparecen entre sus heces y germinan con posterioridad (V. Navarro, comunicación personal).

## 4. Reflexiones

### 4.1. Fabricar sombra

La actual situación nos enseña, que la restauración forestal es mucho más compleja que la simple plantación de árboles. La restitución de un ecosistema hay que entenderla principalmente como una gestión de los procesos, que inciden principalmente en su recuperación. La elección de especies ha estado siempre entre los factores predominantes que caracterizan una actuación de reforestación. Sin embargo la experiencia está demostrando, que más importante que implantar una especie concreta, a veces con grandes esfuerzos económicos, técnicos y humanos, es más racional gestionar los procesos que puedan multiplicar la implantación.

En el caso de la laurisilva, dominada por especies que incrementan su tolerancia a la sombra a medida que el bosque se acerca a su clímax, es fundamental analizar las estructuras vegetales presentes en el territorio y pensar en cómo redireccionarlas, de cara a acelerar la sucesión. La plantación de monteverde a plena luz genera a menudo ejemplares rechonchos, con copas muy densas y tallas bajas. Se observa por tanto un comportamiento “defensivo”, que retrasa considerablemente la progresión del arbolado. Por el contrario aquellos brinzales (espontáneos o plantados) que crecen a media sombra se caracterizan a menudo por presentar un dominio apical muy marcado y generalmente reflejan un comportamiento “agresivo. Por ello pensamos que la laurisilva precisa de formaciones precedentes, que atenúen las duras condiciones que reinan actualmente en nuestras deforestadas medianías.

Se hace imprescindible obviar aspectos como el origen autóctono, criterio que ha marcado de forma muy negativa la restauración ambiental en nuestras islas. Para expresarlo de forma coloquial, en la restauración, a las especies vegetales no se les debe “pedir el DNI”, es decir su lugar de origen, sino “su curriculum”, o mejor dicho, las características positivas o negativas que aportan a la progresión de la formación que queremos implantar. Así por ejemplo el eucalipto blanco no es adecuado para “fabricar sombra, no porque proceda de Australia, sino porque es una especie que supera al monteverde en altura y porque le vence en su competencia por el agua del subsuelo. De la misma forma el helecho, que si bien es nativo, genera condiciones de excesivo sombreado, que termina dificultando la progresión de los brinzales de laurisilva. Asimismo no ofrece posaderos adecuados, para que los pájaros “pongan al día” su tracto digestivo.

Especies de matorral como la bencomia, el codeso y el escobón, y árboles como el castaño, olmo, álamo blanco y alcornoque, generan condiciones ideales de sombra-media sombra para la laurisilva. Con una adecuada selvicultura se puede gestionar esta sombra, para

generar condiciones ideales, hasta que dichos elementos hayan cumplido su función y vayan siendo eliminados mediante entresaca selectiva.

## 4.2. El “todo incluido”

Una estrategia que puede tener máxima eficiencia, sería lo que podríamos denominar “todo incluido”. En principio se trataría de crear lugares específicos, donde las aves unieran a la posibilidad de tener bebederos, lugares donde bañarse (verano e invierno), con máximas cotas de seguridad anti-depredadores y puntos de alimentación aledaños con frutos autóctonos que, habrían de reponerse. A priori, la medida conllevaría efectos inmediatos, ya que de hacerlo, no habría que esperar al crecimiento de las especies autóctonas, sino que, cualquier lugar arbolado podría servir, como núcleo inicial de dispersión.

## 4.3. Núcleos de dispersión con árboles forestales injertados

En enero de 2008 y a raíz del Gran Incendio Forestal del Suroeste de Gran Canaria, uno de los pinos más emblemáticos de Canarias, el Pino de Pilancones, era finalmente derribado por un vendaval. Este ejemplar de alrededor de 550 años de edad y de 30 m de altura (Guzmán, 2013), había sufrido daños irreversibles en su base en diferentes incendios. Ante tal irreparable pérdida, el Cabildo de Gran Canaria decidió hacer un esfuerzo por perpetuar su memoria. Un grupo de trabajo se encargó de recolectar yemas todavía vivas del árbol caído y de injertarlas sobre pinos canarios de vivero, de 1 o 2 savias. De los aproximadamente 30 injertos que se realizaron, prosperaron 3, quedando actualmente dos ejemplares vivos (Figura 3.5). Uno de ellos se encuentra en la Finca de Osorio y seis años después ha producido sus primeras piñas, con semillas viables.

Este tratamiento de un árbol forestal, como si de un frutal se tratase, ha animado a este grupo a intentar el injerto de las principales especies forestales de Canarias. Experiencias en almácigo, acebiño y cedro canario, hacen presagiar que esta técnica puede dar resultados en un futuro no muy lejano (M. Díaz-Beltrana, comunicación personal). De esta forma se podrían crear núcleos de dispersión con árboles muy selectos, injertados para producir fruto de forma temprana, mantenidos con riego en los primeros años, e incluso protegidos mediante vallado para evitar ataques de herbívoros. De esta forma y conociendo la capacidad dispersora de las aves, se podría optimizar la restauración de amplios espacios.

Otro factor fundamental, es que no habría que adquirir los terrenos a restaurar, dado que las aves “no entienden” de linderos y propiedades. Solo precisan de condiciones favorables para realizar su labor restauradora, sin tener en cuenta la titularidad del suelo.



Figura 3.5: Ejemplar de pino canario procedente del injerto de una púa del ya desaparecido “Pino de Pilancones”. Tras 6 años de vida, este joven pino se comporta como un “frutal injertado” y en 2014 ha producido 7 piñas con semillas aparentemente viables.



## 5. Conclusiones

En momentos de escasez de recursos, como en el que estamos inmersos actualmente, se necesitan estándares de eficiencia, abaratamientos de costos y aporte de nuevos modelos de gestión forestal que posibiliten a la propia naturaleza aprovechar su capacidad de autorregeneración.

Si en el pasado los ingenieros se han caracterizado por intervenir a menudo en la naturaleza sin reparar en costos, consumo energético e impactos ambientales y por el contrario los académicos han preferido posponer la acción, por miedo a impactos y a la falta de estudios preliminares concluyentes, es hora de combinar el “ingenio” con la observación de procesos, para así optimizar la reimplantación de los bosques originales.

En el seguimiento de este interesante proceso colaboran muchos compañeros y compañeras, que no pueden ser omitidos en este artículo. Nuestro agradecimiento a Isabel Reyes Perera, Juan Guzmán Ojeda, Lucas Rodríguez Cabrera, Erlantz Auzmendi Jiménez, Marco Díaz-Beltrana, José Juan Rodríguez, Jorge Naranjo Borges y Roberto Castro Rodríguez.

## 6. Bibliografía

- Artiles, B. (1996). Estudio cartográfico de árboles selectos de lauráceas en Gran Canaria. Trabajo Fin de Carrera. Universidad de Huelva. Escuela Politécnica Superior Ingeniería Técnica Forestal. 188 pp.
- Bonn, S. und Poschold, P. (1988). *Ausbreitungsbiologie der Pflanzen Mitteleuropas*. Quelle und Meyer Verlag. 404 pp.
- Guzmán, J. (2013). *Los 550 años del Pino de Pílancones, el “abuelo forestal”*. Árboles de Canarias, Columnistas, Flora y Fauna. Pellagofio nº 12.
- Naranjo, J. (2012). “*Persea indica L. Viñátigo, viñático*” en Pemán J., Navarro-Cerrillo R.M., Nicolás J.L., Prada M.A., Serrada R. (Coords.), “*Producción y manejo de semillas y plantas forestales. Tomo I*” Organismo Autónomo Parques Nacionales. Serie Forestal. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 1018 pp.
- Rumeu, B. y Nogales, M. (2014). *Esperando la invernada del Mirlo Capiblanco: la clave de la dispersión de semillas del Cedro Canario en el Parque Nacional del Teide*. *Chronica naturae* 4: 10-20.
- Varios autores (1986). *Plan Especial de Protección de los Espacios Naturales de Gran Canaria: P.E.P.E.N.* Comisión de Ordenación del Territorio, Medio Ambiente y Vivienda. Excmo. Cabildo Insular de Gran Canaria. *Botánica macaronésica* 15: 3-72.

## CAPÍTULO 4

---

# Estrategias de restauración de suelos volcánicos degradados

Rodríguez Rodríguez, Antonio  
Arbelo Rodríguez, Carmen Dolores

### 1. Introducción

Las erupciones volcánicas a menudo destruyen numerosos ecosistemas terrestres y causan enormes perjuicios a la población y a la vida salvaje, pero de estas devastadoras cenizas surgen unos de los más productivos suelos del planeta, con una alta capacidad de sustentar elevadas densidades de población.

La distribución global de los suelos de origen volcánico es similar a la de los volcanes terrestres y por tanto se pueden encontrar bajo las más variadas condiciones climáticas. Los suelos sobre materiales volcánicos cubren aproximadamente 124 millones de hectáreas (0,8% de la superficie de suelos del planeta) (Leamy et al., 1980), pero a pesar de esta escasa superficie constituyen un importante recurso debido a la ingente cantidad de población que habita en las regiones en las que aparecen (Shoji et al., 1993).

Son suelos que presentan por lo general una elevada fertilidad y soportan y alimentan a millones de personas (Delmelle et al., 2015). Son pues suelos sometidos a una intensa presión antrópica, no sólo derivada de su utilización agrícola y de producción de biomasa sino también a otros usos que en ocasiones conllevan una severa degradación de su calidad intrínseca y los consiguientes efectos ambientales negativos. A menudo estos suelos se encuentran formando parte de paisajes singulares, por lo que están sometidos a numerosas presiones derivadas de la actividad turística (Bartoli et al., 2007).

Pero además los suelos volcánicos presentan unas características muy peculiares, que les diferencian claramente de los suelos desarrollados sobre otro tipo de materiales geológicos, debidas fundamentalmente a unas propiedades mineralógicas muy singulares derivadas de la naturaleza vítrica, la mayor parte de las veces, de los materiales volcánicos. Estas propiedades mineralógicas particulares hacen que su comportamiento físico y químico sea también peculiar, por lo que sus procesos de degradación y las medidas de restauración han de ser también particulares. Por lo tanto una adecuada comprensión de las propiedades de los suelos en las áreas volcánicas, es importante para desarrollar políticas para el uso y protección de estos importantes recursos edáficos.

La degradación de suelos supone siempre una pérdida importante de su calidad y de su funcionalidad. Si entendemos por calidad del suelo *la capacidad del mismo para producir alimentos y para funcionar como interfase ambiental* o lo que es lo mismo *su capacidad para mantener sus funciones productivas y ambientales*, queda claro que la degradación de los suelos ha de suponer siempre una pérdida de su capacidad para suministrar bienes y servicios a los ecosistemas terrestres.

Esta pérdida de funcionalidad es de mayor importancia si cabe, para el caso de los suelos volcánicos dada sus altas potencialidades para producir biomasa y la elevada calidad de otros servicios ecosistémicos que llevan a cabo.

Por lo tanto los suelos volcánicos degradados son suelos que han perdido su capacidad de recurso multifuncional o que han perdido su capacidad para producir bienes económicos y llevar a cabo funciones de regulación ambiental, y en este sentido es importante poder distinguir lo que en realidad son suelos degradados por actividades de uso antrópico, de aquellos suelos volcánicos de baja calidad como consecuencia de unos factores de formación poco favorables a la formación de suelos de alta calidad (pendientes acusadas, condiciones climáticas extremas, erupciones recientes, etc.). Un suelo degradado es un suelo que en su momento tuvo una mejor calidad y que la ha perdido como consecuencia de una mala gestión antrópica.

La mejor manera de evitar la degradación de los suelos es realizar una gestión o manejo sostenible de los mismos, entendiendo por tal aquella gestión del suelo que obtiene de éste el máximo de sus funciones productivas y ambientales, sin comprometer la cantidad y cualidades del mismo para cubrir las necesidades de las generaciones futuras. La conservación de suelos supone siempre tomar una serie de medidas para prevenir (antes) o controlar (durante) los procesos de degradación de suelos y en su caso *restaurar, regenerar o rehabilitar* los suelos degradados. Estos tres conceptos, a nuestro juicio, tienen significaciones diferentes: en la restauración los suelos degradados se devuelven a sus condiciones originales exactas, en la regeneración (recuperación o reclamación) los suelos degradados se devuelven a un funcionamiento ecológico similar, aunque no sean exactamente las condiciones originales y en la rehabilitación los suelos degradados vuelven a tener una utilización económicamente rentable, aunque con diferentes usos y un funcionamiento ecológico diferente del original.

Aquí y como suele ser habitual, el término restauración se utiliza en su sentido más amplio, englobando los otros dos términos y considerando cualquiera de los objetivos que tradicionalmente se le atribuyen a la restauración de los suelos degradados, es decir:

- Objetivos económicos, ya que los suelos restaurados se pretenden dedicar a la producción agrícola, al uso forestal o a terrenos de pastos

- Objetivos preventivos de daños en la agricultura, de aterramiento de embalses, de deterioro en obras civiles o de inundaciones aguas abajo
- Objetivos ecológicos de restablecimiento de ecosistemas, protección de flora y fauna autóctonas o control de la erosión, y
- Objetivos paisajísticos y otros

En este capítulo nosotros trataremos de mostrar cuales son las causas (factores) que más frecuentemente llevan a la degradación de los suelos volcánicos del mundo, los procesos y mecanismos mediante la que tiene lugar la degradación y pérdida de funcionalidad de este tipo de suelos y los efectos productivos, ambientales, paisajísticos y socioeconómicos que esta degradación conlleva. Finalmente nos centraremos en describir cuales son las peculiaridades que presentan los suelos volcánicos en aquellas propiedades que más influyen y la manera en que lo hacen en los mecanismos de degradación, para así poder diseñar de manera más adecuada las estrategias de restauración.

## 2. Factores y procesos de degradación de suelos

### 2.1. Factores de degradación del suelo

Conocemos como factores o causas de degradación de los suelos a aquellos agentes antrópicos que inician y aceleran los procesos que provocan cambios en el suelo, no asimilables por la resiliencia del mismo y que llevan a la pérdida de su calidad. Evidentemente estos factores son múltiples y de naturaleza muy variada, pero para facilitar su comprensión podemos agruparlos en:

- a) factores relacionados con las actividades agrícolas, ganaderas y forestales y en general con el uso agropecuario de los suelos volcánicos
- b) factores relacionados con las actividades industriales
- c) factores relacionados con la actividad urbanizadora

Entre los primeros, prácticamente todas las actividades agropecuarias sobre el suelo, cuando no se realizan de manera adecuada y sostenible generan la degradación de los recursos que se utilizan, así las deforestaciones y talas masivas a matarrasa de superficies arboladas y protegidas, la sobreexplotación de la vegetación natural para usos domésticos (leño, carboneo, etc), el sobrepastoreo con una exagerada carga ganadera (principalmente caprina) sobre el territorio (Figura 4.1), el uso excesivo (abuso) e indiscriminado de agroquímicos (fertilizantes inorgánicos de síntesis, plaguicidas, herbicidas, etc.), el uso de aguas de riego de baja calidad en la agricultura, generalmente debido a una competencia

desleal con el uso turístico-urbano, el laboreo intensivo en áreas de pendiente elevada y el monocultivo, que supone un agotamiento de los ciclos químicos y biológicos en el suelo, el uso en determinadas situaciones de maquinaria pesada (tractores, desbrozadoras y otros), que provoca un deterioro grave de la estructura del suelo (Figura 4.2), podemos considerarlos como aquellos factores de origen agropecuario que más influyen en la degradación de los suelos en áreas agrícolamente activas como son las áreas con suelos volcánicos.



Figura 4.1: Pastoreo caprino en los suelos volcánicos de Fuerteventura.



Figura 4.2: Utilización de maquinaria pesada en los suelos de La Laguna.

Existen además otros factores relacionados indirectamente con las actividades agropecuarias en los suelos volcánicos, como la inadecuada utilización de los regadíos, la incidencia de los incendios forestales (Figura 4.3) con el importante efecto que éstos tienen sobre la calidad de la materia orgánica del suelo y el abandono de los sistemas agrícolas tradicionales con el consiguiente deterioro de bancales y terrazas y otras estructuras de conservación de suelos y aguas (Figura 4.4), que también contribuyen de alguna manera a la incidencia de determinados procesos de degradación, particularmente la erosión del suelo y la salinización/sodificación de los mismos.



Figura 4.3: Efectos sobre el suelo de un incendio forestal en el retamar de alta montaña.



Figura 4.4: Deterioro de paredes de bancales en los altos de Arico.

Si nos referimos a los factores de degradación de suelos de origen industrial, podemos considerar como tales a todos los residuos industriales, residuos de minería y fundiciones, acumulación de subproductos e indirectamente la lluvia ácida, todos ellos causas entre otros, del proceso general de degradación conocido como contaminación del suelo.

La actividad urbanizadora y constructiva es una causa frecuente de degradación de suelos, no sólo la construcción de urbanizaciones residenciales y turísticas, sino también la construcción de infraestructuras de transporte, ocio y recreo. Estas actividades cuando se realizan sobre suelos productivos o con un importante funcionamiento ambiental, conllevan el proceso de degradación conocido como sellado o asfaltización que provoca la inutilización irreversible de grandes extensiones de suelos fértiles o de alta calidad ambiental, constituyéndose en la actualidad en uno de los problemas de degradación de suelos de mayor importancia en Europa y en pequeñas islas volcánicas de gran interés turístico (Figura 4.5).



Figura 4.5: Sellado de suelos de alta calidad ambiental (Playa La Barca, Fuerteventura).

## 2.2. Procesos de degradación del suelo

Como consecuencia de la acción, individual o combinada, de todos estos factores se generan una serie de procesos de degradación que en mayor o menor medida afectan a los suelos volcánicos y que podemos definir como todas aquellas acciones físicas, químicas y biológicas y sus interacciones que afectan cualitativa o cuantitativamente la capacidad autoreguladora del suelo y su productividad o que reducen su calidad (Lal, 2012). Para una mejor comprensión estos procesos podrían agruparse de la siguiente manera:

A) Procesos que suponen un desplazamiento del material edáfico, y

B) Procesos que suponen un deterioro in situ de la calidad del suelo

Entre los primeros destaca la erosión, el proceso de degradación por excelencia, y que hasta hace muy poco ha sido considerado por todos como el proceso por el cual se pierde la productividad de más de la quinta parte de los suelos útiles del planeta. Debemos distinguir a su vez la erosión por el agua (erosión hídrica) de la erosión por el viento (erosión eólica) según cuál sea el agente que proporciona la energía necesaria para el proceso (el agua o el viento).

En la erosión hídrica influyen a su vez una serie de factores como son la agresividad de la lluvia (erosividad), la mayor o menor resistencia del suelo a erosionarse (erodibilidad), la pendiente del terreno, la cobertura vegetal, la existencia o no de prácticas de conservación y otros factores de índole socioeconómica. En los suelos de origen volcánico predominan unas formas de erosión hídrica sobre otras, siendo los movimientos en masa o deslizamientos en masa una de las más frecuentes, dadas sus características físicas y químicas que veremos posteriormente.

Estos movimientos en masa se producen cuando horizontes con elevada tixotropía, se saturan de agua y se deslizan sobre un horizonte impermeable subyacente, lo cual tiene lugar en suelos con valores muy próximos de límite líquido y límite plástico, con presencia de horizontes impermeables en profundidad, en los que se saturan de agua los horizontes superficiales que alcanzan el límite líquido y se transforman en un fluido viscoso que se desliza sobre el horizonte impermeable por gravedad, en forma de corrientes de lodo y masas fangosas (Figura 4.6).



Figura 4.6: Movimientos en masa en suelos volcánicos tropicales.



Otra forma de erosión hídrica, frecuente en los suelos de origen volcánico, es la erosión laminar, que es la generada por el flujo (o escorrentía) laminar en el que el agua circula a modo de manto o lámina continua sobre la superficie del suelo (Figura 4.7). La erosión laminar es difícil de detectar sobre el terreno y de ahí su elevada peligrosidad y que a veces se le denomine erosión oculta.



Figura 4.7: Erosión laminar en los suelos del Mirador del Río (Lanzarote).



Figura 4.8: Erosión en regueros en suelos volcánicos de Los Valles (Lanzarote).

Otras formas comunes de erosión por el agua en este tipo de suelos son la erosión en regueros y la erosión en cárcavas (Figura 4.8), generadas por el flujo o escorrentía concentrada, en el que el agua circula de modo lineal (concentrado) por zonas del suelo donde se ha generado una incisión. Estas formas de erosión en su estado más avanzado y generalizado originan terrenos relativamente extensos totalmente acarcavados denominados campos de cárcavas o badlands (Figura 4.9).



Figura 4.9: Terreno acarcavado (badlands) en La Ampuyenta (Fuerteventura).

La erosión eólica se ha considerado a menudo un importante factor de desertificación, ya que es un proceso más frecuente en las zonas áridas y semiáridas del globo, en las que concurren circunstancias edáficas favorables, como una superficie del suelo suelta (no agregada) y seca, con estructura particular, lisa y con poca rugosidad y casi sin cobertura vegetal. Pero también las condiciones climáticas y sociales predominantes en estas áreas pueden favorecer la erosión eólica, tales como un régimen errático de precipitaciones, viento intenso, constante y sin obstáculos y una intensa presión humana sobre los ecosistemas áridos con suelos volcánicos.

Aunque las áreas de mayor predominio de suelos volcánicos no son muy susceptibles a sufrir procesos de erosión eólica, si pueden en determinadas condiciones sufrir violentos episodios de erosión por el viento, cuando se producen deforestación o tala de la vegetación natural que dejan el suelo desnudo y este se seca irreversiblemente y pierde la agregación. El laboreo del suelo en estas condiciones hace que se levanten nubes de un finísimo polvo, constituido por microagregados de suelos ándicos, que se pierden del suelo original y arrastran con ellos materia orgánica y nutrientes (particularmente fósforo) (Figura 4.10).



Figura 4.10: Erosión eólica en suelos volcánicos (Fuerteventura).

Entre los procesos de degradación de los suelos volcánicos que suponen un deterioro in situ de la calidad del suelo, éstos usualmente se clasifican, de acuerdo con la naturaleza de los mecanismos que intervienen o de las propiedades y funciones del suelo que se ven afectadas, en procesos físicos, procesos químicos y procesos biológicos.

*Procesos de degradación física:* Podemos decir que los procesos físicos de degradación del suelo provocan cambios en sus propiedades físicas, mecánicas e hidrológicas que tienen efectos negativos en la producción y en la calidad ambiental. Entre estos procesos podemos además distinguir, aquellos que provocan cambios en la estructura del suelo (sellado, encostramiento y compactación) y los que dan lugar a un desbalance aire/agua (aridización y encharcamiento).

Tanto el sellado como el encostramiento del suelo son procesos que ocurren cuando los suelos agrícolas se dejan sin protección (desnudos, sin cobertura vegetal) en la época de lluvias. El sellado de la superficie del suelo por una degradación de la estructura (no confundir con el sellado del suelo por asfaltización) y el taponamiento de la porosidad superficial es un proceso de degradación muy ligado a la formación de costras superficiales y en ambos casos se origina por un deterioro de la estructura debido al impacto de las gotas de agua y a la humectación de la parte superficial del suelo (Figura 4.11).

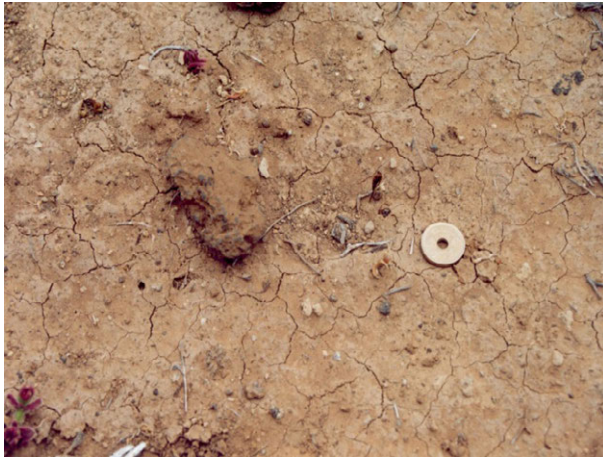


Figura 4.11: Sellado de la superficie del suelo en una gavia de Fuerteventura.

La principal diferencia entre el sellado y el encostramiento es que en el primero la rotura de las agregados superficiales se produce sólo por el impacto de las gotas de lluvia y la cantidad de agua es limitada (lluvias débiles), mientras que la formación de costras tiene lugar por desagregación por impacto de gota y por humectación y existe exceso de agua que se acumula en zonas de topografías suaves, ocasionando la orientación y sedimentación de las partículas sueltas y provocando el encostramiento del suelo.

La compactación del suelo es un proceso de degradación que tiene su origen principalmente en dos factores, la presión ejercida por los neumáticos durante el laboreo y trafabilidad sobre el suelo y la presión ejercida por las pezuñas del ganado durante el pastoreo intensivo y el sobrepastoreo. La compactación supone siempre una disminución del volumen del suelo y el consiguiente aumento de la densidad aparente, que inicialmente tiene lugar sin deformación de los agregados y la disminución del volumen del suelo se produce a expensas del volumen poral (porosidad) y posteriormente se produce la desagregación (por presión mecánica) y el colapso total de la porosidad y la estructura del suelo, con la consiguiente disminución de la capacidad de infiltración de agua, produciéndose la mayoría de las veces, cuando hay exceso de precipitaciones el anegamiento superficial del suelo (Figura 4.12).



Figura 4.12: Anegamiento superficial por disminución de la infiltración de agua en un suelo compactado.

La aridización o sequía edáfica es un proceso que supone la pérdida de la capacidad de almacenamiento de agua por parte del suelo, como consecuencia de la pérdida de su capacidad de retención (pérdida de microporosidad) o de la disminución de su profundidad útil y generalmente está relacionada con otros procesos que implican la pérdida de elementos finos, como por ejemplo la erosión.

El encharcamiento es un proceso que conlleva la saturación en agua del suelo, como consecuencia de la pérdida de su capacidad de infiltración, al disminuir la macroporosidad a causa de la degradación de la estructura por factores antrópicos (Figura 4.13). En estos casos toda la porosidad del suelo (macro y micro) se encuentra saturada de agua, por lo que la porosidad de aireación está muy limitada impidiéndose los intercambios gaseosos y en particular la difusión de oxígeno, lo cual crea condiciones de anoxia que hacen que los procesos químicos oxidantes pasen a reductores (mayor actividad de elementos fitotóxicos, disminución de la biodisponibilidad de determinados nutrientes, etc.) y los procesos biológicos aerobios se hagan en anaerobiosis (predominio de fermentaciones, metanogénesis, etc).

Todo esto hace que las plantas presenten asfixia radicular (podredumbres radicales), muchos síntomas de fitotoxicidades y la aparición de numerosas carencias nutricionales.



Figura 4.13: Suelo encharcado en un saladar costero (Fuerteventura).

*Procesos de degradación química:* Podemos decir que los procesos químicos de degradación del suelo provocan cambios en aquellas propiedades químicas que regulan la actividad y capacidad de los nutrientes; o que mantienen un balance favorable entre los nutrientes y la acumulación de sustancias a concentraciones de toxicidad. La degradación química del suelo provoca la disminución de su capacidad para desactivar compuestos tóxicos. Entre los principales procesos de degradación química del suelo podemos citar el lavado de bases (desbasificación) y la correspondiente acidificación, la alcalinización, la salinización y sodi(fi)cación y la contaminación.

La desbasificación supone la pérdida de cationes básicos del complejo de cambio lo que provoca un descenso del porcentaje de saturación de bases y las posiciones de cambio dejadas libres son ocupadas por cationes ácidos lo que da lugar a la acidificación del suelo. Como muchos de los cationes básicos son macronutrientes (K, Ca, Mg), la percepción general de un proceso de desbasificación (acidificación) es que el suelo se “empobrece”.

Son varios los factores antrópicos responsables de la acidificación del suelo, pero quizás los más comunes sean la minería a cielo abierto que expone a la atmósfera materiales geológicos que se oxidan generando ácidos (por ejemplo los sulfuros), actividades urbanas e industriales que emiten al aire gases susceptibles de generar lluvias ácidas ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ) y determinadas prácticas agrícolas que utilizan de manera reiterada fertilizantes inorgánicos de reacción ácida (por ejemplo sulfato amónico, nitrato amónico, etc).

La alcalinización significa el aumento de la concentración de grupos  $\text{OH}^-$  en la solución del suelo, en equilibrio con los cationes básicos (Na, K,  $\text{NH}_4^+$ , Mg, Ca) adsorbidos en el complejo de cambio. Existen determinados factores de formación que facilitan la génesis de suelos que son alcalinos de modo natural; pero la alcalinización se constituye en un proceso de degradación química cuando se produce un notable incremento en la reacción del suelo, debido a las actuaciones humanas y en particular a un mal manejo de los regadíos que utilizan aguas de baja calidad, con un exceso de cationes básicos y en particular de sodio.

La salinidad de los suelos supone la existencia en la zona de desarrollo radicular, una cantidad de sales disueltas en la solución edáfica, lo suficientemente alta como para restringir el normal desarrollo de la mayoría de las plantas, mientras que la sodicidad implica que exista en la zona de desarrollo radicular, una cantidad de sodio adsorbido al complejo de cambio, lo suficientemente alta como para generar unas propiedades físico-químicas desfavorables, restringiendo el normal desarrollo de la vegetación.

De la misma manera existen suelos que son salinos o sódicos de modo natural, pero cuando la salinización/sodificación se constituye en un proceso de degradación química es cuando se produce un cambio en el estado salino y/o sódico del suelos, debido a las actuaciones humanas y en particular a un mal manejo de los sistemas de riego y de la calidad de las aguas (Figura 4.14). La salinización-sodificación de suelos es un problema ambiental global que afecta a la Biosfera en su conjunto, ya que a través del suelo se produce una acumulación de sales en los diferentes compartimentos ambientales (aguas, tejidos vegetales, etc.), que produce una modificación del equilibrio de electrolitos en la cadena alimentaria global.

La contaminación de suelos es un proceso complejo y preocupante hasta el punto que numerosos países y la propia Unión Europea, se han visto obligados a legislar sobre la cuestión. Podemos definir la contaminación de suelos como la introducción por el hombre, directa o indirectamente, de sustancias y energías en el suelo, de tal manera que un suelo contaminado es aquel que ha superado su capacidad de amortiguación para una o varias sustancias y, como consecuencia pasa de actuar como un sistema protector a ser causa de problemas para el agua, la atmósfera y/o los organismos. Al mismo tiempo se modifican los equilibrios biogeoquímicos y aparecen cantidades anómalas de determinados componentes que causan cambios en sus propiedades físicas, químicas y/o biológicas (Macías, 1993).



Figura 4.14: Salinidad en un suelo agrícola de Tenerife.

Los principales agentes contaminantes del suelo y que de una manera general más interés suscitan son los metales pesados, los hidrocarburos y sus compuestos de combustión, plaguicidas, plásticos, detergentes, purines, lixiviados de vertedero, lodos de depuradoras, etc., generados por numerosas actividades antrópicas sobre el suelo

*Procesos de degradación biológica:* Podemos decir que los procesos biológicos de degradación de los suelos son aquellos que provocan cambios en la dinámica biológica del suelo y en el contenido en materia orgánica y/o biomasa que tienen efectos negativos en la calidad del suelo (Figura 4.15). Estos procesos generalmente se refieren a la disminución del carbono ligado a la biomasa (cantidad de microorganismos), a la disminución de la actividad de las poblaciones, a la disminución de la diversidad de especies de flora y fauna edáfica, a la reducción del contenido de materia orgánica y a la alteración de procesos biológicos de favorables a desfavorables.

Muchos factores de origen humano contribuyen a la pérdida de cantidad, actividad y diversidad de los compuestos orgánicos y de la biota de los suelos de origen volcánico, pero la naturaleza de sus propiedades biológicas y de sus componentes orgánicos, como veremos más adelante, les dotan de una extraordinaria resiliencia ante estos procesos de degradación.





Figura 4.15: Materia orgánica en el horizonte superficial de un suelo volcánico.

### 3. Principales componentes de los suelos de origen volcánico

#### 3.1. Componentes minerales de los suelos de origen volcánico

Los componentes minerales de los suelos de origen volcánico son principalmente heredados del material volcánico original, principalmente cenizas y lapillis, pero también coladas escoriáceas de naturaleza basáltica, o neoformados mediante procesos edáficos de alteración y neoformación bajo determinadas condiciones ambientales.

Los componentes minerales heredados de los materiales volcánicos predominan en las fracciones arena y limo y están conformados fundamentalmente por fragmentos de vidrio volcánico de variada naturaleza (Figura 4.16) y minerales primarios (frecuentemente con revestimientos de vidrio volcánico) como los ferromagnesianos (olivinos, augitas, hornblendas, biotita, magnetita), feldespatos (plagioclasas, sanidina) (Mizota & van Reeuwijk, 1989; Monteiro et al., 2007) y a menudo zeolitas (de' Gennaro et al., 2000).

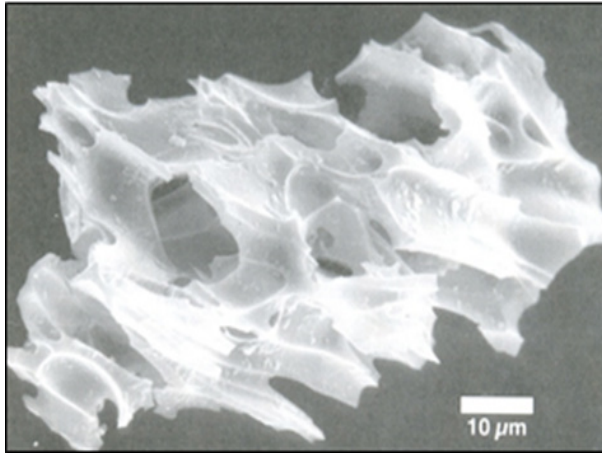


Figura 4.16: Fragmento de vidrio volcánico en la fracción arena de un Andosol.

Los minerales neoformados son los componentes esenciales de la fracción coloidal (Shoji & Ono, 1978) y éstos debido a sus condiciones de formación presentan siempre un bajo grado de cristalinidad, constituyendo los denominados minerales con ordenación de corto alcance, tradicionalmente conocidos como minerales “amorfos”. Éstos son principalmente aluminosilicatos secundarios como alofana, protoimogolita e imogolita (Figura 4.17), oxihidróxidos de aluminio como el hidróxido de aluminio amorfo y oxihidróxidos de hierro como el hidróxido de hierro amorfo y la ferrihidrita (Meijer et al., 2007).

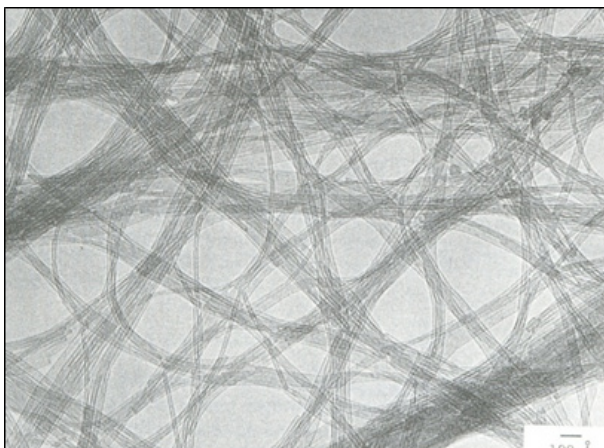


Figura 4.17: Imogolita en un suelo de origen volcánico.

Estos minerales pueden evolucionar a lo largo del tiempo, o bien por un cambio en las condiciones ambientales del medio, con menor cantidad de materia orgánica y mayor contraste de temperatura y humedad, hacia una mayor cristalinidad dando lugar a arcillas como metahaloisita, haloisita (Figura 4.18), caolinita, arcillas interestratificadas, vermiculitas, illitas y óxidos tipo gibbsite, goetita y hematites. Otros minerales presentes en la fracción arcilla de estos suelos pueden tener un origen alóctono, eólico, como el cuarzo y algunas micas (Mizota & Matsuhisa, 1995).

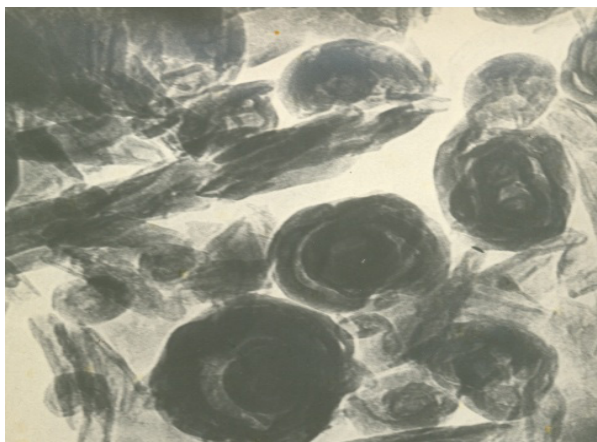


Figura 4.18: Haloisita en la fracción coloidal de un suelo de origen volcánico.

### 3.2. Componentes orgánicos de los suelos de origen volcánico

Los suelos formados sobre materiales volcánicos constituyen los suelos con mayor capacidad de acumular materia orgánica de entre todos los suelos minerales (hasta  $200 \text{ gkg}^{-1}$ ), de tal manera que muchas de sus propiedades físicas, químicas y biológicas están condicionadas por este alto contenido de materia orgánica y el color oscuro de los horizontes orgánicos superficiales es una de las propiedades distintivas de este tipo de suelos (Nanzyo et al., 1993a); aunque el color de los horizontes superficiales dependa también de la relación ácidos húmicos/ácidos fúlvicos (AH/AF) y del tipo de ácidos húmicos (Nanzyo et al., 1993b).

Esta materia orgánica es de variada naturaleza y generalmente es reflejo de la vegetación que vive sobre ellos, pero lo más común es que los compuestos húmicos que componen la materia orgánica coloidal, en los suelos ándicos, presente un alto grado de madurez y de oxidación con escasa presencia de lignina (Rodríguez-Rodríguez et al., 2010), predominando los ácidos húmicos sobre los ácidos fúlvicos, aunque la relación AH/AF

varía ampliamente, pero siempre es superior o muy próxima a la unidad. La proporción de ácidos fúlvicos tiende a aumentar en los suelos más jóvenes y en las regiones más húmedas y frías.

En este tipo de suelos los compuestos húmicos están constituidos por derivados de polisacáridos y marcadores de quitinas (derivadas de hongos y artrópodos), proteínas y lípidos y como hemos dicho, sólo en los horizontes superficiales aparece la lignina en cantidades significativas, en relación con el tipo de vegetación que sustentan (Nierop et al., 2005; González-Pérez et al., 2007). Como norma general los ácidos húmicos de estos suelos, tienen mayor proporción de grupos carboxilo y carbonilo y menores de grupos alcohólicos que otros tipos de suelos.

Sin embargo en estos suelos lo más característico de sus componentes orgánicos es el predominio siempre de complejos de los compuestos húmicos con metales de la solución edáfica (principalmente Fe y Al) (complejos órgano-metálicos) y con minerales de la fracción fina, fundamentalmente aquellos con ordenación de corto alcance (complejos órgano-minerales). Estos complejos humus-alofana y Al-humus son los principales responsables de la acumulación de carbono orgánico en los suelos volcánicos.

### 3.3. Componentes órgano-metálicos y órgano-minerales de los suelos de origen volcánico

Generalmente se consideran dos grandes tipos de Andosoles (como los suelos más característicos de entre aquellos desarrollados a partir de materiales volcánicos): los andosoles alofánicos y los andosoles no alofánicos u órgano-minerales, según que predominen en la fracción coloidal de los mismos, los minerales con ordenación de corto alcance complejados con la materia orgánica (simplificando, complejos alofana-humus) o bien que predominen los complejos Al-humus.

Este comportamiento dual de los andosoles, conocido como “composición binaria” (Mizota & van Reeuwijk, 1989), se debe a que los dos tipos de complejos tienen condiciones de formación opuestas. En condiciones de pH ligeramente ácido o neutro ( $\text{pH} > 5$ ) y con relativamente bajos contenidos de materia orgánica se forman alofanas e imogolitas y los correspondientes complejos, mientras que en condiciones más ácidas ( $\text{pH} < 5$ ) y con fuerte acumulación de carbono orgánico predominan los complejos Al-humus, ya que la materia orgánica parece jugar un papel anti-alofánico, pues los iones Al tienen preferencia por complejarse con los ácidos húmicos y no están disponibles para unirse al Si y formar compuestos alofánicos.

Sin embargo existen muchas condiciones y procesos que hacen que el contenido en cationes y el pH de los suelos varíe ampliamente tanto espacial como temporalmente, por lo que lo más habitual es que coexistan en la mayoría de los suelos desarrollado sobre materiales volcánicos, complejos alofana/imogolita-humus y complejos Al/Fe-humus, predominando unos u otros según las condiciones del suelo en cada lugar y momento.

Estos complejos tienen la particularidad de que en ellos se produce una mutua estabilización de ambos componentes. Por una parte, porque los compuestos orgánicos impiden la evolución y cristalización de las fases minerales (alofana e imogolita), que permanecen como tales componentes con ordenación de corto alcance ("amorfos") y también como hemos dicho, bloquean los iones Al que no están así disponibles para ligarse al Si y formar aluminosilicatos "amorfos". Por otra parte estas fases minerales tienden a estabilizar la materia orgánica e impedir su descomposición bien por formar enlaces muy fuertes con la misma o bien por ocluírla dentro de las estructuras 3D (similares a las estructuras de gel) (Basile-Doelsch et al., 2015) y además el efecto tóxico del ion Al protege de la biodegradación a la parte orgánica de los complejos órgano-metálicos.

## 4. Principales propiedades de los suelos de origen volcánico

Muchas propiedades, sobre todo de naturaleza física y química son exclusivas de los suelos de origen volcánico y deben tenerse siempre en cuenta a la hora de planificar cualquier estrategia de restauración de estos suelos degradados. La especificidad de estas propiedades de los suelos desarrollados sobre materiales volcánicos se debe siempre a la naturaleza de su fracción coloidal, y en particular a la presencia de minerales con ordenación de corto alcance y de complejos organo-minerales u organo-metálicos.

### 4.1. Propiedades físicas

Las propiedades físicas específicas de los suelos de origen volcánico, pueden atribuirse, como hemos dicho, a la naturaleza vítrea del material de origen, a los minerales no cristalinos formados durante la alteración y a la acumulación de materia orgánica durante la edafogénesis. Estas propiedades incluyen el color oscuro, la particular agregación de la fracción coloidal que hace que sean suelos difíciles de dispersar, una consistencia característica, una baja densidad aparente y una elevada capacidad de retención de agua (Nanzyo et al., 1993b).

El *color* muy oscuro de los horizontes superficiales es una de las propiedades más distintivas de estos suelos y depende, como hemos dicho, del contenido de materia

orgánica humificada (que suele ser muy alto), de la relación AH/AF y del tipo de ácidos húmicos.

La *textura* o características del suelo que resultan del tamaño de los elementos constituyentes del mismo y que generalmente se aprecian a partir de observaciones táctiles sobre el terreno, es una de las propiedades más controvertidas en los suelos de origen volcánico, ya que generalmente no existen coincidencias entre la textura determinada en el campo y la composición granulométrica obtenida en el laboratorio por métodos tales como los ultrasonidos. En estos suelos las texturas de campo suelen ser mayoritariamente limosas, con un predominio de partículas de tamaño limo, aunque no sean limos estrictamente hablando sino microagregados de tamaño limo oseudolimos. Pero lo general es que en el campo estos suelos tengan un comportamiento físico de suelos limosos. Estos microagregados constituidos por los componentes minerales, orgánicos y organominerales que hemos señalado anteriormente son altamente estables y muy resistentes a la dispersión, por lo que siempre existen razonables dudas sobre los resultados del análisis granulométrico en este tipo de suelos, aún utilizando métodos tales como la ultrasonificación y el ajuste del pH lejos del ZPC (punto cero de carga).

Estos suelos presentan en los horizontes superficiales una *estructura* (disposición espacial de las partículas del suelo y de los espacios entre ellas, incluyendo tamaño, forma y distribución de los agregados) de tipo grumoso o migajoso, que se resuelve siempre en pequeños microagregados ( $\emptyset < 0,5$  mm) granulares de alta estabilidad. Esto hace que sean suelos con una elevada *porosidad*, tanto interagregados como intraagregados, con muchos macroporos ( $\emptyset > 100$   $\mu\text{m}$ ) pero también con una considerable microporosidad ( $\emptyset < 0,4$   $\mu\text{m}$ ). La elevada estabilidad de los agregados y su elevada porosidad hace que sean suelos con una buena economía del agua, con una alta capacidad de infiltración (bien drenados) y una buena *conductividad hidráulica*, tanto saturada como no saturada, pero al mismo tiempo con elevada *capacidad de retención de agua útil*.

La *consistencia* del suelo es una propiedad mecánica del mismo que expresa el grado de cohesión y adherencia de las partículas sólidas del suelo y por tanto la resistencia de las unidades estructurales a la deformación, penetración, compresión, corte, ruptura, etc. Estos suelos presentan siempre una consistencia friable en estado húmedo, no plástica en saturación y blanda en seco con altos límites líquido y plástico. Presentan siempre una acusada tixotropía que es una transformación reversible gel-sol-gel o capacidad del material edáfico de cambiar a una consistencia más fluida bajo la acción de una fuerza, volviendo, al cesar ésta a un estado más rígido o menos fluido.

Un rasgo característico de los suelos sobre materiales volcánicos y que se utiliza al más alto nivel en la clasificación de los Andosoles es la muy baja densidad aparente (0,4-

0,9 gcm<sup>-3</sup>), consecuencia como hemos dicho de una estructura muy porosa, generada fundamentalmente por los minerales no cristalinos y la materia orgánica.

Sin embargo la característica más relevante que presentan las propiedades físicas de los suelos de origen volcánico es el cambio irreversible que sufren muchas de las mismas al secarse el suelo. Las propiedades físicas más afectadas por estos cambios son la retención de agua, la dispersión de la fracción fina, la liquidez y la plasticidad, la hidrofobicidad, la humectación y la agregación entre otras. El fenómeno más ampliamente conocido entre estos cambios es el comportamiento fuertemente histerético de la retención de agua en estos suelos, cuando se secan, sufriendo en estas condiciones una considerable reducción en su capacidad de retención, tanto a capacidad de campo como en el punto de marchitez permanente. Estos cambios irreversibles parecen estar más ligados al contenido en materiales inorgánicos no cristalinos (alofanas) que al contenido o el tipo de materia orgánica presente (Nanzyo et al., 1993b).

La floculación y agregación irreversible de la fracción fina, luego del secado del suelo, es también un fenómeno bien conocido y que tiene implicaciones directas en la reproductibilidad de los resultados del análisis granulométrico, con un aumento de las fracciones tamaño arena y una neta disminución de aquellas de tamaño arcilla.

El secado del suelo también provoca la disminución irreversible de los límites de liquidez y plasticidad y de la capacidad de humectación del suelo y el aumento, también irreversible, de la hidrofobicidad y de la agregación de la fracción fina al aumentar su capacidad de floculación.

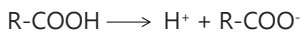
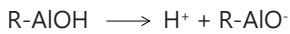
## 4.2. Propiedades químicas

También las propiedades químicas de los suelos de origen volcánico son reflejo de la composición de su fracción coloidal: la elevada actividad de los iones Fe y Al y la carga variable que presentan estos suelos, que hace que tengan una elevada capacidad de cambio aniónico y una elevada afinidad por los iones fosfato y algunos metales pesados (adsorción específica) y también por los iones fluoruro por cambio de ligando con los grupos hidroxilo, constituyen las propiedades químicas más conspicuas de este tipo de suelos.

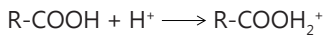
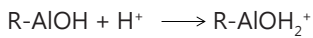
La acumulación de formas activas de Fe y Al es una de las propiedades más importantes de los Andosoles (Nanzyo et al., 1993a). Estas formas activas aparecen en numerosos componentes del suelo, pero principalmente como alofana/imogolita (andosoles alofánicos) y como complejos Al/Fe (andosoles órgano-minerales), siendo estos últimos

suelos mucho más ácidos y presentando frecuentemente síntomas de toxicidad aluminica, así como una mayor capacidad de almacenar carbono orgánico.

Una característica importante de los suelos volcánicos es la presencia de cargas pH-dependientes (suelos de carga variable), ya que la cantidad de carga varía ampliamente con el pH, la fuerza iónica y el ambiente químico de la solución edáfica. Generalmente los coloides propios de estos suelos (minerales con ordenación de corto alcance-alofanas, imogolita, ferrihidrita-, complejos órgano-minerales, complejos órgano-metálicos y arcillas 1:1 con paquetes estructurales alterados), presentan grupos OH próximos a la superficie que se disocian o se protonan según sea la reacción del medio: en medio alcalino los grupos OH se disocian y generan cargas negativas. En estas condiciones de pH los coloides son electronegativos



En medio ácido los grupos OH se protonan y generan cargas positivas. En estas condiciones de pH los coloides son electropositivos



El valor de pH al cual las cargas se anulan se denomina "Punto Cero de Carga" (ZPC) y es variable según el tipo de suelo.

Estos suelos de carga variable presentan una mayor afinidad por la adsorción específica de los metales pesados que los suelos de carga constante (Wada, 1989). Esta selectividad de los metales pesados en suelos derivados de materiales volcánicos, sigue el orden típico:  $\text{Cd}^{+2}, \text{Co}^{+2} < \text{Zn}^{+2} < \text{Cu}^{+2}, \text{Pb}^{+2}$ .

La elevada proporción de formas activas de Fe y Al presente en estos suelos, les confiere una alta capacidad para la adsorción de iones fosfato y fluoruro, lo cual puede originar deficiencia de fósforo en muchas plantas que crecen en este tipo de suelos.

### 4.3. Propiedades biológicas

La actividad bacteriana no es muy alta en estos suelos debido a la deficiencia de fósforo, al pH ácido y a la elevada estabilidad de la materia orgánica. En los suelos ándicos generalmente es mucho más abundante la actividad y diversidad fúngica, que son los principales microorganismos que realizan la transformación de la materia orgánica y los restos vegetales en la mayoría de los suelos volcánicos (actinomicetos y hongos). En estos



suelos bajo vegetación forestal o cuando se encuentran cultivados de manera extensiva suele encontrarse una elevada diversidad de meso y macrofauna: protozoos, nematodos, lombrices de tierra, coleópteros, hormigas, miriápodos, etc.

## 5. Restauración de los suelos de origen volcánico degradados

Atendiendo al mismo esquema que hemos seguido para exponer los procesos de degradación de los suelos volcánicos, vamos a describir someramente cuales son las principales estrategias de restauración de los suelos de origen volcánico degradados, teniendo en cuenta que éstos tienen un comportamiento diferencial a otros suelos, dadas las peculiaridades de sus componentes y sus propiedades, que ya hemos visto.

### 5.1. La erosión hídrica

La estructura de los suelos volcánicos se caracteriza, como ya hemos visto, por la presencia de microagregados altamente estables y muy resistentes a la dispersión, pero también muy microporosos y de baja densidad, lo que hace que la erosión hídrica tenga lugar en estos suelos mediante unos mecanismos diferentes a los de otros suelos no ándicos (Rodríguez-Rodríguez et al., 2002a, b). En estos suelos, el proceso erosivo comienza por la separación de material de la superficie de los agregados de mayor tamaño por el impacto de las gotas de lluvia, de tal modo que la intensidad de la separación y el tamaño de los fragmentos depende de la energía cinética de las gotas (intensidad de la lluvia), pero en general su tamaño oscila entre 0.2 y 0.5 mm. Así la erosión laminar se inicia por un arrastre de los agregados más pequeños (<0.5 mm) y de menor densidad, enriqueciéndose el suelo en los agregados de mayor tamaño, que son de nuevo fragmentados por el impacto de las gotas de lluvia, suministrando así nuevo material para el arrastre por erosión laminar. En ningún caso se observa una dispersión de los agregados previa a su arrastre por la escorrentía y la movilización de las partículas tiene lugar en forma de agregados y fragmentos de agregados de elevada estabilidad a la humectación.

La mayor erosión tiene lugar con las lluvias que caen sobre el suelo seco. Dada la conocida hidrofobicidad de los horizontes orgánicos superficiales de los suelos volcánicos, con el suelo seco se genera una elevada escorrentía que arrastra los agregados de la superficie del suelo desnudo, independientemente de la intensidad de la lluvia caída. Luego de la lenta humectación del suelo, la velocidad de infiltración elevada y sobre todo, la alta capacidad de retención de agua de estos suelos, hacen que la generación de escorrentía sea muy baja y sólo se produzca ésta con ocasión de lluvias de alto volumen de agua caída

(independientemente de su intensidad), que entonces arrastra mediante flujo laminar los agregados humectados que han sido fragmentados por el impacto de gota de lluvias previas de elevada intensidad.

En otros suelos de origen volcánico, pero carentes de propiedades ándicas, como son los suelos de las regiones sur de las islas (arcillosos, a veces salinos y de baja estabilidad estructural), la erosión laminar es prácticamente nula, independientemente de la cantidad de lluvia y de la intensidad de los eventos lluviosos y más en relación con el estado de la superficie del suelo y con la humedad antecedente. Las lluvias se producen en esta zona de manera esporádica y errática pero con fuerte intensidad, por lo tanto es probable que la erosión en estas condiciones no sea un proceso continuo como lo es en el caso de los suelos ándicos de la zona norte, sino que ocurre de modo muy discontinuo en el tiempo, a manera de pulsos, teniendo importancia cuantitativa sólo en determinados años o en algunos episodios tormentosos, cuando se dan determinadas circunstancias de humedad y estado de la superficie del suelo.

Este tipo de suelos, salinos y arcillosos, tienen una elevada capacidad para formar una costra de sellado superficial de hasta 1.5 cm de espesor, con ocasión de las débiles lluvias que suelen preceder a los eventos lluviosos de mayor intensidad. Estas lluvias inapreciables son de gran importancia en la determinación de la dinámica erosiva de estos suelos en las áreas áridas de las islas, ya que condicionan el estado estructural de la superficie del suelo.

El sellado generado por estas lluvias, produce una reducción drástica de la infiltración en el momento de las lluvias más intensas y se genera entonces una importante escorrentía, que circula en flujo laminar sobre la costra de sellado, la cual al presentar una alta resistencia mecánica al corte, no se desagrega ni se separan de ella partículas sólidas, por lo que la mayoría de los eventos pluviométricos generan una alta escorrentía pero no producen erosión.

Sin embargo en la mayoría de estos suelos se observa una intensa morfología erosiva en regueros y pequeñas cárcavas. En estos casos ocurre que, al aumentar la longitud de la pendiente el flujo laminar se concentra en arroyadas al aumentar su velocidad y turbulencia, las cuales se dirigen hacia los canales de desagüe abiertos ya en estas laderas o abren nuevos surcos y regueros, ya que la arroyada alcanza la fuerza cortante suficiente para romper el sellado superficial, que progresan a cada evento lluvioso siguiendo una dinámica típica de cárcavas.

En consecuencia sabemos que en las islas más húmedas y con predominio de suelos ándicos (Tenerife, La Palma, La Gomera y El Hierro), la erosión hídrica se genera fundamentalmente por el flujo laminar y está ligada a deforestaciones y pérdida de cubierta vegetal, y al abandono de los sistemas agrícolas tradicionales. En este caso el modelo de gestión de los

recursos de agua debe favorecer los procesos de infiltración y de recarga de los acuíferos, ya que las captaciones de agua en estas áreas, son siempre subterráneas. También el diseño de medidas de lucha contra la erosión debe ser diferente, ya que en estas zonas húmedas, deben predominar las medidas biológicas y agronómicas que mantengan una cubierta vegetal permanente sobre el suelo, que disminuya la energía cinética de las gotas de agua principal agente desencadenante de la erosión laminar que predomina en estas áreas, y mejore la infiltración y recarga de los acuíferos.

En las islas más áridas (Sur de Tenerife, Gran Canaria, Fuerteventura y Lanzarote), la erosión hídrica que se origina de manera más generalizada por el flujo concentrado generado en pendientes largas, está ligada a la elevada erosividad de las lluvias y erodibilidad de los suelos, a la baja capacidad de infiltración de los mismos por su susceptibilidad al sellado superficial y a las modificaciones del ciclo hidrológico y de la red natural de drenaje por la masiva ocupación del suelo por las infraestructuras turísticas, residenciales y de transporte. En estos casos las medidas de control de la erosión deben encaminarse a métodos mecánicos que acorten la longitud de la pendiente (Figura 4.19), evitando la aceleración y concentración del flujo, principal agente del inicio de los procesos erosivos en regueros y cárcavas predominantes en estas zonas y al encauzamiento y aprovechamiento de las escorrentías superficiales concentradas (Guerra-García et al., 2003).



Figura 4.19: Cultivo de papas en curvas de nivel como medida de lucha contra la erosión hídrica.

La erosión hídrica por movimientos en masa, o deslizamientos de tierras, es una de las formas de erosión más peligrosas y que con más frecuencia ocurre en los suelos sobre cenizas volcánicas, sobre todo en regiones intertropicales. Estos movimientos en masa

se producen, como hemos dicho, cuando horizontes con elevada tixotropía, se saturan de agua y se deslizan sobre un horizonte impermeable subyacente, lo cual ocurre en este tipo de suelos, ya que tienen valores muy próximos de límite líquido y límite plástico, alcanzando fácilmente el límite líquido y transformándose en un fluido viscoso, en forma de corrientes de lodo y masas fangosas.

Los mejores métodos de lucha contra este tipo de erosión, son los métodos mecánicos que constituyen un conjunto de prácticas relacionadas con un diseño de ingeniería, que implica siempre una modificación de la topografía del terreno, como por ejemplo los diferentes tipos de terrazas y bancales con muros de piedra, de fábrica o simplemente con vegetación, los cauces de desviación o pequeños canales que desvían la escorrentía hacia un cauce natural del terreno, los gaviones, albarradas, fajinadas, cadenas, geotextiles, etc.



Figura 4.20: Control de movimientos en masa mediante barreras vegetales.

## 5.2. La erosión eólica

Los suelos de origen volcánico, hemos visto, que cuando se secan los hacen irreversiblemente y pierden la agregación y en estas condiciones suelen sufrir violentos episodios de erosión eólica cuando se produce la eliminación de su cubierta vegetal o cuando se realizan labores en ellos, lo que hace que se levanten nubes de polvo, constituidas por microagregados ándicos ricos en carbono orgánico y nutrientes.

La lucha antierosiva en estas condiciones ha de plantearse en base a cuatro principios o procedimientos de carácter general y aplicación universal, como son el mantener en la superficie del suelo una estructura en agregados o terrones lo suficientemente grandes,

como para resistir la fuerza y capacidad de transporte del viento, crear una superficie irregular en el terreno, para aumentar la rugosidad del suelo y así disminuir la velocidad del viento y actuar de trampa para las partículas transportadas, establecer barreras o fajas de vegetación (setos, cortavientos) a determinados intervalos del terreno, para disminuir la velocidad del viento y sobre todo mantener siempre el suelo cubierto, bien por vegetación o por residuos de la misma.

### 5.3. La degradación de la estructura

Los suelos desarrollados sobre materiales de origen volcánico presentan por lo general muy buenas propiedades físicas, especialmente en lo que se refiere a la capacidad de retención de agua, la infiltrabilidad y la estabilidad estructural y todas ellas parecen ser altamente resilientes pues suelos que se han cultivado durante muchos años, conservan aún su alta capacidad de retención hídrica, su baja porosidad y su elevada estabilidad de los agregados. Sin embargo pequeñas variaciones en las condiciones ambientales hacen que estas propiedades disminuyan sus aspectos favorables e incluso los pierdan (Hernández-Moreno et al., 2007). La desecación causada por la deforestación y por el uso agrícola ha sido reconocida como el primer paso hacia la degradación de los suelos volcánicos (Guerra-García et al., 2014). Las principales consecuencias de la desecación son una pérdida de la cohesión de los agregados y cambios irreversibles en las características de los materiales amorfos que suponen una disminución de su microporosidad y de su superficie específica y en consecuencia de la degradación de sus propiedades estructurales, con la aparición de procesos de sellado, encostramiento, compactación, encharcamiento y a veces aridización.

Como hemos visto el principal factor que lleva a la degradación física de este tipo de suelos es la desecación irreversible que sufren sus componentes minerales y orgánicos. En consecuencia los mejores métodos para restaurar una estructura degradada o evitar la aparición de procesos de degradación física, consisten en mantener una adecuada humedad en los suelos lo cual se logra manteniendo un cobertura vegetal permanente sobre el suelo o mejorando sus propiedades de absorción de humedad ambiental, mediante la adición de materia orgánica.

### 5.4. La acidificación y alcalinización del suelo

El deterioro de la reacción del suelo, con la aparición en la solución del suelo de valores extremos de pH, tiene lugar fundamentalmente, para el caso de los suelos de origen volcánico, por una inadecuada fertilización, con el abuso de fertilizantes inorgánicos

de síntesis de reacción ácida o por el uso de regadíos con aguas de baja calidad, que alcalinizan los suelos.

Generalmente los suelos de origen volcánico son excelentes tampones frente a cambios en sus condiciones químicas. La baja sensibilidad que presenta la estabilidad estructural a las condiciones alcalinas y a la presencia de sodio de cambio y su alta capacidad de retención de electrolitos son dos características que merecen mucha atención. Estas propiedades ayudan contra la degradación física y química de los suelos bajo un uso agrícola intensivo de regadío ya que pueden utilizarse aguas de baja calidad (alcalinas y sódicas) sin que la permeabilidad y la estructura de los suelos volcánicos se vea afectada.

La elevada capacidad de cambio, tanto catiónica como aniónica, que presentan los componentes de estos suelos, hace que tengan una alta capacidad tampón y un elevada resiliencia ante los cambios bruscos de pH, por lo que tanto la acidificación como la alcalinización de la solución edáfica es mucho más difícil en estos suelos que en otros de origen no volcánico.

### 5.5. La salinización de los suelos

Se ha dicho habitualmente que los suelos volcánicos tienen la particularidad de dulcificar las aguas con las que se riegan y ya en 1971 Fernández-Caldas et al., demostraron que en estos suelos y bajo cultivo de platanera, los procesos de salinización y alcalinización de suelos no son los que cabría esperar, dadas las características químicas del agua de riego. Más recientemente Vargas (2001) estableció que más del 80% de los cultivos de regadío en Canarias se están cultivando en suelos con valores de salinidad y sodicidad superiores a los recomendados y además con numerosos desequilibrios iónicos en la solución, que deberían producir disminuciones notables en la producción, al menos en los cultivos más sensibles. Como quiera que esto no ocurre así, algún factor está actuando y esta autora lo explica en base a la capacidad que tienen los suelos de origen volcánico de presentar una "absorción aparente de sales" a bajos contenidos de humedad, que hace que las concentraciones iónicas en la solución real del suelo, de la cual se nutren los cultivos, sean más bajas que las determinadas en el punto de saturación. Estos procesos de retención salina por la fase sólida de los suelos de origen volcánico hacen que en las condiciones reales de humedad de campo, tanto la conductividad eléctrica como el SAR de la solución edáfica sean mucho más bajas que las determinadas en el punto de saturación.

### 5.6. La contaminación de los suelos

También los suelos de origen volcánico se contaminan menos que los suelos de cualquier otra tipología. La elevada capacidad de cambio aniónica que presentan muchos de estos

suelos hace que sean excelentes protectores de los acuíferos ante la contaminación por nitratos, al impedir su lavado de los sistemas agrícolas. Igualmente son capaces de retener aniones radioactivos, por lo que son suelos ideales para establecer en ellos depósitos de sustancias de baja radiactividad. En general retienen muchos metales pesados, elementos traza y compuestos orgánicos, por lo que los hace adecuados también para cualquier tipo de vertedero de residuos orgánicos.

La elevada capacidad de retención iónica es también la responsable de la particular respuesta de estos suelos a la fertilización, ya que pueden admitir concentraciones de metales pesados que exceden en mucho los niveles admitidos sin que las plantas presenten consecuencias negativas (Hernández-Moreno et al., 2001).

## 6. Bibliografía

- Bartoli, F., Arnalds, O., Buurman, P., García-Rodeja, E., Hernández-Moreno, J.M., Oskarsson, H., Pinheiro, J., Quantin, P., Stoops, G., Terribile, F. and van Oort, F. (2007). Preface. In *Soils of Volcanic Regions in Europe* (O. Arnalds et al. Eds) Springer pp. v-ix.
- Basile-Doelsch, I., Derrien, D., Amundson, R., Balesdent, J., Borschneck, D., Doelsch, E., Levard, C. (2015). Dynamics of organic compounds associated with non-crystalline minerals in andosols: a key for understanding long term SOM stabilization in any soils?. *5th International Symposium on Soil Organic Matter*, Göttingen, Germany, September 2015, www.som2015.org.
- De' Genaro, M., Cappelletti, P., Langella, A., Perrotta, A. and Scarpati, C. (2000). Genesis of zeolites in the Neapolitan Yellow Tuff: geological, volcanological and mineralogical evidences. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 139:17-35
- Delmelle, P., Opfargelt, S., Cornelis, J.Th. and Chien-Lu, P. (2015). Volcanic Soils. In *The Encyclopedia of Volcanoes* (2nd Ed.) Academic Press. pp.1253-1264.
- Fernández-Caldas, E., Pérez-García, V. y Borges, A. (1971). Tolérance du bananier aux eaux d' irrigation bicarbonatées (eaux souterraines de Ténérife). *Fruits* 26(1): 5-13.
- González-Pérez, J.A., Arbelo, C.D., González-Vila, F.J., Rodríguez-Rodríguez, A., Almendros, G., Armas, C.M. and Polvillo, O. (2007). Molecular features of organic matter in diagnostic horizons from andosols as seen by analytical pyrolysis. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 80: 369-382.
- Guerra-García, J.A., Arbelo, C.D., Armas, C.M., Rodríguez-Rodríguez, A. y Mora, J.L. (2003). Erosión diferencial de andosoles y aridisoles en dos zonas climáticas de la Isla de Tenerife. *Edafología* 10(2):229-238.
- Guerra-García, J.A., Rodríguez-Rodríguez, A. and Arbelo, C.D. (2014). Caracterización de los suelos del Monteverde mediante secuencias edáficas evolutivas y regresivas (Tenerife, Islas Canarias). *Spanish Journal of Soil Science* 4 (1): 19-50
- Hernández-Moreno, J.M., Espino, M. and Arbelo, C.D. (2001). Speciation of Cu and Zn in Andisols and andic soils: short- and long-term effects of metal loading. COST Action 622. International Workshop on Volcanic Soils. Ponta Delgada (San Miguel) Azores.
- Hernández-Moreno, J.M., Tejedor, M. and Jiménez, C.C. (2007). Effects of land use on soil degradation and restoration in the Canary Islands. In *Soils of Volcanic Regions in Europe* (O. Arnalds et al. Eds) Springer pp. 565-579.
- Lal, R. (2012). Land degradation and pedological processes in a changing climate. *Pedologist* 315-325.

- Leamy, M.L., Smith, G.D., Colmet-Daage, F. and Otowa, M. (1980). The morphological characteristics of Andisols. In *Soils with variable charge* (B.K.G. Theng Ed.). Soil Bureau, Lower Hutt, New Zealand, pp. 17-34.
- Macías, F. (1993). Contaminación de suelos: Algunos Hechos y Perspectivas. In *Problemática Geoambiental y Desarrollo* (R. Ortiz Ed.) Tomo I: 53-74
- Meijer, E.L., Buurman, P., Fraser, A. and García-Rodeja, E. (2007). Extractability and FTIR-characteristics of poorly-ordered minerals in a collection of volcanic ash soils. In *Soils of Volcanic Regions in Europe* (O. Arnalds et al. Eds) Springer pp. 155-180.
- Mizota, C. and van Reeuwijk, L.P. (1989). Clay mineralogy and chemistry of soils formed in volcanic materials in diverse climatic regions. Soil Monograph 2, ISRIC, Wageningen.
- Mizota, C. and Matsuhisa, Y. (1995). Isotopic evidence for the eolian origin of quartz and mica in soils developed on volcanic materials in the Canary Archipelago. *Geoderma* 66:313-320.
- Monteiro, F., Kleber, F., Fonseca, M., Madeira, M. and Jahn, R. (2007). Crystalline clay constituents of soils from European Volcanic systems. In *Soils of Volcanic Regions in Europe* (O. Arnalds et al. Eds) Springer pp. 181-195.
- Nanzyo, M., Dahlgren, R. and Shoji, S. (1993a). Chemical characteristics of volcanic ash soils. In *Volcanic ash soils. Genesis, properties and utilization* (S. Shoji et al. Eds). Developments in Soil Science 21, Elsevier, pp. 145-187.
- Nanzyo, M., Shoji, S., and Dahlgren, R. (1993b). Physical characteristics of volcanic ash soils. In *Volcanic ash soils. Genesis, properties and utilization* (S. Shoji et al. Eds). Developments in Soil Science 21, Elsevier, pp. 189-205.
- Nierop, K.G.J., van Bergen, P.F., Buurman, P. and van Lagen, B. (2005). NaOH and Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> extractable organic matter in two allophanic volcanic ash soils of the Azores Islands - a pyrolysis-GC/MS study. *Geoderma* 127:36-51.
- Rodríguez-Rodríguez, A., Gorrín, S.P., Guerra, J.A., Arbelo, C.D. and Mora, J.L. 2002a. Mechanisms of soil erosion in andic soils of the Canary Islands. In: *Sustainable utilization of Global Soils and Water Resources* (J. Juren Ed.). Tsinghua University Press, Beijing, Vol. I, 342-348
- Rodríguez-Rodríguez, A., Guerra, J.A., Gorrín, S.P., Arbelo, C.D. and Mora, J.L. 2002b. Aggregates stability and water erosion in Andosols of the Canary Islands. *Land Degradation and Development* 13: 515-523.
- Rodríguez-Rodríguez, A., Armas, C.M., González-Pérez, J.A., González-Vila, F.J., Arbelo, C.D., Mora, J.L. and Polvillo, O. (2010). Application of Spectroscopic Techniques (FT-IR, <sup>13</sup>C NMR) to the analysis of humic substances in volcanic soils along an environmental gradient (Tenerife, Canary Islands, Spain). *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 12, EGU2010-9116, 2010, EGU General Assembly 2010.
- Shoji, S. and Ono, T. (1978). Physical and chemical properties and classification of Andosols from Japan. *Soil Science* 126:297-312.
- Shoji, S., Nanzyo, M. and Dahlgren, R.A. (1993). Volcanic ash soils: Genesis, Properties and Utilization. Developments in Soil Science 21. Elsevier, 277 p.
- Vargas, G. (2001). Salinización inducida en suelos agrícolas de Canarias: Caracterización y Prognosis. Tesis Doctoral, Universidad de La Laguna, 457 p. + Anexos
- Wada, K. (1989). Allophane and imogolite. In *Minerals in Soil Environment* (J.B. Dixon and S.B. Weed Eds). SSSA Madison, WI, USA, pp. 1051-1087.





## CAPÍTULO 5

---

# Evaluación ambiental de planes y proyectos

Naranjo Borges, Jorge

### 1. Introducción

A finales del siglo XX comienza la evaluación ambiental de proyectos. Los orígenes se remontan a la necesidad de evaluar ambientalmente proyectos que el desarrollo de las regiones justifica, pero que a la vez deterioran el medio ambiente. En Europa se crea una corriente a favor del respeto al medio ambiente después de que un continuo desarrollo llevara a las administraciones a percatarse de la degradación del entorno. La evaluación ambiental se ha convertido en un instrumento plenamente consolidado que resulta hoy indispensable para la protección del medio ambiente. Facilita la incorporación de criterios de sostenibilidad en la toma de decisiones estratégicas, a través de la evaluación de planes y programas. Y a través de la evaluación de proyectos, garantiza una adecuada prevención de los impactos ambientales que se puedan generar, al tiempo que establece mecanismos de corrección o compensación.

La incorporación de España a la Comunidad Económica Europea (actualmente Unión Europea) obligó al estado a incorporarse al ordenamiento jurídico europeo. La primera disposición a nivel nacional fue el *Real Decreto Legislativo 1302/1986, de evaluación de impacto ambiental* y, la primera ley canaria fue la *Ley 11/1990 de Prevención del Impacto Ecológico*. Si a nivel europeo y español solo existe la evaluación de impacto ambiental, en Canarias junto a ella también han coexistido la evaluación básica y la evaluación detallada de impacto ecológico. Se trató de establecer categorías específicas para Canarias que se justificaron por la diferente realidad ambiental de las islas, caracterizada por un territorio reducido y fragmentado que no puede asumir infraestructuras de tipo continental y por el enorme patrimonio natural con un elevado número de endemismos insulares. La ley canaria añadió además una figura que es la de Áreas de Sensibilidad Ecológica (ASE), definida como aquellas áreas que por sus distintos valores o por su fragilidad son sensibles a la acción de factores de deterioro. Sólo por el hecho de que un proyecto tuviera lugar en ASE éste podía ser sometido a evaluación detallada de impacto ecológico y para ello se enumeraron una serie de actividades y proyectos en el Anexo II de la ley.

Con posterioridad, la ley de espacios naturales protegidos de Canarias definió los Parques, Reservas y Monumentos Naturales, así como los Sitios de Interés Científicos como Áreas de Sensibilidad Ecológica. Con la nueva *Ley 14/2014, de 26 de diciembre, de Armonización y Simplificación en materia de Protección del Territorio y de los Recursos Naturales* desaparece la figura de ASE. Cabe por último citar que todo proyecto financiado con fondos de la Hacienda Pública Canaria, salvo excepciones justificadas, estaba sometido al menos a evaluación básica de impacto ecológico según la *Ley 11/1990 de Prevención del Impacto Ecológico*.

La nueva *Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental* trata de simplificar el procedimiento de evaluación ambiental, incrementar la seguridad jurídica de los operadores y lograr la concertación de la normativa sobre evaluación ambiental en todo el territorio nacional. Esta ley establece las bases que deben regir la evaluación ambiental de los planes, programas y proyectos que puedan tener efectos significativos sobre el medio ambiente, tratando de garantizar un elevado nivel de protección ambiental, con el fin de promover un desarrollo sostenible mediante la integración de los aspectos medioambientales en planes y proyectos, el análisis y selección de alternativas viables, el establecimiento de medidas a favor del medio ambiente y el establecimiento de las medidas de vigilancia y seguimiento necesarias.

Someter a evaluación ambiental planes y proyectos forestales, no debe asumirse como una carga, sino como una oportunidad en un contexto de transparencia y sostenibilidad, en definitiva se debe entender como una garantía de éxito. Eso sí, la Administración debe cumplir su parte del cometido, que es proceder a resolver con agilidad y eficacia. Muchas obras forestales tienen un período concreto y corto para llevarse a cabo derivado de las condiciones climatológicas. Así, los tratamientos selvícolas deben realizarse antes de la primavera debido a la nidificación de aves y a la aparición de posibles plagas, mientras que las repoblaciones deben llevarse a cabo a partir de otoño, en la época de lluvias. Retrasar estas u otras obras forestales por la lentitud en los procesos administrativos puede conllevar cambios repentinos en la planificación y pérdidas millonarias en la gestión. Mientras no se desarrolle una legislación que contemple las especificidades forestales, las partes implicadas en el proceso de autorización de planes y proyectos forestales deben buscar acuerdos en base a la legislación vigente.

A nivel nacional, los proyectos forestales sujetos a evaluación ambiental se encuentran enmarcados en el grupo de silvicultura, si bien sometidos a evaluación ambiental simplificada. En la ley canaria de Prevención del Impacto Ecológico los planes y proyectos forestales estuvieron sometidos a evaluación básica y evaluación detallada de impacto ecológico. Se deduce pues del grado de evaluación ambiental al que están sometidos los planes y proyectos forestales, que sus efectos sobre el medio ambiente no son tan

significativos como pudieran ser grandes infraestructuras (Figura 5.1). En el contexto de Canarias habrá que añadir además al grado de evaluación ambiental que los montes se encuentran en un gran porcentaje en espacio natural protegido y/o en algún espacio de la Red Natura 2000.



Figura 5.1: Construcción de un viaducto en nueva carretera.

## 2. Términos técnicos

La evaluación ambiental se ha caracterizado por desarrollar una terminología propia. Con el fin de comprender mejor el procedimiento conviene familiarizarse con términos técnicos como efecto significativo, órgano sustantivo, órgano ambiental, promotor, documento de alcance, estudio ambiental estratégico, estudio de impacto ambiental, así como la diferencia entre plan y proyecto. A continuación se expone de manera resumida el significado de los conceptos más destacados.

Así en primer lugar, se entiende por *impacto o efecto significativo* la alteración de carácter permanente o de larga duración de un valor natural. En el caso de espacios Red Natura 2000, cuando además afecte a los elementos que motivaron su designación y objetivos de conservación.

El *órgano sustantivo* es aquel órgano de la Administración pública que ostenta las competencias para aprobar un plan o para autorizar un proyecto, mientras que el *órgano ambiental* es el órgano de la Administración pública que realiza el análisis técnico de los expedientes de evaluación ambiental y formula las declaraciones estratégicas y de impacto ambiental, y los informes ambientales. En materia forestal, cuyas competencias radican en áreas de medio ambiente de las administraciones públicas, a diferencia de otras materias se da la circunstancia de que el órgano sustantivo y el órgano ambiental han coincidido. La tercera parte de este engranaje lo forma la figura del *promotor*, que puede ser cualquier persona física o jurídica, pública o privada, que pretende realizar un plan o proyecto. En materia forestal en Canarias, donde apenas existe iniciativa privada debido a los escasos aprovechamientos forestales, también el promotor ha sido a menudo el área con competencias en medio ambiente de la administración pública.

Se ha de diferenciar entre plan y proyecto. Un *plan* es un conjunto de estrategias, directrices, propuestas no ejecutables directamente, sino a través de su desarrollo por medio de uno o varios proyectos. Un *proyecto*, es una actuación que sí consiste en la ejecución de una obra o cualquier intervención en el medio natural.

Por último, en el ámbito de la documentación, el *documento de alcance* es el pronunciamiento del órgano ambiental dirigido al promotor que tiene por objeto delimitar la amplitud, nivel de detalle y grado de especificación que debe tener el *estudio ambiental estratégico* y el *estudio de impacto ambiental*. Tanto el estudio ambiental estratégico como el estudio de impacto ambiental, elaborados en ambos casos por el promotor, se trata de estudios que identifican y evalúan los posibles efectos significativos sobre el medio ambiente, en el primer caso de la aplicación de un plan y, en el segundo caso, de la ejecución de un proyecto.

### 3. Procedimientos, trámites y plazos de la evaluación ambiental

La Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental unifica en una sola norma dos disposiciones: la Ley 9/2006, de 28 de abril, sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente y el Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación

*de Impacto Ambiental de proyectos* con sus modificaciones posteriores. La ley establece un esquema similar para ambos procedimientos "evaluación ambiental estratégica" y evaluación de impacto ambiental- y unifica la terminología. Estos procedimientos se regulan de manera exhaustiva, lo que hace que el desarrollo reglamentario de la ley no resulte imprescindible.

La "Evaluación ambiental estratégica" procede respecto de los planes y programas y concluye mediante la "Declaración Ambiental Estratégica" respecto de los sometidos al procedimiento de "evaluación estratégica ordinaria" y, mediante el "Informe Ambiental Estratégico" respecto de los sometidos al procedimiento de "evaluación estratégica simplificada" (Tabla 5.1).

La "Evaluación de impacto ambiental" procede respecto de los proyectos y concluye mediante la "Declaración de Impacto Ambiental" respecto de los sometidos al procedimiento de "evaluación de impacto ambiental ordinaria" y, mediante el "Informe de Impacto Ambiental" respecto de los sometidos al procedimiento de "evaluación de impacto ambiental simplificada" (Tabla 5.1).

### 3.1. Procedimiento de evaluación ambiental estratégica

Se presentan de manera sucinta los trámites, de los que consta la evaluación ambiental estratégica ordinaria:

#### 1. Solicitud de inicio.

El promotor deberá presentar ante el órgano sustantivo una solicitud de inicio de la evaluación ambiental, acompañada del borrador del plan y de un documento inicial estratégico. El órgano sustantivo remitirá al órgano ambiental la solicitud de inicio y los documentos que la deben acompañar. En el plazo de 20 días hábiles desde la recepción de la solicitud de inicio, el órgano ambiental podrá resolver su inadmisión si por alguna razón procede.

#### 2. Consultas previas y elaboración del documento de alcance del estudio ambiental estratégico.

El órgano ambiental someterá el borrador del plan y el documento inicial estratégico a consultas de las Administraciones públicas afectadas y de las personas interesadas, que se pronunciarán en el plazo de 45 días hábiles desde su recepción.

#### 3. Elaboración del estudio ambiental estratégico.

El promotor elaborará el estudio ambiental estratégico, en el que se identificarán, describirán y evaluarán los posibles efectos significativos en el medio ambiente de la aplicación del plan.

Tabla 5.1: Esquema de la evaluación ambiental de planes, programas y proyectos.

EVALUACIÓN AMBIENTAL			
Evaluación ambiental de planes y programas		Evaluación ambiental de proyectos	
Evaluación ambiental estratégica		Evaluación de impacto ambiental	
Evaluación Estratégica Ordinaria	Evaluación Estratégica Simplificada	Evaluación Impacto Ambiental Ordinaria	Evaluación Impacto Ambiental Simplificada
Plan + Estudio Ambiental Estratégico	Plan + Documento Ambiental Estratégico	Proyecto + Estudio de Impacto Ambiental	Proyecto + Documento Ambiental
Declaración Ambiental Estratégica	Informe Ambiental Estratégico	Declaración de Impacto Ambiental	Informe de Impacto Ambiental

#### 4. Información pública y consultas

El promotor elaborará la versión inicial del plan teniendo en cuenta el estudio ambiental estratégico y presentará ambos documentos ante el órgano sustantivo. La información pública será, como mínimo, de 45 días hábiles. Simultáneamente al trámite de información pública, el órgano sustantivo someterá la versión inicial del plan junto al estudio ambiental estratégico, a consulta de las Administraciones públicas afectadas y de las personas interesadas que hubieran sido previamente consultadas.

#### 5. Propuesta final de plan

Tras considerar las alegaciones recibidas, el promotor modificará, si procede, el estudio ambiental estratégico, y elaborará la propuesta final del plan.

## 6. Análisis técnico de expediente

El órgano ambiental realizará un análisis técnico del expediente, y un análisis de los impactos significativos de la aplicación del plan en el medio ambiente. Si el órgano ambiental requiere al órgano sustantivo de la subsanación del expediente, el plazo máximo es de tres meses. En este caso se suspenderá el cómputo del plazo para la formulación de la declaración ambiental estratégica.

## 7. Declaración ambiental estratégica

El órgano ambiental formulará la declaración ambiental estratégica en el plazo de 4 meses contados desde la recepción del expediente completo.

## 8. Vigencia

La declaración ambiental estratégica perderá su vigencia si, una vez publicada en el Boletín Oficial, no se hubiera procedido a la adopción o aprobación del plan en el plazo máximo de dos años desde su publicación. En determinados casos, el promotor deberá iniciar nuevamente el trámite de evaluación ambiental del plan, salvo que se acuerde la prórroga de la vigencia de la declaración ambiental estratégica.

En el procedimiento de evaluación ambiental estratégica simplificada, el promotor también presentará una solicitud de inicio, ésta vez acompañada del borrador del plan y de un documento ambiental estratégico. Al igual que en el procedimiento ordinario, el órgano ambiental, si procede, tendrá un plazo de 20 días hábiles desde la recepción de la solicitud de inicio para resolver su inadmisión. También en el procedimiento simplificado, el órgano ambiental consultará a las Administraciones públicas afectadas y a las personas interesadas, que deberán pronunciarse en el plazo máximo de 45 días hábiles. El órgano ambiental formulará el informe ambiental estratégico en el plazo de 4 meses contados desde la recepción de la solicitud de inicio y de los documentos que la deben acompañar si el plan no tiene efectos significativos sobre el medio ambiente. En el caso de que el plan pueda tener efectos significativos sobre el medio ambiente, el plan se someterá entonces a una evaluación ambiental estratégica ordinaria con los trámites anteriormente mencionados. El procedimiento de evaluación ambiental estratégica simplificada, a diferencia de la ordinaria, es pues un proceso más ágil al carecer de Estudio Ambiental Estratégico y de un período de información pública. En determinados casos, con vistas a contar con el mismo grado de participación que en el procedimiento ordinario, sería conveniente llevar a cabo un período de información pública.

La evaluación ambiental estratégica simplificada puede estar indicada para planes forestales de reducidas dimensiones, para los que se modifiquen puntualmente o para aquellos que planifiquen en terrenos públicos o de pocos particulares, a los que la Administración como personas interesadas se las pueda tener perfectamente informados.



## 3.2. Procedimiento de evaluación de impacto ambiental

Se presentan de manera sucinta los trámites, de los que consta la evaluación de impacto ambiental ordinaria:

### 1. Elaboración del documento de alcance del estudio de impacto ambiental.

Con anterioridad al inicio del procedimiento y con carácter potestativo, el promotor podrá solicitar al órgano ambiental que elabore un documento de alcance del estudio de impacto ambiental. El plazo máximo para la elaboración del documento es de 3 meses. Para ello, el promotor deberá presentar ante el órgano sustantivo una solicitud de determinación del alcance del estudio de impacto ambiental, acompañada del documento inicial del proyecto, que contendrá las características del proyecto, las principales alternativas, un análisis de los potenciales impactos y un diagnóstico del medio ambiente afectado.

### 2. Información pública y consultas

Con anterioridad al inicio del procedimiento, pero en este caso, con carácter obligatorio, el órgano sustantivo realizará los trámites de información pública y de consultas a las Administraciones públicas afectadas y a las personas interesadas.

El proyecto y estudio de impacto ambiental se someterá a información pública durante un plazo no inferior a 30 días.

Simultáneamente al trámite de información pública, el órgano sustantivo realizará las consultas. Deberá solicitar con carácter preceptivo informes al órgano con competencias en materia de medio ambiente y además, cuando proceda, a los órganos con competencias en patrimonio cultural, dominio público hidráulico y dominio público marítimo-terrestre.

En el plazo máximo de treinta días hábiles desde la finalización de los trámites de información pública y de consultas, el órgano sustantivo remitirá al promotor los informes y alegaciones recibidas para su consideración en la redacción de la nueva versión del proyecto.

### 3. Solicitud de inicio

El promotor deberá presentar ante el órgano sustantivo una solicitud de inicio de la evaluación de impacto ambiental ordinaria, acompañada del documento técnico del proyecto, el estudio de impacto ambiental y las alegaciones e informes recibidos. En el plazo de 20 días hábiles desde la recepción de la solicitud de inicio, el órgano ambiental podrá resolver su inadmisión si por alguna razón procede.

### 4. Análisis técnico del expediente

Es el órgano ambiental el que realizará un análisis técnico del expediente de impacto ambiental, evaluando los efectos ambientales del proyecto.

## 5. Declaración de impacto ambiental

Finalizado el análisis técnico del expediente, el órgano ambiental formulará la declaración de impacto ambiental. La declaración de impacto ambiental tendrá la naturaleza de informe preceptivo y determinante. El contenido de la declaración de impacto ambiental, incluirá entre otros, las condiciones y medidas preventivas, correctoras y compensatorias si proceden, así como el programa de vigilancia ambiental.

El órgano ambiental realizará en el plazo de 4 meses los trámites desde el inicio del procedimiento hasta la formulación de la declaración de impacto ambiental.

## 6. Vigencia

La declaración de impacto ambiental del proyecto perderá su vigencia si, una vez publicada en el Boletín Oficial, no se hubiera comenzado a la ejecución del proyecto en el plazo de cuatro años desde su publicación. En tales casos, el promotor deberá iniciar nuevamente el trámite de evaluación de impacto ambiental del proyecto, salvo que se acuerde la prórroga de la vigencia de la declaración de impacto ambiental.

En el procedimiento de evaluación de impacto ambiental simplificada, el promotor también presentará una solicitud de inicio, ésta vez acompañada de un documento ambiental. Al igual que en el procedimiento ordinario, el órgano ambiental, si procede, tendrá un plazo de 20 días hábiles desde la recepción de la solicitud de inicio para resolver su inadmisión. También en el procedimiento simplificado, el órgano ambiental consultará a las Administraciones públicas afectadas y a las personas interesadas, que deberán pronunciarse en el plazo máximo de 30 días hábiles. El órgano ambiental formulará el informe de impacto ambiental en el plazo de 3 meses contados desde la recepción de la solicitud de inicio y de los documentos que la deben acompañar. En el caso de que el proyecto pueda tener efectos significativos sobre el medio ambiente, el proyecto se someterá entonces a una evaluación de impacto ambiental ordinaria con los trámites anteriormente mencionados. El procedimiento de evaluación de impacto ambiental simplificada, a diferencia de la ordinaria, es pues un proceso más ágil al carecer de Estudio de Impacto Ambiental y de un plazo más corto para la formulación del informe de impacto ambiental.

La evaluación de impacto ambiental simplificada está indicada para proyectos forestales de reducidas dimensiones y que alcancen los umbrales o criterios establecidos en los Anexos II y III.

## 4. Estudio de impacto ambiental y Estudio ambiental estratégico

El contenido de un estudio de impacto ambiental no es un tema baladí y, por tanto, requiere ser tratado en un apartado específico. Un estudio de impacto ambiental no debe considerarse como un documento de mero trámite, sino como un estudio que nos da la oportunidad de asegurar un proyecto dentro del entramado administrativo. Abordar la componente ambiental con rigor y de manera directa mejorará el estudio, agilizará la tramitación y autorizará el proyecto.

El contenido del estudio de impacto ambiental deberá incluir al menos, los siguientes apartados:

- Objeto y descripción del proyecto
- Examen de alternativas
- Inventario ambiental
- Identificación y valoración de impactos de las alternativas
- Establecimiento de medidas preventivas, correctoras y compensatorias
- Evaluación de las repercusiones en la Red Natura 2000, si se da el caso
- Programa de vigilancia y seguimiento ambiental
- Documento de síntesis

La descripción del proyecto incluirá la localización y la relación de las actuaciones propias del proyecto tanto en la fase de la su realización como de su funcionamiento. Además se describirán los materiales a utilizar, el suelo a ocupar, el consumo de recursos naturales, así como los tipos y cantidades de residuos, vertidos o emisiones.

El examen de alternativas se trata de un examen multicriterio de las distintas alternativas que resulten ambientalmente más adecuadas, incluida la alternativa cero, o de no realización del proyecto y que sean técnicamente viables. Se incluirá una justificación de la solución propuesta que tendrá en cuenta aspectos económicos, sociales y ambientales.

El inventario ambiental comprenderá el estudio de las condiciones ambientales del lugar antes de la realización de las obras, una descripción de las interacciones ecológicas, así como un estudio comparativo de la situación ambiental actual con la derivada del proyecto, para cada alternativa examinada. El grueso de este apartado supondrá, no obstante, la identificación, censo, inventario, cuantificación y cartografía de muy diversos

aspectos ambientales tales como flora, fauna, geodiversidad, suelo, aire, agua, cambio climático o paisaje que puedan ser afectados por el proyecto.

La identificación, cuantificación y valoración de los efectos significativos de las actividades proyectadas distinguirán los efectos positivos de los negativos; los temporales de los permanentes; los simples de los acumulativos y sinérgicos; los directos de los indirectos; los reversibles de los irreversibles; los recuperables de los irrecuperables; los periódicos de los de aparición irregular; los continuos de los discontinuos. Se indicarán los impactos ambientales compatibles (no precisará medidas correctoras), moderados (no precisará medidas correctoras intensivas), severos (precisará medidas correctoras) y críticos (pérdida permanente de la calidad de las condiciones ambientales) previstos. La cuantificación de los efectos significativos sobre el medio ambiente consistirá en la identificación y descripción, mediante datos mensurables de las variaciones previstas de los hábitats y de las especies afectadas. Se medirán, entre otros, las variaciones previstas en la superficie del hábitat, la intensidad del impacto con indicadores o la abundancia o número de individuos.

Ante tales exigencias es importante destacar que la ley establece que la administración, a través de su sede electrónica, pondrá a disposición de los promotores los documentos necesarios para identificar, cuantificar y valorar los impactos. Así debe ser, por el bien de todos.

Se describirán las medidas adecuadas para prevenir, atenuar o suprimir los efectos ambientales negativos de la actividad. En defecto de esas medidas, aquellas otras dirigidas a compensar dichos efectos, a ser posible con acciones de restauración. El presupuesto del proyecto incluirá estas medidas con el mismo nivel de detalle que el resto del proyecto.

En el caso de espacios Red Natura 2000 se cuantificarán las variaciones en los siguientes elementos esenciales de los hábitats y especies que motivaron su designación:

- Área, representatividad y estado de conservación de los hábitats prioritarios y no prioritarios del lugar.
- Tamaño de la población (incluyendo ecotipos si existiesen) y estado de conservación de las especies presentes.
- Importancia relativa del lugar en la región biogeográfica y en la coherencia de la Red Natura 2000.

El programa de vigilancia ambiental establecerá un sistema que garantice el cumplimiento de las indicaciones y medidas, preventivas, correctoras y compensatorias contenidas en el estudio de impacto ambiental tanto en la fase de ejecución como en la de explotación.

Este programa atenderá a la vigilancia durante la fase de obras y al seguimiento durante la fase de explotación del proyecto.

El documento de síntesis comprenderá en forma de resumen las conclusiones relativas al análisis y evaluación ambiental de las actuaciones, así como la propuesta de medidas y el programa de vigilancia en la fase de ejecución, explotación y desmantelamiento.

En el caso de planes, la información que debe contener el estudio ambiental estratégico será la siguiente:

- Objetivos del plan y relaciones con otros planes
- Características medioambientales de las zonas afectadas
- Problema medioambiental existente (especial red Natura 2000)
- Objetivos de protección medioambiental en los distintos ámbitos
- Probables efectos significativos en el medio ambiente
- Medidas para prevenir, reducir o compensar cualquier efecto negativo
- Resumen de los motivos de la selección de las alternativas
- Programa de vigilancia ambiental
- Resumen

En el caso de la evaluación ambiental estratégica simplificada se elaborará un Documento Ambiental Estratégico. A diferencia del Estudio Ambiental Estratégico el documento es más sencillo, puesto que se parte de la base de que el uso o actividad no tiene efectos significativos sobre el medio ambiente.

A diferencia del Informe de Sostenibilidad Ambiental establecido en la *Ley 9/2006*, el Estudio Ambiental Estratégico y Documento Ambiental Estratégico presentan nuevos apartados. Si bien la base de estos documentos es igual al Informe de Sostenibilidad Ambiental, la *Ley 21/2013* incluye nuevos apartados, pues trata de adaptarse a una nueva realidad, incorporando nuevos conocimientos. Así el Estudio Ambiental Estratégico tendrá que calcular la huella de carbono de una determinada actividad o estimar sus consecuencias para el cambio climático.

Sin embargo, las cada vez mayores exigencias en la redacción de documentos, derivadas de los nuevos conocimientos, no suelen venir aparejadas con un aumento de personal y de medios. Posiblemente habrá que hallar una solución, con el fin de incrementar los necesarios recursos económicos.

## 5. Actividades sometidas a evaluación ambiental

En los anexos de las diferentes disposiciones legales que se han ido aprobando sucesivamente se incluyen proyectos y actividades sujetas a evaluación ambiental. En la Tabla 5.2 se presentan de manera sucinta proyectos y actividades de ámbito forestal sujetas a evaluación ambiental.

Tabla 5.2: Actividades forestales sujetas a diferentes categorías de evaluación ambiental según disposiciones legales.

Disposición legal	Actividad / Proyecto	Evaluación
<i>RDL1302/1986;</i> <i>RD 1131/1988</i>	Primeras repoblaciones con riesgos transformaciones ecológicas negativas	Evaluación Impacto Ambiental. Anexo y Anexo 2
<i>Ley 11/1990</i>	Financiada por Hacienda Pública Canaria	Evaluación Básica Impacto Ecológico
	Planes de Ordenación de Montes	Evaluación Detallada Impacto Ecológico. Anexos I y II Evaluación Detallada Impacto Ecológico. Anexo I
	Repoblaciones forestales >1ha o con aterrazamientos con maquinaria pesada	
	Cortafuegos >30 m ancho y >150 m longitud	
	Mejora de pastos	
	Cambios de cultivo según legislación forestal >3ha	Evaluación Detallada Impacto Ecológico. Anexo II
	Apertura de pistas > 2 km	
	Zonas de acampada > 50 personas y áreas recreativas > 200 personas	

<i>RDL 1/2008</i>	Replantaciones forestales >50ha riesgos transformaciones ecológicas negativas	Evaluación Impacto Ambiental. Anexo I
	Plantas industriales para producción de pasta de papel a partir de madera	
	Replantaciones forestales en ZEC - ZEPA con riesgos transformaciones ecológicas negativas	Evaluación Impacto Ambiental. Anexos I, II y III (órgano ambiental decide)
	Campamentos permanentes para tiendas de campaña	Evaluación Impacto Ambiental. Anexos II y III (órgano ambiental decide)
<i>Ley 21/2013</i>	Plantas industriales para producción de pasta de papel a partir de madera	Evaluación Impacto Ambiental Ordinaria. Anexo I
	Aprovechamiento forestal maderero >10 ha en Espacio Protegido / Red Natura 2000	
	Forestaciones según definición Ley de Montes > 50 ha	Evaluación Impacto Ambiental Simplificada / Ordinaria.
	Proyectos en Red Natura 2000, Espacio Protegido, cambio uso de suelo =>10ha	Anexos II y III (informe impacto ambiental decide)
<i>Ley 14/2014</i>	Explotación forestal intensiva >100 ha ó >50 ha en pendiente media => 20%	Evaluación Impacto Ambiental Ordinaria. Anexo I
	Explotación forestal intensiva >10 ha en Espacio Protegido / Red Natura 2000	
	Replantaciones forestales según definición Ley de Montes >10 ha y Explotación forestal intensiva >10 ha	Evaluación Impacto Ambiental Simplificada / Ordinaria.
	Primeras replantaciones forestales con riesgos transformaciones ecológicas negativas	Anexos II y III (informe impacto ambiental decide)

Si comparamos en la Tabla 5.2 las disposiciones legales entre sí, observamos los diferentes tipos de proyectos y umbrales sometidos a evaluación ambiental. Si además comparamos con la *Ley 11/1990 de Prevención del Impacto Ecológico*, en esta ley, exceptuando el caso de los proyectos financiados por la hacienda pública canaria, el resto de los proyectos se someten a Evaluación Detallada de Impacto Ecológico y, por tanto, no a la máxima categoría de Evaluación de Impacto Ambiental. Se trataba de proyectos que o bien no estaban sujetos a evaluación ambiental en la legislación nacional, o bien con diferentes umbrales. En este contexto es necesario aludir al *Decreto 302/1995*, por el que se acordó excluir en Canarias del procedimiento de evaluación de impacto ecológico, los proyectos comprendidos en el Plan de Forestación de tierras agrícolas abandonadas, si la repoblación forestal se realizaba con ahoyado manual, sin eliminar especies arbóreas o sin realizar ninguna pista, entre otros condicionantes.

Es el *Real Decreto 1131/1988, de 30 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución del Real Decreto Legislativo 1302/1986*, el que determina en el Anexo 2 las siguientes circunstancias en que existirá riesgo de grave transformación ecológica negativa:

- La destrucción parcial o eliminación de ejemplares de especies protegidas o en vías de extinción.
- La actuación que, por localización o ámbito temporal, dificulte o impida la nidificación o la reproducción de especies protegidas.
- La previsible regresión en calidad de valores edáficos cuya recuperación no es previsible a plazo medio.
- Las acciones de las que pueda derivarse en proceso erosivo incontrolable, o que produzcan pérdidas de suelo superiores a las admisibles en relación con la capacidad de regeneración del suelo.
- Las acciones que alteren paisajes naturales o humanizados de valores tradicionales arraigados.
- El ejemplo de especies no incluidas en las escalas sucesionales naturales de la vegetación correspondiente a la estación a repoblar.
- La actuación que implique una notable disminución de la diversidad biológica.

En este Real Decreto derogado se exponen una serie de circunstancias que bien pueden seguir siendo válidas. Hay que pensar que el legislador en la actualidad ha optado por dejar la casuística abierta para no cerrarse a unos casos concretos, sin que ello impida entender aquellos casos del derogado Reglamento como unos más en la práctica. Cabe



asimismo pensar que en una legislación sectorial autonómica se podrían especificar casos concretos.

Salvo la industria papelera a través de plantas industriales para la producción de papel y cartón o de pasta de papel a partir de madera, cuya implantación en Canarias no sería de interés, los proyectos sometidos en nuestro archipiélago a la evaluación ambiental ordinaria regulada en la legislación, se encontrarían en el grupo de los proyectos que se desarrollen en espacios naturales protegidos, Red Natura 2000 y áreas protegidas por instrumentos internacionales (por la amplia superficie de espacios naturales protegidos en las islas) si el Informe de Impacto Ambiental así lo decide.

Dentro de estos proyectos destacan aquellos que destinan áreas incultas o áreas seminaturales al aprovechamiento forestal maderero o explotación forestal intensiva de una superficie mayor de 10 ha. Sería equivocado esquivar este punto, ya que la madera es un recurso natural renovable y existe mucha superficie privada en las islas con potencial forestal.

Los criterios para determinar si un proyecto del Anexo II debe someterse o no a evaluación de impacto ambiental ordinaria dependerán de las características del proyecto, su ubicación y del potencial impacto. Las características del proyecto a tener en cuenta son especialmente el tamaño, la acumulación con otros proyectos, la utilización de recursos naturales y la generación de residuos. En la ubicación de proyectos destaca la capacidad de carga del medio natural en áreas de montaña y de bosque, espacios protegidos y lugares Red Natura 2000.

De los proyectos sometidos a la evaluación ambiental simplificada destacan en el grupo de silvicultura las repoblaciones forestales de más de 10 ha y en el grupo de los proyectos que se desarrollen en espacios naturales protegidos por la legislación internacional o nacional las primeras repoblaciones cuando entrañen riesgos de graves transformaciones ecológicas negativas.

## **6. Evaluación ambiental versus restauración forestal**

Se observa que las repoblaciones desde un principio han sido objeto de evaluación ambiental. Puede que el legislador haya tomado esa decisión en base a experiencias anteriores cuyas obras causaban impactos en el paisaje, patrimonio cultural, flora y fauna o suelo (Figura 5.2). En la actualidad, la incorporación de una nueva legislación en referencia a la Red Natura 2000 ha supuesto cambios en los proyectos sometidos a evaluación ambiental. Sin embargo, sabemos por experiencia que el efecto a la larga es positivo. Se llega a esta conclusión cuando comprobamos que repoblaciones de mediados del siglo

pasado forman parte hoy de espacios naturales protegidos, e incluso a veces de hábitats y de espacios red natura 2000.



Figura 5.2: Repoblación forestal con preparación del terreno en vertiente sur.

Resulta cuanto menos curioso, que tratamientos selvícolas de regeneración (no se incluyen las explotaciones forestales) como cortas a hecho que a priori podrían causar más daños que las repoblaciones por alterar el suelo, la composición florística o el paisaje, nunca hayan sido sometidos a la evaluación ambiental. Puede que se deba a que estamos en un país más “replador” que “selvicultor”.

Dentro de medidas correctoras y compensatorias aparecen a menudo en los estudios de impacto ambiental medidas de restauración. Como esto es así, significa que en muchos casos hablamos de una restauración basada en la plantación de árboles. Si la plantación con árboles puede ser entendida como medida de restauración, entonces la medida en sí mismo cabe pensar que no es tan impactante o, al menos, sirve para mitigar impactos. Ello no significa que un proyecto o plan de restauración pueda convertirse en un cheque en blanco. Uno de los principales objetivos de la restauración forestal es mantener áreas sin impactos antrópicos significativos (Fernández, 2001), pero se trata de una actuación compleja y como tal necesita de especialistas para ser dirigida. Una equivocación, por ejemplo, en una plantación con una especie introducida que se convierte en invasora y los gastos para su control se disparan.

## 7. Conclusiones

A diferencia de otros procedimientos administrativos, la evaluación ambiental aparece como un procedimiento muy reglado con diferentes plazos que cumplir. El cumplimiento de estos plazos dependerá de la agilidad con que sean emitidos los informes preceptivos.

La evaluación ambiental ha venido para quedarse a largo plazo. Se ha ido consolidando y solo cabe esperar que se actualice y adapte a nuevas realidades. La incorporación de una nueva legislación en referencia a la Red Natura 2000 ha supuesto cambios para los proyectos sometidos a evaluación ambiental. Pensar en desarrollar proyectos con efectos significativos evitando la evaluación ambiental será ir contracorriente.

La legislación se seguirá actualizando y adaptando a la realidad con la ayuda de la experiencia adquirida y en la mejor conciencia de dónde y cómo se suelen producir los impactos, así como el mejor modo de mitigarlos. En la futura toma de decisiones acerca de los umbrales y actividades forestales de planes y proyectos, los ingenieros de montes y forestales no tendrán que ser los únicos en tomar parte, pero sí se habrá de contar también con ellos por la experiencia en la materia.

## 8. Bibliografía

Fernández, A. B. (2001). *Conservación y restauración ecológica de los bosques*. En: Fernández-Palacios, J. M. y Martín Esquivel, J. L. (Eds.). *Naturaleza de las Islas Canarias. Ecología y Conservación*. Publicaciones Turquesa. Santa Cruz de Tenerife. 474 pp.

Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de evaluación de impacto ambiental.

Real Decreto 1131/1988, de 30 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución del Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental.

Ley 11/1990, de 13 de julio, de Prevención del Impacto Ecológico.

Decreto 302/1995, de 17 de octubre, por el que se acuerda excluir del procedimiento de evaluación de impacto ecológico, los proyectos comprendidos en el Plan de Forestación de tierras agrícolas abandonadas.

Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes.

Ley 9/2006, de 28 de abril, sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente.

Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos.

Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental.

Ley 14/2014, de 26 de diciembre, de Armonización y Simplificación en materia de Protección del Territorio y de los Recursos Naturales.

## CAPÍTULO 6

---

# Degradación del terreno, cambio climático y bosques

Santamarta Cerezal, Juan Carlos  
Peraza Zurita, María Dolores

### 1. Introducción

La Convención de las Naciones Unidas para la lucha contra la Desertificación CNUCLD (UNCCD por sus siglas en inglés), define *degradación de las tierras* como *“la reducción o la pérdida de la productividad biológica o económica y la complejidad de las tierras agrícolas de secano, las tierras de cultivo de regadío o las dehesas, los pastizales, los bosques y las tierras arboladas, ocasionada, en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, por los sistemas de utilización de la tierra o por un proceso o una combinación de procesos, incluidos los resultantes de actividades humanas y pautas de poblamiento, tales como: (i) la erosión del suelo causada por el viento o el agua, (ii) el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas o de las propiedades económicas del suelo, y (iii) la pérdida duradera de vegetación natural”* (UNCCD, 1994). Se estima que más de 250 millones de personas se encuentran afectadas por procesos de degradación del terreno y que alrededor de un billón está en riesgo de estarlo. La degradación del terreno tiene implicaciones sobre la seguridad alimentaria a escala global, ya que se considera que únicamente un 11% de la superficie terrestre tiene el potencial para alimentar a la población mundial (Reich et al., 2001), estimada en 7,2 billones de personas en 2013 y que se prevé ascienda a 9,6 billones para 2050 (UN DESA, 2013). La degradación del terreno se presenta como un problema a escala global y por ello se incluye como un asunto de crucial importancia en la agenda internacional para el siglo XXI.

La degradación del terreno tiende a producirse como resultado de usos del suelo que superan su capacidad de regresar a su estado o calidad anterior, y por tanto no sostenibles a medio o largo plazo, y por ello, el desarrollo de prácticas sostenibles es crucial en la lucha contra la degradación del terreno. La gestión sostenible del terreno es aquella que garantiza la persistencia de su potencial productivo y la continuidad de los procesos biogeoquímicos en los que participa. Para diseñar prácticas que promuevan un uso sostenible del terreno es necesario conocer los factores que contribuyen a la degradación del terreno en el área a gestionar y su comportamiento, ya que sólo entonces podrán

adoptarse las medidas oportunas para la mitigación de impactos negativos. Las variaciones climáticas destacan como uno de los factores que contribuyen en mayor medida a la degradación del terreno, con el riesgo añadido de que se produzcan desastres naturales relacionados, y los bosques intervienen en los procesos de regulación del clima a escala regional y global, desempeñando un papel crucial en los procesos de degradación del terreno, especialmente en el marco de un clima cambiante.

Este capítulo aborda aspectos fundamentales de la relación entre la degradación del terreno y el clima, y repasa puntos clave de la importancia de los ecosistemas forestales en este contexto.

## 2. Degradación del terreno: un fenómeno a escala global

La evaluación del alcance y gravedad de los procesos de degradación del terreno a escala global es una tarea compleja que puede abordarse a través de gran variedad de enfoques, incluyendo evaluaciones de expertos, teledetección y generación de modelos. A veces no existe consenso en la aplicación de las distintas definiciones y terminología empleadas, por lo que los datos disponibles acerca del área total afectada por procesos de degradación del terreno y la velocidad de expansión de este fenómeno presentan gran variabilidad y en muchos casos se refieren a la degradación potencial del terreno y no a su estado actual. Además, existen diferentes procesos que pueden conducir a la degradación del terreno, los cuales interactúan y se superponen en espacio y tiempo dando lugar a fenómenos de retroalimentación. La elevada complejidad de este escenario conduce en ocasiones a la generación de datos equívocos.

Los principales procesos que participan en la degradación del terreno (Lal et al., 1989), son: erosión hídrica y eólica, degradación química (incluyendo acidificación, salinización, pérdida de fertilidad y reducción de la capacidad de intercambio catiónico), degradación física (incluyendo encostramiento, compactación, sellado, entre otros), y degradación biológica (incluyendo la disminución de la diversidad de los organismos del suelo). Estos procesos afectan al funcionamiento de los ecosistemas, pudiendo llegar a colapsar su funcionalidad, y la degradación del terreno se considera un problema global no sólo porque se produce a escala global, sino que genera impactos transfronterizos y globales. Por ejemplo, la degradación biológica del suelo puede dar lugar a fenómenos de eutrofización y contaminación de aguas superficiales y subterráneas y la emisión de gases de efecto invernadero ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_x$ ) desde ecosistemas acuáticos y terrestres hacia la atmósfera, y la pérdida de la cubierta vegetal asociada a la degradación del terreno incrementa los niveles de radiación que se reflejan sobre el terreno hacia la atmósfera

(albedo) y reduce la formación de nubes, afectando a la interfaz superficie del terreno-atmósfera.

Un 33% de la superficie terrestre se considera vulnerable ante procesos de degradación del terreno, y esto sólo en lo concerniente a zonas áridas, presentándose factores como las condiciones climáticas, la posición geográfica, la vegetación y la biodiversidad, especialmente la biodiversidad del suelo, como determinantes de qué tipos de proceso de degradación son dominantes, estando todos ellos en gran medida condicionados por la estructura del suelo. Por ejemplo, en África, los desiertos definen márgenes extremadamente vulnerables donde el suelo es frágil y la población es elevada (Lal, 1988), afectando a un total de más de 480 millones de personas (Reich et al., 2001). El África subsahariana presenta las mayores tasas de degradación del terreno, habiéndose estimado una pérdida de productividad de un 20% a lo largo de la última mitad del siglo XX (Scherr, 1999). Otro buen ejemplo del alcance de este problema es Australia, donde se estima que más de un 68% de las áreas de cultivo se encuentran afectadas por procesos de degradación (Woods, 1983; Mabbutt, 1994).

De acuerdo con la CNUCLD, las consecuencias de la degradación del terreno incluyen menor producción de alimentos, hambrunas, mayores costes sociales, disminución de la cantidad y calidad de las aguas potables, creciente pobreza e inestabilidad social, reducción de la resiliencia de la tierra frente a la variabilidad climática y reducción de la productividad de los suelos (WMO, 2005).

### 3. Degradación del terreno, clima y cambio climático

#### 3.1. Factores climáticos que afectan a la degradación del terreno

El clima ejerce una gran influencia sobre el tipo de vegetación y su biomasa y diversidad (Williams & Balling, 1996). Las condiciones climáticas, principalmente los niveles de precipitación y las temperaturas, determinan la distribución potencial de la vegetación terrestre y juegan un papel clave en los procesos de síntesis y evolución del suelo, afectando a las características del terreno y a su respuesta ante variaciones climáticas y eventos extremos (WMO, 2005). Por ejemplo, la formación de costras de compactación en la superficie del terreno debido al impacto de las gotas de lluvia puede reducir las tasas de infiltración del terreno, generándose flujos superficiales que pueden potenciar los procesos de escorrentía y erosión. De este modo, la gravedad, frecuencia y grado de los procesos erosivos estaría afectada por cambios en los niveles de precipitación y los regímenes de viento. Además, clima, vegetación y erosión se interrelacionan, de manera que cambios en las condiciones climáticas pueden generar cambios en la vegetación, que

influyen en los procesos erosivos, y viceversa, y una elevada proporción de los desastres naturales se producen debido a una conjunción de factores climáticos (Figura 1), con implicaciones desde el punto de vista de la degradación del terreno.

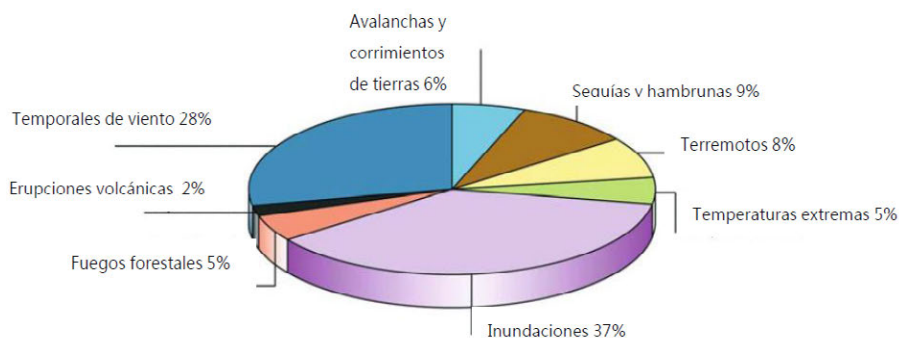


Figura 6.1: Distribución global de desastres naturales por tipo en 1993-2002  
(Fuente: WMO, 2005).

Conocer los principales factores que afectan a la degradación del terreno es crucial para el desarrollo de modelos de predicción de fenómenos erosivos. Por ejemplo, el modelo Proyecto de predicción de erosión hídrica (Water Erosion Prediction Project WEPP) se basa en simulaciones continuas a partir de parámetros ambientales, y puede aplicarse a procesos de erosión de ladera o a escala de cuenca (USDA, 2006). Este modelo recrea los procesos naturales que participan en fenómenos erosivos, de modo que ante un evento de lluvia puede usarse para determinar si va a generarse escorrentía superficial en base a las características de la cubierta vegetal y del suelo, y considera parámetros relacionados con: el clima (precipitaciones, temperatura, radiación solar, viento, heladas, nieve), el sistema de riego (aspersión, goteros), hidrología (infiltración, escorrentía), balances hídricos (evapotranspiración, infiltración, drenaje), el suelo (tipo y propiedades), la cubierta vegetal (cultivos, pasto, bosque), la gestión y descomposición de residuos, efectos de la preparación y cultivo del terreno (sobre infiltración y erosión), canalizaciones y embalses, y depósito de materiales.

Las regiones áridas, que son especialmente vulnerables ante procesos de degradación del terreno, presentan en general altas temperaturas y baja disponibilidad de recursos hídricos, lo que conduce a bajos niveles de producción de materia orgánica y procesos de rápida oxidación. A su vez, bajos índices de materia orgánica no favorecen la formación de agregados en el suelo, y los existentes presentan poca estabilidad, haciendo al terreno vulnerable ante procesos de erosión eólica e hídrica (Sivakumar & Stefanski, 2007).

Por ejemplo, en África, el 25 % de la superficie continental, excluyendo los desiertos se considera altamente susceptible de ser afectada por erosión hídrica, y un 22% por erosión eólica. De todos los factores que participan en los procesos de degradación del terreno en África, los de naturaleza climática se encuentran entre los más significativos (Tabla 6.1).

Tabla 6.1: Principales factores que afectan a la calidad del terreno en África (Fuente: adaptado de Reich et al., 2001).

Factor	Área (x 1 000 km <sup>2</sup> )
Elevada contracción-dilatación	107,6
Bajo contenido de materia orgánica	310,9
Alta temperatura del suelo	901,0
Exceso estacional de agua	198,9
Restricciones radiculares	566,5
Periodos cortos de bajas temperaturas	0,014
Baja estabilidad estructural	333,7
Elevada capacidad de intercambio catiónico	43,8
Drenaje obstaculizado	520,5
Estrés hídrico estacional	3 814,9
Alto contenido en aluminio	1,573,2
Naturaleza calcárea, contenido en yeso	434,2
Lavado de nutrientes	109,9
Baja capacidad de retención de nutrientes	2 141,0
Elevada retención de P, N	932,2
Suelos ácidos sulfatados	16,6
Baja capacidad de retención de agua	2 219,5
Elevada materia orgánica	17,0
Salinidad/alcalinidad	360,7
Suelo poco profundo	1 016,9
Pendiente	20,3
Superficie total	29 309,1
Agua	216,7



Los factores climáticos con mayor influencia en la vulnerabilidad de un área a sufrir procesos de degradación del terreno son los niveles de precipitación y fenómenos asociados, la radiación solar, la temperatura y la evaporación, y el viento, los cuales interactúan y se interrelacionan generando fenómenos de retroalimentación. En las secciones siguientes abordaremos estos factores.

### 3.1.1. Precipitaciones

Los niveles de precipitación son el factor climático que en mayor medida influye en el riesgo de un área a sufrir procesos de degradación del terreno, dado que la existencia de gran variabilidad en los regímenes de precipitaciones, o la ocurrencia de eventos extremos, puede promover la erosión y degradación del terreno (Figura 6.2).

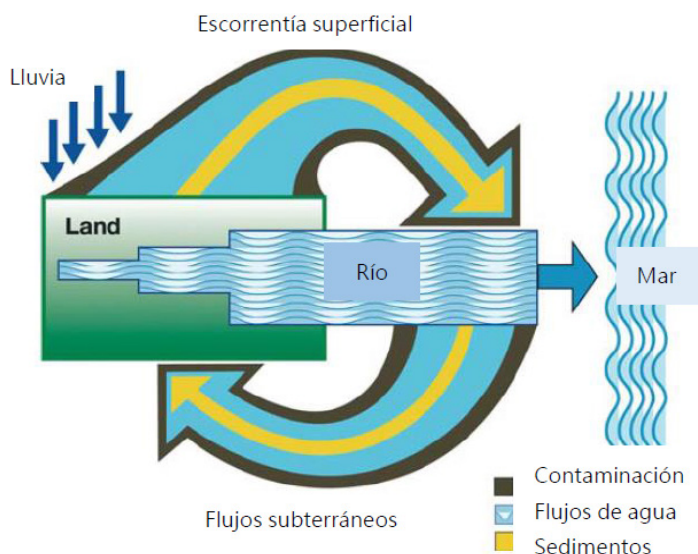


Figura 6.2: Representación esquemática de procesos asociados a regímenes de precipitación que participan en la degradación del terreno (Fuente: WMO, 2005).

Las precipitaciones y la temperatura son los principales factores que determinan el clima de La Tierra y la distribución potencial de la vegetación, y existe una relación significativa entre los niveles de precipitación y la producción de biomasa, ya que el agua es un factor clave en la fotosíntesis. La disponibilidad de recursos hídricos es crítica desde el punto de vista de la degradación del terreno ya que las condiciones de aridez definen áreas especialmente vulnerables a la degradación del terreno. Además, la relación entre precipitación y escorrentía es clave en el desarrollo de procesos erosivos.

Niveles extremos de precipitación, bajos o altos, pueden conducir a la degradación del terreno, y las precipitaciones se consideran el factor erosivo más importante de entre los que participan en la erosión del suelo (WMO, 2005). La intensidad del episodio de lluvia es el factor más importante afectando a la erosión del suelo (Zachar, 1982), siendo la permeabilidad del suelo un elemento clave. Intensidad y permeabilidad condicionan la formación de escorrentía, afectando a la pérdida de suelo y a los patrones erosivos en laderas.

Las gotas de lluvia, los fenómenos de escorrentía superficial y sub-superficial y las crecidas de los ríos son elementos capaces de erosionar el suelo. El impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie del terreno genera una gran cantidad de energía cinética, capaz de desagregar las partículas del suelo. Además, la lluvia puede incorporar ácidos débiles y hacer solubles ciertos componentes del suelo, promoviendo la desagregación de las partículas del suelo. Las partículas desagregadas son vulnerables ante flujos de escorrentía, y el flujo de agua arrastra las partículas que han perdido cohesión, continuando el proceso erosivo. La erosión causada por la lluvia no es tan significativa en ausencia de escorrentía superficial (Lal, 2001), y cuanto mayor es la intensidad de la lluvia, mayor es la escorrentía superficial y mayor el tamaño de partícula que puede ser arrastrada.

Los patrones de precipitación y escorrentía juegan un papel especialmente significativo en regiones áridas y semiáridas. Las tierras áridas son aquellas en las cuales las tasas de evaporación anuales son más elevadas que las precipitaciones, generándose un continuo déficit de agua, y se caracterizan mediante un "índice de aridez" (relación precipitación anual/evaporación potencial) (UNEP, 1992). La escorrentía superficial es a menudo más elevada en tierras áridas que en áreas más húmedas debido a la formación de costras impermeables como respuesta a eventos de lluvia intensos cuando la cubierta vegetal no es significativa o no existe una capa de mantillo sobre la superficie del terreno. El lavado de suelo en estas circunstancias puede ser un orden de magnitud superior al que se produce cuando existe una cubierta vegetal significativa (WMO, 2005), ya que cuanto más escasa es la cubierta vegetal mayor es la vulnerabilidad de las partículas del suelo a ser desagregadas por el impacto de las gotas de lluvia y arrastradas por los flujos de escorrentía superficial. Este aspecto es de especial importancia en el caso de cambios de vegetación estacionales en áreas afectadas por regímenes de lluvias estacionales, donde un comienzo prematuro de la temporada de lluvias puede conducir a la erosión significativa del terreno al no existir una cubierta vegetal que contribuya a fijar las partículas del suelo.

No solamente las lluvias participan en los procesos de erosión del suelo y degradación del terreno, otras formas de precipitación también juegan un papel importante (Zachar, 1982). El granizo genera un impacto similar al de la lluvia, pero con el agravante de presentar mayor energía cinética que las gotas de lluvia, siendo este efecto de especial severidad

cuando el granizo se acompaña de fuertes lluvias. En el caso de la nieve, la congelación del suelo lleva a procesos de gelificación, y los materiales disgregados son posteriormente arrastrados en el deshielo.

### **3.1.2. Crecidas e inundaciones**

Eventos de lluvia extremos producidos por fenómenos como temporales o huracanes implican la caída de un gran volumen de agua en un periodo de tiempo muy corto, pudiendo causar inundaciones y el desbordamiento de cauces. Este es un fenómeno natural susceptible de tener lugar en cualquier tipo de clima y que ha modelado la superficie terrestre durante millones de años.

La previsión de crecidas e inundaciones es un proceso complejo en el que han de considerarse múltiples factores, dependiendo de la naturaleza del proceso causante del fenómeno. En ocasiones crecidas e inundaciones se producen debido a una conjunción de factores aguas arriba, los cuales pueden cambiar rápidamente o no ser fácilmente reconocibles (WMO, 2005), o deberse a tormentas que se desplazan y evolucionan a través de diferentes estados o fases y cuyo efecto depende de las características del terreno. Existen diferentes organismos que trabajan para realizar predicciones en cuanto a crecidas e inundaciones con la mayor precisión posible, siendo necesario abordar la previsión de este tipo de fenómenos a través de un esfuerzo común e interdisciplinar, incluyendo a meteorólogos, hidrólogos, entes gubernamentales y profesionales de protección civil para el uso de modelos de predicción y planes de actuación integrados.

Crecidas e inundaciones pueden tener significativas consecuencias a nivel socioeconómico, afectando a la construcción y mantenimiento de infraestructuras y pudiendo causar importantes daños materiales y pérdidas económicas y humanas. Por tanto, disponer de la mayor cantidad de información posible es crucial para minimizar sus impactos, ya sea a través de observación directa, teledetección o aplicación de modelos.

En las últimas décadas, la evaluación y gestión del riesgo frente a este tipo de fenómenos ha evolucionado hacia una gestión integrada de crecidas e inundaciones. Integrada en cuanto a la aplicación simultánea de diferentes estrategias, puntos y tipos de intervención complementarios, a corto y largo plazo y a través de un proceso de toma de decisiones transparente y participativo, especialmente en cuanto a integración de entes institucionales (WMO, 2005).

El uso del suelo afecta a la cantidad y calidad de las aguas y a los procesos de erosión y depósito de materiales, y por tanto, la planificación de usos del terreno y la gestión de aguas deberían desarrollarse en un plan conjunto y coherente, coordinado por las respectivas autoridades responsables. Un plan integrado para la gestión de crecidas e

inundaciones debería incluir cinco elementos clave (APFM, 2004): i) Gestión integral del ciclo del agua; ii) Gestión integrada de terreno y aguas; iii) Adopción de una combinación óptima de estrategias; iv) Asegurar un marco participativo; v) Adopción de medidas integradas para la gestión del riesgo.

De nuevo, las regiones áridas son especialmente vulnerables a este tipo de fenómenos. Los cursos de agua de las regiones áridas presentan caudales muy variables y son muy sensibles ante fluctuaciones en los niveles de precipitación y cambios en la cubierta vegetal, pudiendo afectar a su estabilidad y promover un carácter estacional.

### 3.1.3. Sequías

Las sequías son un fenómeno natural originado por bajos niveles de precipitación que conducen a situaciones de escasez de agua para determinadas actividades o grupos (WMO, 2005). La severidad de la sequía varía en función de la duración del periodo de escasas precipitaciones o el efecto conjunto de otros factores como altas temperaturas, vientos importantes y baja humedad relativa. Las sequías reducen la humedad del suelo, lo que implica la disminución de las tasas de evaporación y de la formación de nubes, mientras que la pérdida de la cubierta vegetal incrementa el albedo. Estos cambios en la superficie del terreno provocan el aumento de la temperatura del suelo y del aire en capas próximas a la superficie del terreno, lo que fomenta el desequilibrio del intercambio energético entre superficie y atmósfera (Williams & Balling, 1996).

El desarrollo de sistemas de detección temprana de este tipo de fenómenos podría reducir los impactos negativos (Wilhite et al., 2000), siendo fundamental obtener información a través de estaciones meteorológicas y realizar un seguimiento de ciertos parámetros, como caudales o humedad del suelo, para calcular índices de sequía, de gran utilidad como indicadores en procesos de toma de decisiones. Los planes de gestión de fenómenos de sequía deben incluir tres elementos básicos: i) Monitoreo y sistemas de detección temprana; ii) Evaluación de riesgos; iii) Respuesta de actuación y mitigación (Wilhite & Svoboda, 2000).

En las regiones áridas, periodos prolongados de sequía pueden iniciar o potenciar procesos de degradación del terreno. En África, se estima que las sequías pueden tener un impacto importante sobre el PIB de ciertos países como Zimbabue y Zambia (8-9% en 1992) (WMO, 2005). En el caso del Sah-el, se ha registrado una reducción continua del nivel de precipitaciones en las últimas décadas, generando importantes impactos a nivel socioeconómico y medioambiental.

### 3.1.4. Radiación solar, temperatura y evaporación

La fuente de energía que mantiene los procesos biológicos y geofísicos necesarios para que exista vida en La Tierra (fotosíntesis, clima) es en última instancia el Sol. El sistema Tierra debe emitir la misma cantidad de energía que recibe y el mantenimiento de este balance es la clave del sistema climático global (WMO, 2005). La radiación solar que llega a la superficie terrestre está altamente condicionada por la presencia de nubes, pudiendo alcanzar niveles muy elevados en ausencia de nubosidad, como sucede con frecuencia en zonas áridas. A su vez, la formación de nubes y el balance hídrico superficie terrestre-atmósfera dependen de los procesos de evaporación de agua hacia la atmósfera.

El calentamiento de la superficie terrestre por efecto de la radiación solar es el principal factor determinante de la temperatura del aire, y como se ha indicado, la temperatura y las precipitaciones son factores determinantes del clima, la distribución de la vegetación y de los procesos de edafogénesis. Además, la temperatura y las precipitaciones afectan a ciertas características del suelo (como humedad, actividad biológica, reacciones químicas o tipo de vegetación). Elevadas temperaturas incrementan las tasas de evaporación del suelo, reduciendo la disponibilidad de recursos hídricos para la vegetación y la microfauna del suelo, pudiendo llegar a provocar el agrietado de materiales arcillosos, haciéndolos más vulnerables a erosión eólica o hídrica. Por otro lado, la temperatura afecta al estado del agua, promoviendo ciertos procesos erosivos descritos en secciones anteriores (como meteorización química o gelifración), y la compactación-dilatación de los materiales debido a oscilaciones extremas de temperatura puede llevar a su fragmentación y desestabilización, con el consiguiente riesgo de que se produzcan avalanchas o corrimientos de tierras.

La evaporación de agua desde la superficie terrestre hacia la atmósfera es un elemento crucial en el sistema climático y el ciclo del agua a nivel global. Los factores climáticos generan una demanda evaporativa en la atmósfera, pero las tasas de evaporación se encuentran altamente condicionadas por las características de las superficies desde las cuales se produce la evaporación y por la disponibilidad hídrica (WMO, 2005). En terrenos degradados, la superficie del terreno afecta a esta demanda evaporativa a través de su albedo y rugosidad, la cual genera turbulencias. Además, en condiciones de aridez, elevados índices de evaporación pueden llevar a la acumulación de sales en las capas superficiales del suelo, haciéndolos más vulnerables a procesos erosivos y limitando su actividad biológica.

### 3.1.5. Viento

La erosión eólica ocurre cuando el nivel de turbulencia atmosférica supera la resistencia al desprendimiento y transporte de los materiales de superficie (Skidmore, 1986). La capacidad del viento para generar procesos erosivos depende de la interacción de factores climáticos, condiciones edáficas y uso del suelo, en cuanto a estructura y cubierta vegetal (WMO, 2005). De acuerdo con FAO (1996), los principales factores que afectan a los procesos de erosión eólica son las condiciones de aridez, la textura y estructura del suelo, la presencia de irregularidades en la superficie del terreno, la cubierta vegetal y la humedad del suelo. En regiones afectadas por largos periodos de sequía asociados con regímenes de viento intensos, la cubierta vegetal del terreno no ofrece en general protección suficiente ante procesos erosivos y si además la integridad del suelo se ha visto comprometida por prácticas de manejo inapropiadas, la erosión eólica puede representar un problema grave, como sucede por ejemplo en los márgenes del desierto del Sáhara en África y en ciertas regiones del noroeste de la India (WMO, 2005).

Las tormentas de polvo y arena causadas por procesos de erosión eólica pueden afectar a la producción de tierras de cultivo en muchas regiones del planeta (WMO, 2005), así como a la calidad de las aguas y del aire, generando problemas de salud e importantes daños materiales y ambientales (Wang Shigong et al., 2001). Se ha estimado que en las regiones áridas y semiáridas del planeta un 24% de las tierras cultivadas y un 41% de los pastos están afectados por una degradación del terreno de moderada a severa debido a procesos de erosión eólica (Rozanov, 1990). La acción del viento es especialmente destacada en áreas de extrema aridez, como en la región del Sah-el, donde se han estimado pérdidas de suelo de unos 30 mm por m<sup>2</sup> al año (Stahr et al., 1996).

En general se emplean dos tipos de indicadores para clasificar la intensidad de las tormentas de polvo y arena: velocidad del viento y visibilidad, pudiendo identificarse: i) Tormentas, cuando la visibilidad se ha reducido a menos de 1000 metros; ii) Ventiscas, cuando aún existe visibilidad a más de 1000 metros de distancia; iii) Calima, cuando existen partículas suspendidas, resultado de una tormenta de polvo o arena anterior en el tiempo; iv) Remolinos, cuando existen columnas de polvo o arena moviéndose con el viento que tienden a disiparse tras haber viajado una corta distancia (WMO, 2005).

Las tormentas de arena afectan al balance energético superficie terrestre-atmósfera, de manera directa, mediante la reflexión y absorción de radiación solar, e indirectamente al alterar las propiedades ópticas y la duración de las nubes.

### 3.2. Impacto de la degradación del terreno sobre el clima

El clima afecta a los procesos de degradación del terreno y estos a su vez afectan al clima, generando relaciones e interacciones complejas que incluyen fenómenos de retroalimentación y sinergias.

El cambio climático, potenciado por factores antropogénicos, supone una amenaza añadida para la integridad y calidad del terreno, y puede promover la degradación del terreno al alterar la distribución espacial y temporal de las temperaturas, afectar a la intensidad y distribución de precipitaciones y vientos, e influir en los balances energéticos del planeta en cuanto a radiación solar (WMO, 2005). Las propiedades del suelo se verán afectadas por el ascenso de las temperaturas y los procesos de degradación se verán amplificados por la ocurrencia de eventos de precipitación y viento extremos. A su vez, la degradación del terreno generará impactos sobre el cambio climático.

La superficie terrestre es un elemento importante del sistema climático y su interacción con la atmósfera se produce a través de múltiples procesos dinámicos interrelacionados. Los cambios de uso del suelo y sus características modifican los balances energéticos de la superficie terrestre, afectando al conjunto del sistema climático global. Características de la superficie del terreno tales como humedad del suelo, cobertura forestal, tasas de transpiración y relieve pueden afectar a los procesos de formación de nubes y a los niveles de precipitación (Garret, 1982), habiéndose identificado una notable correlación entre el descenso de las tasas de evapotranspiración y los niveles de precipitación (Dirmeyer & Shukla, 1996). Por ejemplo, cambios en el tipo de cubierta vegetal pueden inducir cambios en la circulación de masas de aire en la atmósfera. Esta influencia es especialmente patente en el caso de procesos de deforestación, pudiendo la pérdida de la cubierta forestal generar alteraciones en los flujos de evapotranspiración y calor, capaces de afectar el clima a nivel regional e incluso global.

Además, los cambios en el uso del suelo influyen los flujos de carbono y las emisiones de gases de efecto invernadero (Houghton, 1995; Braswell et al., 1997). La degradación del terreno potencia el cambio climático antropogénico a través de la liberación de CO<sub>2</sub> anteriormente fijado como biomasa y mediante la reducción del potencial de la tierra para captar y fijar carbono. Se estima que desde la Revolución Industrial las emisiones de carbono debido a la combustión de combustibles fósiles ascienden a 270±30 gigatoneladas (Gt) a nivel global (WMO, 2005), y un total de 136±5 Gt se atribuyen a cambios de uso de suelo, incluyendo deforestación, quema de biomasa, drenado de tierras húmedas y establecimiento de tierras de cultivo. El agotamiento del carbono orgánico del suelo debido a la degradación del mismo y al incremento de los procesos erosivos supondría emisiones de unos 26±12 Gt de carbono a la atmósfera (Lal, 2004).

## 4. Importancia de los bosques en el marco de la degradación del terreno y el cambio climático

Los bosques, dependiendo de su extensión, pueden influenciar los climas regionales (Betts et al., 2008), produciéndose numerosos fenómenos de retroalimentación en la relación entre los bosques y el clima a medida que el clima cambia, a través de cambios en el albedo, alteración del ciclo del carbono, flujos de energía, intercambios de humedad e incendios forestales (Ayres and Lomardero, 2000; Bonan et al., 2003; Heath et al., 2005; Euskirchen et al., 2009).

En este contexto, los bosques pueden jugar un papel clave en la prevención y control de fenómenos de degradación del terreno y en el cambio climático. Un 50% de los depósitos terrestres de carbono corresponden a ecosistemas forestales (en forma de biomasa viva y muerta, sobre y bajo la superficie del suelo) (FAO, 2000), por lo que la gestión de los bosques es un instrumento clave para hacer frente al cambio climático, tanto en cuanto a mitigación, incluyendo acciones que fomenten que los ecosistemas ayuden a reducir la influencia humana en el cambio climático mediante la captación de CO<sub>2</sub> atmosférico y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, como en cuanto a adaptación al mismo, incluyendo acciones que ayuden a los ecosistemas a adaptarse a los cambios que se produzcan (FAO, 2010).

Una apropiada gestión de los ecosistemas forestales ayuda a mejorar su funcionalidad hacia la provisión de servicios con implicaciones socioeconómicas y medioambientales, generando beneficios que van más allá de afrontar el cambio climático (Mátyás et al., 2013). Así pues, una gestión forestal sostenible no sólo presenta beneficios desde el punto de la reducción de las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, contribuye además a la seguridad alimentaria y la reducción de la pobreza y por tanto, los esfuerzos dirigidos a mitigar el cambio climático y a la adaptación a sus efectos deben crear sinergias y estar en armonía con otros objetivos nacionales y locales.

Por otra parte, el cambio climático introduce altos niveles de incertidumbre en cuanto a la variación de las condiciones ambientales con respecto a las actuales, y por tanto, en el diseño de planes de gestión de ecosistemas forestales (Millar et al., 2007). En este contexto, los gestores de estos ecosistemas han de enfrentarse al reto de integrar estrategias de adaptación y de mitigación. El desarrollo de estrategias flexibles, de acuerdo con un sistema de gestión adaptativa, donde se asume ciertos riesgos, se toma ciertas decisiones, incluyendo la posibilidad de la no-intervención, y se lleva a cabo una re-evaluación continua del proceso tal que pueda tomarse un nuevo rumbo si se estima necesario, se presenta como un enfoque que optimiza las probabilidades de éxito (Hobbs et al. 2006).



La participación de la gestión de los ecosistemas forestales en la mitigación del cambio climático incluye aspectos como (FAO, 2010):

- La captura de carbono, a través del incremento de la superficie y la densidad de las áreas forestales y el aumento del potencial de los ecosistemas forestales para absorber y fijar carbono. Las actuaciones a llevar a cabo para la consecución de estos objetivos incluyen: (i) procesos de forestación, reforestación y restauración forestal; (ii) incremento de la cubierta forestal en sistemas agrícolas y urbanos, establecimiento de sistemas agrosilvopastorales; (iii) implementación de prácticas de manejo destinadas a maximizar las reservas de carbono.
- La protección y mantenimiento de los sumideros forestales de carbono, mediante el control y reducción de procesos de deforestación y degradación de ecosistemas forestales. Las actuaciones a llevar a cabo incluirían: (i) implementación de prácticas de manejo sostenible de los ecosistemas forestales; (ii) gestión integrada de incendios forestales; (iii) gestión del estado fitosanitario de los bosques; (iv) gestión de espacios protegidos, vida silvestre y biodiversidad.

En cuanto a mecanismos de adaptación, la gestión de los ecosistemas forestales influye en elementos como (FAO, 2010):

- Fomento de la capacidad de especies y ecosistemas forestales para adaptarse a nuevas condiciones ambientales, a través de: (i) la gestión de la biodiversidad forestal; (ii) la mejora de la sanidad y vitalidad de las masas forestales tal que se reduzca su vulnerabilidad ante eventos extremos y capacidad para regresar a su estado previo tras sufrir perturbaciones; (iii) el establecimiento de sistemas de gestión adaptativa.
- Fomento de la capacidad de adaptación de las comunidades humanas que dependen de ecosistemas forestales, mediante: (i) la promoción de planes de actuación diseñados para hacer frente a condiciones cambiantes, en un contexto de gran incertidumbre; (ii) la diversificación de oportunidades en el marco del aprovechamiento de los ecosistemas forestales; (iii) la inclusión de la dimensión socio-económica en planes de gestión adaptativa del territorio.

## 5. Bibliografía

- APFM Associated Programme on Flood Management (2004). "Integrated Flood Management: Concept paper. APFM Technical Document No. 1. Geneva, Switzerland". URL: [http://www.apfm.info/publications/concept\\_paper\\_e.pdf](http://www.apfm.info/publications/concept_paper_e.pdf) [01/05/2015]
- Ayres, M.P. and M.J. Lombardero (2000). "Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens". *Sci. of the Total Envir.* 262: 263-286.
- Betts, R., M. Sanderson, S. Woodward, Y. Malhi, T. Roberts, and R.A. Betts. (2008). "Effects of large-scale Amazon forest degradation on climate and air quality through fluxes of carbon dioxide, water, energy, mineral dust and isoprene". *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond. B* 363: 1873-1880.
- Bonan, G.B., S. Levis, S. Sitch, M. Vertenstein, and K.W. Oleson (2003). "A dynamic global vegetation model for use with climate models: concepts and description of simulated vegetation dynamics". *Global Change Biol.* 9: 1543-1566.
- Braswell, B.H., D.S. Schimel, E. Linder, and B. Moore III (1997). "The response of global terrestrial ecosystems to interannual temperature variability". *Science* 278:870-872.
- Dirmeyer, P.A., and J. Shukla (1996). "The effect on regional and global climate of expansion of the world's deserts". *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* 122:451-482.
- Euskirchen, E.S., A.D. McGuire, F.S. Chapin, S. Yi, and C.C. Thompson (2009). "Changes in vegetation in northern Alaska under scenarios of climate change 2003-2010: implications for climate feedbacks". *Ecol. Appl.* 19: 1022-1043.
- FAO (1996). "Land husbandry – Components and strategy". FAO Soils Bulletin 70, Rome.
- FAO (2000). "Global forest resources assessment". FAO Forestry Paper 140, Rome.
- FAO (2010). "La gestión de los bosques ante el cambio climático". URL: <http://www.fao.org/docrep/014/i1960s/i1960s00.pdf> [20/05/2015]
- Garrett, A.J. (1982). "A parameter study of interactions between convective clouds, the convective boundary layer and a forested surface". *Mon Weather Rev.* 110:1041-1059
- Heath, J., E. Ayres, M. Possell, R.D. Bardgett, H.I.J. Black, H. Grant, P. Ineson, and G. Kerstiens (2005). "Rising atmospheric CO<sub>2</sub> reduces sequestration of root-derived carbon". *Science* 309: 1711-1713.
- Hobbs, R.J., S. Arico, J. Aronson, J.S. Baron, P. Bridgewater, V.A. Cramer, P.R. Epstein, J.J. Ewel, C.A. Klink, A.E. Lugo, D. Norton, D. Ojima, D.M. Richardson, E.W. Sanderson, F. Valladares, M. Vila, R. Zamora, and M. Zobel (2006). "Novel ecosystems: theoretical and management aspects of the new ecological world order". *Global Ecology and Biogeography* 15:1-7.
- Houghton, R.A. (1995). "Land-use change and the carbon-cycle". *Global Change Biol.* 1:275-287.
- Lal, R. (1988). "Soil degradation and the future of agriculture in sub-Saharan Africa". *J. Soil Water Conserv.* 43:444-451.
- Lal, R. (2001). "Soil degradation by erosion". *Land Degradation and Development* 12:519-539.
- Lal, R., G.F. Hall, and F.P. Miller (1989). "Soil degradation: I. Basic processes". *Land Degrad. Rehabil.* 1:51-69.
- Mátyás, C., G. Sun, and Y. Zhang (2013). "Afforestation and forests at the dryland edges: Lessons learned and future outlooks" in Chen, J., S. Wan, G. Henebry, J. Qi, G. Gutman, G. Sun, and M. Kappas (eds.), *Dryland East Asia: Land Dynamics amid Social and Climate Change*, 245-263. HEP & DeGruyter.

- Mabbutt, J.A. (1994). "Climate change: some likely multiple impacts in Southern Africa". *Food Policy* 19:165-191.
- Millar, C.I., N.L. Stephenson, and S.L. Stephens (2007). "Climate change and forests of the future: managing in the face of uncertainty". *Ecological Applications* 17(8):2145–2151.
- Reich, P.F., S.T. Numben, R.A. Almaraz, and H. Eswaran (2001). "Land resource stresses and desertification in Africa" in Bridges, E.M., I.D. Hannam, F.W.T. Penning de Vries, S.J. Scherr, and S. Sombatpanit (eds.), *Response to Land Degradation*, 101-114. Enfield: Sci. Publishers.
- Rozanov, B.G. (1990). *Global assessment of desertification: status and methodologies. Desertification revisited: Proceedings of an ad hoc consultative meeting on the assessment of desertification*. UNEP-DC/PAC, Nairobi.
- Scherr, S. (1999). *Soil Degradation: a threat to developing-country food security by 2020?* International Food Policy Research Institute (IFPRI), Washington.
- Sivakumar, M. V. K., and R. Stefanski (2007). "Climate and Land Degradation - An Overview" in Sivakumar, M.V.K., and N. Ndiangui (eds.), *Climate and Land Degradation*, 105-135. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Skidmore, E.L. (1986). "Wind erosion climatic erosivity". *Climatic Change* 9: 195-208.
- Stahr, K, L. Hermann, and R. Jahn (1996). "Long distance sand transport in the Sudano –sahelian zone and the consequences of Sahel soil properties" in Buerkert, B, B.E. Allison BE, M. von Oppen M (eds.), *Proceedings of International symposium. Wind erosion in West Africa. The problem and its control*. University of Hohenheim, 5-7th December 1994. Margraf Verlag, Welkersheim.
- UNCCD (1994). "Elaboración de una Convención Internacional de Lucha Contra la Desertificación en los Países Afectados por Sequía Grave o Desertificación, en particular en África. Texto final de la Convención". URL: <http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/conventionText/conv-spa.pdf> [20/04/2015]
- UNEP (1992). *World Atlas of Desertification*, United Nations Environment Programme, Nairobi.
- UN DESA (2013). "World Population Prospects: The 2012 Revision, Volume I: Comprehensive Tables". URL: <http://esa.un.org/wpp/documentation/publications.htm> [22/04/15]
- USDA (2006). "Water Erosion Prediction Project Website of the Agricultural Research Service of the United States Department of Agriculture". URL: <http://www.ars.usda.gov/News/docs.htm?docid=10621> [23/04/15]
- Wang Shigong, Dong Guangrong, Shang Kezheng, Chen Huizhong (2001). "Progress of research on understanding sand and dust storms in the world" in Yang Youlin, Squires V., Lu Qi (eds.), *Global alarm: dust and sandstorms from the World's Drylands*. RCU of the United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), Bangkok.
- Wilhite, D.A., M.V.K. Sivakumar, and D.A. Wood (2000). *Early warning systems for drought preparedness and drought management*. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland. AGM-2, WMO/TD No. 1037.
- Wilhite, D.A., and M.D. Svoboda (2000). "Drought early warning systems in the context of drought preparedness and mitigation" in Wilhite, D.A., M.V.K Sivakumar, D.A. Wood (eds.), *Early warning systems for drought preparedness and drought management*, 1-16. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland. AGM-2, WMO/TD No. 1037.
- Williams, M.A.J., and R.C. Balling (1996). *Interaction of Desertification and Climate*. WMO, UNEP, Arnold London.
- WMO (2005). "Climate and Land Degradation. WMO No. 989". URL: [http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/agm/publications/backup\\_misc\\_pubs\\_17aug2007.php](http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/agm/publications/backup_misc_pubs_17aug2007.php) [22/04/15]

Woods, L.E. (1983). *Land Degradation in Australia*. AGPS, Canberra.

Zachar, D. (1982). *Soil Erosion. Chapter 4: Erosion factors and conditions governing soil erosion and erosion processes*. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company.



## CAPÍTULO 7

---

# Restauración y gestión de ecosistemas agrícolas y forestales en la lucha contra el cambio climático

Santamarta Cerezal, Juan Carlos  
Peraza Zurita, María Dolores

### 1. Introducción

A pesar de la controversia aún existente en medios de comunicación y la esfera política, es un hecho generalmente aceptado que el clima de La Tierra está cambiando y que las actividades humanas afectan a la velocidad con que este cambio se produce (IPCC, 2007a). La concentración de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> en la atmósfera aumenta a una velocidad mayor y hasta valores más elevados que en cualquier momento previo de la historia de la humanidad, y el clima está cambiando de manera que en muchas partes del Globo se registran temperaturas récord, cambios en los patrones de precipitación, tormentas intensas y otros eventos extremos (Hobbs, 2012). Las políticas y opciones de manejo a seguir a escala global y local continúan siendo objeto de debate, y el hecho de que este cambio climático antropogénico pueda relacionarse con una gran variedad de actividades humanas, como cambios de uso del suelo, contaminación, degradación del territorio y sobreexplotación de recursos, que interactúan, añade complejidad a la situación (Sala et al., 2000; MEA, 2005).

La degradación del terreno implica la degradación del ecosistema del que forma parte, afectando a su funcionamiento y a los ciclos biogeoquímicos en los que participa. Degradación del terreno y cambios de uso del suelo se encuentran entre los factores que más influyen en los flujos de carbono desde y hacia la atmósfera y en la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico (FAO, 2007), uno de los principales gases de efecto invernadero, especialmente debido a pérdidas de funcionalidad del suelo y a la pérdida de la cubierta vegetal. La restauración de terrenos degradados y su adecuada gestión juegan un papel fundamental en la lucha contra el cambio climático. La restauración de ecosistemas degradados, especialmente en el marco de usos agrícolas y forestales, y su gestión de manera que mantengan estados de funcionalidad tal que se reduzcan las emisiones

de gases de efecto invernadero a la atmósfera, se incrementa la captación de carbono atmosférico y se potencia la salud del sistema, son herramientas de extrema importancia en el marco de las actuaciones destinadas a la mitigación del cambio climático y a mejorar la adaptación de los ecosistemas al mismo.

En este contexto, se han desarrollado nuevas iniciativas y políticas en el marco internacional para la implementación de prácticas de manejo de sistemas agrícolas y forestales que potencien la captación y almacenamiento de carbono en biomasa y suelos y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, tales como metano  $\text{CH}_4$  u óxido nitroso  $\text{N}_2\text{O}$ . El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC incluye entre las actuaciones propuestas para potenciar la mitigación del cambio climático en tierras agrícolas la *“mejora de la gestión de las tierras de cultivo y de pastoreo para incrementar el almacenamiento de carbono en el suelo; restauración de suelos turbosos cultivados y de tierras degradadas; mejora de las técnicas de cultivo del arroz, y gestión del ganado y del estiércol para reducir las emisiones de  $\text{CH}_4$ ; mejora de las técnicas de aplicación de fertilizantes nitrogenados, para reducir las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$ ; cultivos especializados para la sustitución de los combustibles fósiles; mejora de la eficiencia energética; mejora del rendimiento de los cultivos”* (IPCC, 2007b).

En el caso de ecosistemas silvícolas, incluyen la *“forestación; reforestación; gestión de bosques; reducción de la deforestación; gestión de productos de madera cultivados; utilización de productos forestales para la obtención de biocombustibles que sustituyan los combustibles de origen fósil; mejora de las especies de árboles para aumentar la productividad de biomasa y el secuestro de carbono. Mejora de las tecnologías de teledetección para el análisis del potencial de secuestro de carbono en la vegetación/el suelo, y topografía de los cambios de uso de la tierra”* (IPCC, 2007b).

Este capítulo sintetiza conceptos e ideas fundamentales acerca del papel de la restauración y gestión de ecosistemas degradados en la lucha contra el cambio climático, con especial atención a usos agrícolas y forestales, incluyendo antecedentes del problema, estrategias de manejo recomendadas y herramientas financieras para promover la restauración y gestión de ecosistemas en el contexto de la mitigación del cambio climático.

## 2. Restauración y gestión de ecosistemas y cambio climático

El  $\text{CO}_2$  es uno de los principales gases de efecto invernadero y gran parte de los esfuerzos destinados a mitigar el cambio climático se centran en las concentraciones de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera. Existen cinco principales sumideros de carbono en el sistema Tierra (Figura 7.1), y se estima que los ecosistemas terrestres almacenan aproximadamente 2.500

gigatoneladas (Gt) de carbono (fijado en organismos y como carbono orgánico en los suelos), mientras que unas 760 Gt se almacenan en la atmósfera (Lal, 2004: CBD, 2009), siendo la cantidad total de carbono fijada en suelos equivalente a cuatro veces la cantidad fijada en la biosfera y a unas tres veces la cantidad almacenada en la atmósfera.

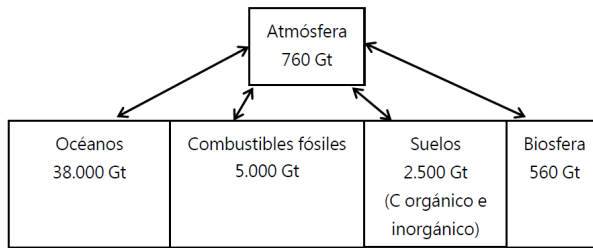


Figura 7.1: Sumideros de carbono en el sistema Tierra (Fuente: Adaptado de Lal, 2004).

De acuerdo con FAO (2002), en el ciclo terrestre del carbono (Figura 7.2), el carbono orgánico del suelo almacena unas 1.500 Gt de carbono, mientras que el carbono inorgánico representa cerca de 1.700 Gt pero se encuentra fijado en formas más estables.

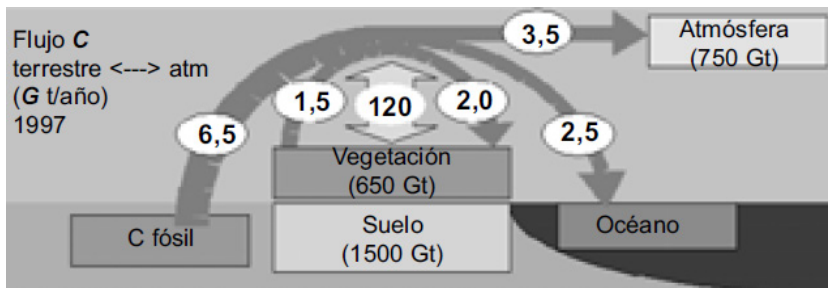


Figura 7.2: Ciclo terrestre del carbono (Fuente: FAO, 2002).

De acuerdo con Houghton (1995), las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera desde ecosistemas terrestres debido a cambios de uso del suelo, tales como deforestación e incremento del pastoreo y de las tierras cultivadas, fueron de unas 140 Gt de CO<sub>2</sub> entre 1850 y 1990, lo que se tradujo en una liberación neta de 25 Gt de carbono a la atmósfera. De acuerdo con IPCC (2000), la pérdida histórica desde usos agrícolas ha sido de 50 Gt de carbono en el la última mitad del siglo XX.



Los flujos de carbono entre los ecosistemas terrestres y la atmósfera son significativos, y pueden ser positivos (captura de carbono), o negativos (implicando la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera). Los ecosistemas terrestres tienen un gran potencial para la captación y fijación de carbono y pueden jugar un papel crucial en la mitigación del cambio climático y la adaptación al mismo, por lo que la restauración de ecosistemas terrestres degradados, y su apropiada gestión, es una herramienta de gran importancia en la lucha contra el cambio climático (Unión Europea, 2010), clave para la consecución de los objetivos generales de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) (CBD, 2009).

El término *resiliencia* se emplea cada vez más, aludiendo a un atributo de los sistemas ecológicos y socio-ecológicos, especialmente en el marco del cambio climático. En ecología este término es usado en varios contextos, frecuentemente haciendo referencia a la capacidad de los sistemas naturales para recuperarse tras una degradación temporal (Walker et al., 2004), lo que implica que la conservación de los ecosistemas debería plantearse como un proceso dinámico. Determinar cómo mantener o restaurar la resiliencia de los ecosistemas en términos prácticos es todavía un reto debido a la falta de claridad en cuanto a las medidas y estrategias a seguir, pero no cabe duda de que es crucial que este reto sea abordado de manera eficiente, dada la importancia de fortalecer la resiliencia de los sistemas para afrontar cambios ambientales y aumentar las posibilidades de adaptación a estos cambios (Hobbs, 2012).

Los ecosistemas degradados presentan menor resistencia y resiliencia ante cambios ambientales y eventos extremos, y ven reducida su capacidad para capturar y fijar carbono, pudiendo comportarse como emisores de carbono en lugar de como sumideros. La degradación del terreno puede afectar a la cohesión de los agregados y la textura del suelo, disminuir la capacidad de infiltración y almacenamiento de agua y potenciar la incidencia de fenómenos erosivos, así como conducir al agotamiento de la materia orgánica del suelo, lo que limita la germinación de las semillas, además de conducir a la interrupción de los ciclos bioquímicos del carbono, nitrógeno, fósforo y azufre, ciclo del agua y balances de energía, y a la reducción de la resiliencia del sistema (FAO, 2007), promoviendo todos estos factores la emisión de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera. La degradación de la vegetación también genera emisiones de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera, habiéndose estimado que los fenómenos de deforestación suponen por sí solos la emisión de entre 0,8 y 2,2 Gt de carbono al año a la atmósfera (equivalente a cerca del 20 % de las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub>) (Unión Europea, 2010).

Las perturbaciones de origen antrópico, tales como las relacionadas con usos agrícolas, incluyendo la deforestación de terrenos forestales, la quema de biomasa y la roturación y laboreo del suelo, promueven la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera como resultado de

procesos de mineralización como la descomposición de materia orgánica o la respiración del suelo (Reicosky et al., 1999; Schlesinger, 2000). Además, la conversión de ecosistemas naturales a usos agrícolas hace que la temperatura del suelo aumente y disminuya la humedad del suelo en la zona radicular (Lal, 1996).

Hasta los años 50 la cantidad de carbono emitido a la atmósfera debido a cambios de uso del suelo y usos agrícolas era mayor que la emitida debido a la quema de combustibles fósiles (Lal, 2004), pero en la actualidad la combustión de los combustibles fósiles por parte de la industria y el transporte es la principal fuente de emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (FAO, 2002).

Aunque la magnitud de la pérdida de carbono orgánico desde el suelo a la atmósfera a lo largo de la historia no está exenta de debate, es importante considerar que el proceso de agotamiento del carbono orgánico del suelo puede ser reversible y que mejorar la calidad y cantidad del carbono orgánico del suelo como sumidero de carbono puede mejorar la producción agrícola y de biomasa y la calidad del agua, así como reducir la colmatación de cursos de agua y embalses y ayudar a mitigar los impactos del calentamiento global.

Así pues, parte del carbono emitido a la atmósfera debido a la degradación de los ecosistemas terrestres puede potencialmente ser captado de nuevo a través de la restauración del suelo y la vegetación (FAO, 2007). La mitigación del cambio climático a través del secuestro de carbono implica la captura y almacenamiento a largo plazo de carbono en plantas y la materia orgánica del suelo, de manera que la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera disminuya, o se reduzca la velocidad con la que aumenta (Lal, 2004). Así como el uso y gestión no sostenible de las tierras conduce al agotamiento del carbono orgánico del suelo y la generación de emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero a la atmósfera, existe la creencia de que promover la fijación de carbono en los suelos podría compensar las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por el uso de combustibles fósiles (Kauppi et al., 2001).

El potencial de los ecosistemas como sumideros de carbono varía, y depende de los niveles previos de carbono orgánico en el suelo, el clima, el perfil del suelo y el tipo de manejo, pudiendo ser maximizado si los suelos y ecosistemas degradados son restaurados y si los suelos agrícolas son convertidos a usos que mejoren la calidad del sistema o replantados con vegetación perenne, y si se adoptan ciertas prácticas de manejo. Así pues, los ecosistemas degradados pueden secuestrar carbono si son restaurados a ciertos usos y se aplican ciertas prácticas de manejo (Post and Kwon, 2000; Lal, 2004), y existe la hipótesis de que el incremento anual de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera podría equilibrarse restaurando 2.000.000.000 ha de tierras degradadas (Lal, 2000), que secuestrarían una media de 15 toneladas/ha de carbono en suelo y vegetación.

En ecosistemas terrestres, las acciones a llevar a cabo con vistas a mitigar el cambio climático persiguen aumentar la fijación neta de CO<sub>2</sub> atmosférico en tejidos vegetales y la incorporación del carbono a la materia orgánica del suelo, así como reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> desde el suelo debido a la oxidación heterotrófica del carbono orgánico del suelo, e incrementar la capacidad de desiertos y terrenos degradados para secuestrar carbono (Franzluebbers & Doraiswamy, 2007).

Ya que en el ciclo terrestre del carbono, los suelos son el principal sumidero de carbono (FAO, 2007), el almacenamiento de carbono en el suelo en forma de materia orgánica se presenta como una estrategia útil para secuestrar carbono atmosférico, siendo además un factor crucial para mejorar la calidad del suelo, pero hemos de tener muy presente que el secuestro de carbono orgánico en el suelo y en biomasa no es una solución definitiva, sólo nos ayuda a ganar tiempo mientras se desarrollan alternativas al uso de combustibles fósiles (Lal, 2004).

### 3. Estrategias de mitigación del cambio climático en terrenos agrícolas y forestales

Los usos agrícolas contribuyen significativamente a la degradación del terreno y son uno de los principales emisores de CO<sub>2</sub> (FAO, 2007), siendo responsables junto con los usos silvícolas de aproximadamente un tercio del total de emisiones de origen antrópico (Tabla 1), especialmente como resultado de procesos de deforestación. Además, se estima que los usos agrícolas y forestales son responsables del 50 % del metano emitido a la atmósfera como resultado de actividades humanas (principalmente debido a la fermentación del arroz y fermentación entérica del ganado), de más del 75 % del N<sub>2</sub>O (principalmente por la utilización de fertilizantes) (FAO, 2008a).

Tabla 7.1: Emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub> relacionadas con usos agrícolas y forestales en Gt/año. Año 2005 (Fuente: adaptado de FAO, 2007).

Uso	Gt CO <sub>2</sub> / año
Agricultura	5 -6
Silvicultura	8 - 10
Total usos agrícolas y forestales	13 - 15
Total a nivel mundial	50

La reducción de las emisiones generadas por usos agrícolas y forestales es necesaria y urgente (FAO, 2008b), y cuanto antes se establezcan e implementen medidas de mitigación, menores serán los posibles efectos del cambio climático en el futuro. Se han identificado varias estrategias de mitigación a aplicar a los sectores agrícola y forestal que se espera que ayudarán a alcanzar los objetivos fijados en cuanto a la estabilización de las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera (FAO, 2008a).

En el sector agrícola, las estrategias se centran en reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a través de la mejora de la gestión agrícola y ganadera y del establecimiento de sistemas agroforestales, así como mejorar la retención del carbono en suelos agrícolas mediante la adopción de ciertas prácticas de manejo (FAO, 2008a), como las que se recogen en la Tabla 7.2.

Tabla 7.2: Comparación entre prácticas de manejo tradicionales y prácticas de manejo recomendadas para potenciar la secuestración de carbono como carbono orgánico en suelos bajo uso agrícola (Fuente: Lal, 2004).

Métodos tradicionales	Prácticas de manejo recomendadas
Quema de biomasa y retirada de restos de cultivo	Aplicación de restos de cultivo como mantillo o <i>"mulching"</i>
Arado y laboreo convencional	Minimización del laboreo y perturbaciones mecánicas, cultivo con mantillo o <i>"mulching"</i>
Tierras en barbecho sin vegetación	Establecimiento de cultivos que garanticen una cubierta vegetal durante el periodo de barbecho
Monocultivos continuos	Rotación de cultivos y diversificación de cultivos
Agricultura de subsistencia y agotamiento de la fertilidad del suelo	Uso racional de insumos
Uso intensivo de fertilizantes químicos	Gestión integrada de la fertilidad con compost y bio-sólidos
Cultivo intensivo	Integración de especies forestales y usos ganaderos
Riego a manta	Riego por surcos, goteo, hidropónico
Uso indiscriminado de pesticidas	Control integrado de plagas y enfermedades
Cultivo de suelos marginales	Desarrollo de programas de conservación y restauración de suelos degradados mediante cambio de uso del suelo

Estas prácticas recomendadas de manejo se basan en un uso más racional de los recursos (agua, fitosanitarios,...), minimizar la perturbación del sustrato y promover el uso de *mulchings*, fertilizantes de origen orgánico y programas de lucha integrada de patógenos (Lal et al., 1998; Schlesinger, 2000; Nichols and Wright, 2004; Makumba et al., 2007). Las operaciones de laboreo y arado del terreno se llevan a cabo para mejorar las características físicas del suelo con vistas a maximizar el crecimiento de los cultivos, pero genera efectos negativos, afectando a la estructura del suelo y promoviendo la oxidación de la materia orgánica del suelo (Franzluebbers, 2005). La selección de especies vegetales también afecta a la maximización de la fijación de carbono atmosférico y la minimización de las emisiones de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera. Las especies perennes a veces introducen ventajas con respecto a los cultivos anuales en cuanto a la captación de carbono, al presentar periodos de crecimiento más largos y sistemas radiculares más extensos (Liebig et al., 2005), aunque con ciertos cultivos anuales en rotación puede también maximizarse el crecimiento. Existe un interés creciente en el potencial de los cultivos de biomasa para uso energético que persiguen maximizar la captura fotosintética de CO<sub>2</sub> (Baral & Guha, 2004).

En cuanto a usos forestales, las actuaciones a implementar pueden agruparse en tres grandes grupos: (i) estrategias que buscan conservar y mantener los bosques existentes; (ii) estrategias que persiguen aumentar la superficie bajo uso forestal, y (iii) estrategias que tienen como objetivo incrementar el volumen de carbono fijado en los bosques (C/ha) (Binkley et al., 1998; Kauppi et al., 2001). Estas estrategias abarcan la reducción de emisiones como resultado de procesos de deforestación y degradación de los bosques en países en desarrollo, el establecimiento de prácticas de manejo en línea con una gestión forestal sostenible, y la restauración forestal, incluyendo la forestación y la reforestación de áreas bajo otro tipo de uso (FAO, 2008a).

La capacidad de los ecosistemas forestales para capturar carbono depende de nuevo en el tipo de prácticas de manejo aplicadas, así como de la ubicación geográfica y de las especies de árboles que intervienen y su edad. Los productos forestales actúan como sumideros de carbono, y pueden emplearse como combustible, y sustituir a otros materiales cuya producción genera emisiones de CO<sub>2</sub>, como el cemento. Aumentar la superficie cubierta por bosques a través de acciones de forestación, reforestación y restauración forestal conduce a incrementar la captación y fijación de dióxido de carbono desde la atmósfera (FAO, 2010), y cuando los árboles se talan, nuevos ejemplares pueden ser establecidos en su lugar, los cuales continuarán absorbiendo carbono.

La lucha contra fenómenos de deforestación, la conservación y ordenación forestal, el establecimiento de sistemas agro-silvícolas para obtener alimentos y energía, la restauración de los terrenos degradados y la recuperación de biogás y desechos, son sólo algunos ejemplos del amplio abanico de medidas y estrategias dirigidas a conservar los

recursos suelos y agua, cruciales para la mitigación del cambio climático y la adaptación al mismo, a través de la mejora de su calidad, disponibilidad y uso eficiente. Estas estrategias persiguen aumentar la resistencia y resiliencia de los sistemas de producción frente a las mayores presiones climáticas, asegurar una retención significativa del carbono y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

El potencial para la mitigación del cambio climático que puede alcanzarse a través de una combinación e integración de estrategias y acciones en los sectores agrícola y forestal es significativo (FAO, 2008a), y se estima que equivaldría a entre un tercio y la mitad de la mitigación total necesaria. Además, los sectores agrícola y forestal presentan sinergias útiles desde el punto de vista de la mitigación del cambio climático y la adaptación al mismo, las cuales se relacionan íntimamente con la seguridad alimentaria, y en las cuales deberían basarse los procesos de toma de decisiones y diseño de estrategias y herramientas políticas a nivel nacional e internacional, en el marco de un clima cambiante.

Estas sinergias pueden además afectar a los tres componentes del desarrollo sostenible (sostenibilidad social, económica y medioambiental) (Smith et al., 2007). Por ejemplo, la reducción de las emisiones de  $\text{CH}_4$  a través de la gestión de cultivos de arroz y producciones agrarias como sistemas integrados (práctica tradicional en regiones como Vietnam, Indonesia, India, o África occidental), se presenta como un mecanismo de mitigación del cambio climático que además implica mejorar la eficiencia del riego, pudiendo potenciar la creación de nuevas fuentes de ingreso y mejorar la calidad de vida de las poblaciones. La reducción de las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  puede llevar a una mejora de la calidad de las aguas subterráneas y frenar procesos de pérdida de biodiversidad. La gestión integrada de restos agrícolas y estiércol animal, reduciría las emisiones de  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$ , pudiendo además generar un aumento de la demanda de estiércol, aumentando los ingresos de los ganaderos. Por otro lado, la restauración del terreno a través del establecimiento de prácticas de pastoreo controlado podría fomentar la fijación de carbono en los suelos, influenciar positivamente la productividad del ganado, reducir fenómenos de desertificación, y proporcionar seguridad a personas de escasos recursos en áreas afectadas por eventos extremos como sequías, y el establecimiento de sistemas agrosilvopastorales puede mejorar la retención del carbono en los suelos y la resistencia de los ecosistemas ante fenómenos extremos, a través de la diversificación de especies y estructuras funcionales y la mejora de la fertilidad de los suelos y la capacidad de retención de agua. Estos ejemplos ilustran cómo prácticas que ofrecen ventajas desde el punto de vista de la mitigación del cambio climático en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero, pueden además implicar ventajas desde otros puntos de vista, optimizando la productividad de los ecosistemas en sentido amplio.

En ocasiones la restauración de ecosistemas degradados a usos forestales se ha basado en actividades de forestación o reforestación a gran escala, principalmente empleando especies exóticas de rápido crecimiento (Mansourian, 2005). Éste ha sido el enfoque seguido por muchos gobiernos para generar empleo impulsando la producción de madera o con la intención de mitigar desastres ambientales como inundaciones, mientras que otros organismos han intentado recrear bosques originales, lo que se presenta como una tarea casi imposible en entornos donde la acción del Hombre ha modelado el paisaje durante milenios. Idealmente, las actuaciones de restauración y establecimiento de ecosistemas forestales han de abordar esta tarea desde una perspectiva más completa, teniendo en cuenta aspectos como la pérdida de biodiversidad, las implicaciones del cambio de uso del suelo, seguridad alimentaria y degradación del suelo (FAO, 2007).

En ciertas regiones se han adoptado enfoques que abogan por el establecimiento de un sistema de gestión de ecosistemas forestales que persigue mimetizar procesos naturales para mitigar los impactos del cambio climático (Mátyás et al., 2013). Este sistema de gestión "próximo a la naturaleza" (*close-to-nature forest management*, en inglés), se basa en la hipótesis de que la estabilidad y persistencia de los ecosistemas forestales radica en los procesos evolutivos de las comunidades a lo largo de miles de años, por lo que potenciar la ocurrencia de procesos naturales en las masas forestales implicaría potenciar su estabilidad

La gestión forestal *próxima a la naturaleza* o *basada en la naturaleza* es un sistema productivo basado en la multifuncionalidad de los ecosistemas forestales y que enfatiza la necesidad de llevar a cabo una gestión que fomente la estabilidad, productividad, diversidad y continuidad de los bosques (Bauhus et al., 2013), lo que implica la integración de múltiples objetivos a una escala espacial pequeña, idealmente a nivel de rodal.

El objetivo es compatibilizar objetivos económicos, medioambientales y sociales, potenciando la regeneración natural de las masas, escogiendo especies en función de su grado de adaptación a las condiciones del entorno, fomentando la diversidad en cuanto a estructura de la masa, edades y composición específica, y minimizando o erradicando el uso de productos o materiales accesorios (Danish Forest and Nature Agency, 2008). De este modo se pretende fortalecer la salud, biodiversidad y resistencia de los bosques ante el cambio climático y hacerlos atractivos para usos sociales, así como mejorar las condiciones de empleo de los profesionales que trabajan en sectores vinculados a los ecosistemas forestales, preservar valores patrimoniales asociados a ellos y concienciar a la sociedad de la necesidad de proteger la Naturaleza. Las principales características de la gestión forestal próxima a la naturaleza incluyen (Danish Forest and Nature Agency, 2008):

- Asegurar la productividad y la gestión de los bosques. Minimización del uso de sistemas de cortas a hecho, empleo de especies que garanticen elevada productividad y la fertilidad del suelo.
- Provisión de un amplio y estable abanico de productos. Elevada y diversa productividad de madera de calidad y otros productos forestales (salvo en condiciones de fragilidad ecológica del sitio).
- Uso de especies y regiones de procedencia adaptadas a las condiciones locales. Uso de especies nativas. Pueden emplearse especies foráneas adaptadas si no amenazan la ecología del ecosistema.
- Fomento de la existencia de masas mixtas. Promoción de procesos de sucesión natural y protección de especies nativas raras.
- Fomento de mecanismos de regeneración natural. Pueden realizarse plantaciones de enriquecimiento.
- Mejora de la estructura de los bosques. Promoción de tipos de vegetación que garanticen la continuidad de la cubierta vegetal, diversificación de estructuras horizontales y verticales, protección de especímenes antiguos.
- Control ecológico y biológico de plagas y enfermedades. Eliminación gradual del uso de químicos, regulación de actividades de recreo que puedan dañar las masas.
- Gestión de fauna silvestre adaptada al ecosistema. Gestión compatible con otros usos, vallado de rodales en regeneración cuando sea necesario.
- Técnicas de manejo forestal adaptadas al ecosistema. Minimización de impactos negativos sobre el entorno, minimización del laboreo de suelos.
- Registro, planificación, información y formación. El propietario del bosque y los trabajadores deben poseer conocimientos suficientes para la gestión adecuada de la masa. El propietario debe garantizar el buen manejo del sitio. Los distintos usos pueden ser registrados
- Medidas especiales para promover y mantener la biodiversidad. Designación de áreas de no intervención en función de sus valores ecológicos, consideración ecosistemas de interés en el diseño de planes de gestión.
- Mantenimiento y mejora de elementos singulares, como valores escénicos, restos históricos o sistemas de manejo tradicionales con valor patrimonial.
- Operaciones de especial intensidad. Prácticas de manejo intensivas pueden ser aplicadas en pequeñas áreas.



## 4. Financiación de actividades de restauración y gestión de ecosistemas en el marco de un clima cambiante

Se estima que el costo anual a nivel global relacionado con la mitigación del cambio climático en 2030 asciende a 250.000-380.000 millones de dólares americanos USD (FAO, 2008b), y se estima que aproximadamente la mitad de esta inversión se realizará en países en desarrollo, donde la inversión necesaria representaría un aumento del 15 % en las inversiones y los flujos financieros dirigidos a los sectores de la agricultura y la silvicultura si no existiese el cambio climático (lo que equivaldría al triple de la deuda externa y 15 veces las inversiones y los flujos financieros totales hacia los sectores de la agricultura y la silvicultura en países en desarrollo desde fuentes de ayuda conjuntas bilaterales, multilaterales, inversión extranjera directa y asistencia oficial para el desarrollo). Debido al volumen de inversión requerido, la lucha contra el cambio climático requiere inversiones y flujos financieros adicionales, incentivos financieros para potenciar que se incurra en los costes adicionales que implica el cambio climático. La Tabla 3 recoge los principales mecanismos de financiación para promover la restauración y gestión de los ecosistemas hacia la lucha contra el cambio climático.

Tabla 7.3: Fuentes de financiación para la promoción de actuaciones en el marco de la lucha contra el cambio climático (Fuente: adaptado de Schuyt, 2005; Engel et al., 2008).

Fuente	Principales características
Organismos públicos locales	Incluyendo gobiernos a distintas escalas. Basados en políticas de mejora de los presupuestos para políticas medioambientales, reforma de políticas macroeconómicas (incluyendo impuestos y subsidios), el establecimiento de medidas recaudatorias como adquisición de licencias o permisos y cobro por el acceso a ciertos servicios, o la creación de comisiones especiales para la financiación de ciertos proyectos.
Donantes multilaterales y bilaterales	Fuentes de financiación dentro de programas de ayuda oficial al desarrollo (AOD) en el marco del sistema de crédito de las Naciones Unidas. Existe una creciente necesidad de justificar la relación entre la actuación e impactos sobre la mitigación de la pobreza para la obtención de financiación. Ejemplos: fondos y programas de las Naciones Unidas como REDD+, Banco Mundial, Fondo Monetario Internacional.

---

Fuentes privadas sin ánimo de lucro	Incluyendo comunidades locales, fundaciones internacionales y organizaciones no gubernamentales.
Fuentes privadas con ánimo de lucro	Incluyendo inversiones de particulares y grandes corporaciones. El objetivo es obtener beneficios directos en forma de ingresos, o indirectos en forma de nuevas oportunidades económicas o infraestructuras como colegios o carretera. También pueden responder a medidas compensatorias por la generación de un impacto ambiental negativo.
Pago por servicios ambientales	Payment for Ecosystem Services (PES) en inglés. Basados en la creación de un mercado donde internalizar las externalidades asociadas con la provisión de servicios ambientales, por parte de usuarios, o a través de programas de organizaciones gubernamentales u organizaciones no gubernamentales. Presentan ventajas y limitaciones.

---

## 5. Bibliografía

- Baral, A., and G.S. Guha (2004). "Trees for carbon sequestration or fossil fuel substitution: the issue of cost vs. carbon benefit". *Biomass and Bioenergy* 27(1):41-55.
- Bauhus, J., K. J. Puettmann, and C. Kühne (2013). "Is Close-to-Nature Forest Management in Europe Compatible with Managing Forests as Complex Adaptive Forest Ecosystems?" in Messier, C., K. J. Puettmann, and D. Coates (eds.), *Managing forests as complex adaptive systems. Building Resilience to the Challenge of Global Change*, 187-213. Earthscan from Routledge, Oxon.
- Binkley, C. S., M.J. Apps, R.K. Dixon, P. Kauppi, and L-O. Nilsson (1998). "Sequestering carbon in natural forests". *Crit. Rev. in Environ. Sci. and Tech.* 27: 23-45.
- CBD (2009). "Relación entre la diversidad biológica y la mitigación y adaptación al cambio climático". URL: <https://www.cbd.int/doc/publications/ahteg-brochure-es.pdf> [20/05/2015]
- Danish Forest and Nature Agency (2008). "The Danish national forest programme in an international perspective". URL: [http://naturstyrelsen.dk/media/nst/Attachments/dnf\\_eng.pdf](http://naturstyrelsen.dk/media/nst/Attachments/dnf_eng.pdf) [20/05/2015]
- Engel, S., S. Pagiola, and S. Wunder (2008). "Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of the issues". *Ecological Economics* 65 (4):663-674.
- FAO (2002). "Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra". Informes sobre recursos mundiales de suelos 96, Roma.
- FAO (2007). "Secuestro de carbono en tierras áridas". Informes sobre recursos mundiales de suelos 102, Roma.

- FAO (2008a). "Adaptación al cambio climático y mitigación del mismo: los desafíos y las oportunidades para la seguridad alimentaria". *Conferencia de Alto Nivel sobre la Seguridad Alimentaria Mundial: Los desafíos del cambio climático y la bioenergía*. Roma.
- FAO (2008b). "Mecanismos financieros para la adaptación al cambio climático y la mitigación del mismo en los sectores de la alimentación y la agricultura". *Conferencia de Alto Nivel sobre la Seguridad Alimentaria Mundial: Los desafíos del cambio climático y la bioenergía*. Roma.
- FAO (2010). "La gestión de los bosques ante el cambio climático". URL: <http://www.fao.org/docrep/014/i1960s/i1960s00.pdf> [20/05/2015]
- Franzluebbers, A.J. (2005). "Soil organic carbon sequestration and agricultural greenhouse gas emissions in the southeastern USA". *Soil and Tillage Research* 83(1): 120-147.
- Franzluebbers, A. J., and P. C. Doraiswamy (2007). "Carbon sequestration and land degradation" in Sivakumar, M.V.K., and N. Ndiangui (eds.), *Climate and Land Degradation*, 343-356. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Hobbs, R.J. (2012). "Environmental Management and Restoration in a Changing Climate" in Van Andel, J., and J. Aronson (eds.), *Restoration Ecology: The New Frontier*, 23-29. Blackwell Publishing Ltd.
- Houghton, R.A. (1995). "Changes in the storage of terrestrial carbon since 1850" in Lal, R., J. Kimble, E. Levine, B.A Stewart (eds.), *Soils and Global Change*, 45-65. Boca Raton F.L.: CRC & Lewis Publishers.
- IPCC (2000). *Land use, land-use change, and forestry special report..* Cambridge University Press.
- IPCC (2007a). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC (2007b). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. [Pachauri, R.K. y A. Reisinger, directores de la publicación]. IPCC, Ginebra.
- Kauppi, P. E., R.A. Sedjo, M.J. Apps, C.C. Cerri, T. Fujimori, H. Janzen, O.N. Krankina, W. Makundi, G. Marland, O. Maser, G.J. Nabuurs, W. Razali, and N.H. Ravindranath (2001). "Technical and economic potential of options to enhance, maintain and manage biological carbon reservoirs and geo-engineering" in B. Metz, O. Davidson, R. Swart, and J. Pan (eds.) *Climate change 2001: Mitigation*, 310-343. *Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the IPCC*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lal, R. (1996). "Deforestation and land use effects on soil degradation and rehabilitation in western Nigeria. II: soil chemical properties". *Land Degradation and Development* 7: 87-98.
- Lal, R. (2000). "World cropland soils as a source or sink for atmospheric carbon". *Adv. Agron.* 71:145-191.
- Lal, R. (2004). "Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security". *Science* 304:1623-1627.
- Lal, R., J.M. Kimble, R.F. Follett, and C.V. Cole (1998). *The Potential of U.S. Cropland to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect*. Chelsea, MI: Ann Arbor Sci. Publ.
- Liebig, M. A., H.A. Johnson, J.D. Hanson, and A.B. Frank (2005). "Soil carbon under switchgrass stands and cultivated cropland". *Biomass and Bioenergy* 28(4):347-354.
- Mátyás, C., G. Sun, and Y. Zhang (2013). "Afforestation and forests at the dryland edges: Lessons learned and future outlooks" in Chen, J., S. Wan, G. Henebry, J. Qi, G. Gutman, G. Sun, and M. Kappas (eds.), *Dryland East Asia: Land Dynamics amid Social and Climate Change*, 245-263. HEP & DeGruyter.

- Makumba, W., F.K. Akinnifesi, B. Janssen, and O. Oenema (2007). "Long-term impact of a gliricidia-maize intercropping system on carbon sequestration in southern Malawi". *Agriculture, ecosystems & environment* 118(1):237-243.
- Mansourian, S. (2005). "Overview of Forest Restoration Strategies and Terms" in Mansourian, S., D. Vallauri, and N. Dudley (eds.), *Forest Restoration in Landscapes - Beyond Planting Trees*, 8-17. Springer New York.
- MEA (2005). *Ecosystems and Human Well - being: General Synthesis*. Island Press, Washington, DC. URL: <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf> [25/05/2015]
- Nichols, K. A., S.F. Wright, F., Magdoff, and R.W. Ray (2004). "Contributions of fungi to soil organic matter in agroecosystems". *Soil organic matter in sustainable agriculture* 179-198.
- Post, W.M., and K.C. Kwon (2000). "Soil carbon sequestration and landuse change: processes and potential". *Global Change Biology* 6:317-327.
- Reicosky, D.C., D.W. Reeves, S.A. Prior, G.B. Runion, H.H. Rogers, and R.L. Raper (1999). "Effects of residue management and controlled traffic on carbon dioxide and water loss". *Soil and Tillage Research* 52: 153- 165.
- Sala, O.E., F.S. Chapin III, J.J. Armesto, E. Berlow, J. Bloomfield, R. Dirzo, E. Huber-Sanwald, L.F. Huenneke, R.B. Jackson, A. Kinzig, R. Leemans, D.M. Lodge, H.A. Mooney, M. Oesterheld, N.L. Poff, M.T. Sykes, B.H. Walker, M. Walker, D.H. Wall (2000). Biodiversity: global biodiversity scenarios for the year 2001. *Science* 287: 1770-4.
- Schlesinger, W. H. (2000). "Carbon sequestration in soils: some cautions amidst optimism". *Agriculture, Ecosystems & Environment* 82(1): 121-127.
- Schuyt, K. (2005). "Opportunities for Long-Term Financing of Forest Restoration in Landscapes" in Mansourian, S., D. Vallauri, N. Dudley (eds.), *Forest Restoration in Landscapes - Beyond Planting Trees*, 161-165. Springer, New York.
- Smith, P., D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H. Janzen, P. Kumar, B. McCarl, S. Ogle, F. O' Mara, C. Rice, B. Scholes, y O. Sirotenko (2007). "Agriculture » in Metz, B., O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, y L.A. Meyer (eds.), *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge-New York: Cambridge University Press.
- Unión Europea (2010). "El papel de la Naturaleza en la lucha contra el cambio climático". URL: [http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/Nature%20and%20Climate%20Change/Nature%20and%20Climate%20Change\\_ES.pdf](http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/Nature%20and%20Climate%20Change/Nature%20and%20Climate%20Change_ES.pdf) [13/05/2015]
- Walker, B., C.S. Holling, S.R. Carpenter, and A. Kinzig (2004). "Resilience, adaptability and transformability in social - ecological systems". *Ecology and Society* 9: 5 .



# RESTAURACIÓN DE LA CUBIERTA VEGETAL



## CAPÍTULO 8

---

# Viveros forestales

Ramos Martín, Carolina

## 1. Introducción

### 1.1. A modo de prólogo

Hoy en día, los medios de comunicación nos avasallan, constantemente, con noticias referentes a las extensas áreas deforestadas en todo el mundo. Datos actuales nos revelan que al planeta Tierra le quedan 3,8 billones de hectáreas de monte (según FAO 2005), es decir, un 31% de su superficie.

El hombre, con su enorme capacidad para transformar el medio que le rodea; la extracción de productos forestales, la enorme y rápida expansión de núcleos urbanos, la creación de infraestructuras y servicios; los incendios forestales, la gran mayoría provocados, desgraciadamente, por negligencia así como factores naturales, tales como la erosión eólica e hídrica, los aludes, las violentas avenidas, plagas y enfermedades vegetales son algunos de los factores que están provocando la regresión de nuestros bosques. Hemos de pensar que estos juegan un papel fundamental en el balance de carbono de nuestro planeta y que por tanto, contrarrestan el cambio climático. Es por ello, de la existencia y de la importancia de los viveros forestales.

### 1.2. Definición y tipos de viveros forestales

Podríamos definir los viveros forestales como aquellas superficies dedicadas a la producción de planta forestal con unas condiciones morfológicas muy estrictas, destinadas a repoblaciones forestales.

Los primeros viveros que se utilizaron durante las décadas de los 50 y los 60 (Cámara & Montoya, 1996) fueron los viveros volantes o provisionales (Figura 8.1), los cuales se emplazaban en el mismo lugar de la repoblación. Se caracterizaban por producir una o dos especies forestales (las que se iban a emplear en la repoblación), por el bajo coste económico que suponía la instalación y la práctica ausencia de transporte y desplazamiento hasta el lugar de plantación. Una vez finalizada ésta, el vivero se abandonaba.





Figura 8.1: Vivero forestal provisional de abeto en el monte de Canfranc (Fuente: Archivo Cartagra).

Actualmente los viveros suelen ser fijos o también llamados permanentes (Figura 8.2), cuyo objetivo es la duración ilimitada en el tiempo, con grandes producciones de planta al año, con óptimas infraestructuras y maquinaria, con amplias extensiones de superficie que permiten las rotaciones de suelo en el tiempo y las especies cultivadas son cambiantes según las necesidades.



Figura 8.2: Vivero forestal.

## 2. Factores para el emplazamiento de un vivero forestal

### 2.1. Introducción

Es de suma importancia realizar un buen estudio de los posibles terrenos disponibles y comprobar si son adecuados para tal fin ya que una mala elección en el emplazamiento del vivero podría acarrear problemas de difícil solución y, a largo plazo, comprometer su futuro.

### 2.2. Estudio de mercado

Es requerido, en primera instancia, un análisis de mercado para conocer, con la máxima exactitud posible, la oferta y la demanda de planta forestal, nuestros competidores, así como las áreas cercanas a nuestro vivero donde, en los últimos años, haya habido más demanda.

A pesar del incremento de los costes que esto supondría, no hay que obviar la posibilidad de la venta de plantas a otras áreas geográficas con bioclimas similares.

### 2.3. Elección del emplazamiento del vivero

La elección de la ubicación del vivero vendrá condicionada por el análisis de los siguientes factores.

#### 2.3.1. Climatología

Cabe considerar que la producción de planta en vivero se realiza bajo unas condiciones controladas y que, por tanto, factores como la temperatura y el agua pueden ser modificados ante la necesidad.

Aún así, para evitar el riego artificial y/o la corrección de la temperatura mediante invernaderos o umbráculos, las condiciones climáticas de la zona de emplazamiento del vivero deben ser muy similares al del área donde se prevea destinar la planta para que, entre otros factores, después de la plantación, el porcentaje de marras sea el menor posible.

En cuanto a precipitaciones se refiere, se evitarán tanto las zonas con un régimen pluviométrico bajo como las de régimen alto por las dificultades que pueden generar en el momento de las siembras, en las propias labores de mantenimiento,...

El lugar de instalación del vivero deber ser abrigado evitando las temperaturas extremas. De este modo, temperaturas superiores a los 32°C ocasionan una parada vegetativa a la planta (Navarro & Pemán, 1997) e incluso daños en la superficie foliar por lo que hay que hacer uso de mallas de sombreo para evitar lesiones.

También se debe rehuir de las zonas con fuertes vientos por la interferencia que ocasiona en el sistema de riego, en la aplicación de fitosanitarios,...

### 2.3.2. Disponibilidad de agua

En primer lugar debemos comprobar si en las proximidades del vivero existen puntos de agua (manantiales o pozos) que puedan abastecer las exigencias de nuestro vivero y que, durante la poca seca, el caudal que circule sea suficiente.

La distancia de recorrido del agua, así como el tipo de suelo por donde circula es importante tenerlo en cuenta para evitar pérdidas por infiltración y evitar obras para su conducción.

Una vez realizado dicho análisis, se calcularán las necesidades hídricas previstas, es decir, la cantidad de agua necesaria en función de la evapotranspiración, del tipo de suelo y la capacidad de retención que éste tenga, de la superficie del vivero, que dependerá a su vez de la cantidad de planta a producir y de la técnica de cultivo (Navarro & Pemán, 1997).

Otra de las características primordiales es conocer su calidad en cuanto a concentración y composición de sales disueltas, contaminación biológica y contaminación por productos agrícolas.

### 2.3.3. Sustrato

Debido a las condiciones climatológicas tan adversas en Canarias, la producción de planta en envase forestal es lo más habitual. Las especies que más se suelen emplear en repoblaciones en Canarias son el pino canario (*Pinus canariensis*), así como especies de laurisilva y del bosque termófilo.

Para el pino canario, los envases forestales más utilizados son las bandejas termoconformadas de 300-400 cm<sup>3</sup> de capacidad y sustratos artificiales (lo más frecuente es emplear turba rubia - 50 ó 60% en volumen- y material inerte, tipo vermiculita, perlita o fibra de coco, que aporten aireación). En cuanto al fertilizante, éste debe ser de liberación lenta en una dosis estándar de 3 g l<sup>-1</sup> (Luis *et al.*, 2012).

Para especies de laurisilva como el viñátigo, los envases de 300 cm<sup>3</sup> son suficientes; sustrato, mezcla de fibra de coco o turba rubia de *Sphagnum* (85% en volumen) con perlita

(15% en volumen). Para la fertilización se suele emplear mezcla de sustrato con abono de liberación lenta de una duración de 12-14 meses (Naranjo, 2012).

#### 2.3.4. Otros factores a considerar

1.- Se evitará que el emplazamiento del vivero sea en las proximidades de zonas boscosas de igual especie que la que se esté cultivando, para eludir la contaminación con sus semillas.

2.- El vivero se ubicará en lugares donde el cultivo pueda recibir la luz solar durante la mayor parte del día.

3.- La infraestructura del vivero se asentará en terrenos con una pendiente inferior al 2% lo cual permitirá la fácil salida del exceso de agua.

4.- En cuanto a posiciones, las mejores son las medias de ladera o terrenos llanos.

5.- Importancia de la existencia de un buen acceso al vivero - amplio y con un pavimento en buen estado para favorecer la circulación de camiones - y cercano a la red de carreteras para facilitar tanto la entrada como la salida de material.

6.- Cercana a poblados a fin de obtener mano de obra y evitar la construcción de alojamientos.

## 3. Elección de la planta

### 3.1. Elección de la especie

El procedimiento a seguir es el que se expone a continuación:

1.- Identificación de alternativas. Basándonos en los datos de oferta y de demanda, obtenemos un primer listado de las especies susceptibles de ser cultivadas en nuestro vivero forestal. Seguidamente se relacionará la climatología exigida por estas especies con los datos climáticos de la zona de emplazamiento del vivero pues debe existir la mayor afinidad posible.

2.- Evaluación de restricciones impuestas por condicionantes, como por ejemplo:

- La ecología de la especie. La existencia de heladas o las temperaturas elevadas durante el verano desaconsejan la producción de ciertas especies.

- La mayor o menor capacidad de mecanización de las actividades de semillado o estaquillado para unas especies u otras pueden producir un aumento importante en los costes de producción.
- La dificultad de multiplicación de algunas plantas.
- Entre otras.

3.- Evaluación y elección de alternativas. Es aquí, donde, en función de los puntos 1 y 2, se extraerán las especies definitivas a cultivar.

### 3.2. Identidad del Material Forestal de Reproducción

Hecha la selección, el siguiente paso es determinar la identidad del Material Forestal de Reproducción (de aquí en adelante MFR).

En cualquier caso, el MFR siempre ha de garantizar la adaptación de la planta a las condiciones del medio donde va a vivir. Además, se pueden exigir otras características en base a los objetivos de la repoblación (protectora o productora) o de la restauración (hidrológico-forestal, de espacios degradados,...) por lo que el nivel de calidad y ganancia genética será distinto en todos los casos.

Una vez tengamos seleccionado el MFR se elige la Región de Procedencia (RP). El Real Decreto 289/2003, de 7 de marzo, sobre comercialización de los materiales forestales de reproducción, en su artículo 2 define Región de Procedencia para una especie o subespecie determinada como la zona o grupo de zonas sujetas a condiciones ecológicas suficientemente uniformes en las que se encuentran fuentes semilleras o rodales que presentan características fenotípicas o genéticas semejantes, teniendo en cuenta límites de altitud, cuando proceda.

Las fichas descriptivas de las Regiones para especies y características del MFR se pueden consultar en la web del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

El área de la RP del MFR debe coincidir lo máximo posible con la/s zona/s donde se prevea destinar la planta. A modo de esquema, los pasos a seguir son:

- 1.- Se confecciona la tabla con los datos de temperatura, temperatura media y precipitaciones de las RPs de las especies seleccionadas.
- 2.- Se elabora la misma tabla pero con los datos climáticos de la zona del vivero.
- 3.- Comparativa entre ambas tablas para extraer la RP con condiciones semejantes entre ambas zonas.

Cabe resaltar que en Canarias cada isla a menudo puede ser la Región de Procedencia para una especie en concreto (Anexo XI del Real Decreto 289/2003, de 7 de marzo, sobre comercialización de los materiales forestales de reproducción).

## 4. Uso de plantas en restauraciones

### 4.1. Introducción

El medio natural está sometido constantemente a una intensa actividad desarrollada por el hombre muy superior al que realiza la acción natural de la propia dinámica de la naturaleza (erosión hídrica, eólica, aludes,...) (Otero *et al.*, 1999).

Si bien es cierto que algunos ecosistemas degradados son capaces de recuperarse por sí mismos en un breve periodo de tiempo cuando se elimina el factor causante de la perturbación.

Pero cuando la velocidad de degradación del terreno es muy superior a la velocidad de recuperación, después de la perturbación nos encontramos ante un caso en el que la necesidad de actuar es primordial. Es entonces cuando entra en juego la Restauración, cuyo objetivo es el de devolver al ecosistema perturbado un estado lo más parecido posible a su condición natural, sin la necesidad de más intervenciones futuras mediante un conjunto de estrategias (Otero *et al.*, 1999).

He aquí algunos ejemplos de restauración:

- Restauración de hábitats degradados.
- Restauración en zonas mineras.
- Restauración de taludes, desmontes y zonas anejas a una vía de comunicación.
- Restauración de zonas con una alta tasa de erosión.
- Restauración de márgenes de ríos degradados.

### 4.2. Elección de especies

La elección de la/s especie/s para ser utilizada/s en las restauraciones es una decisión importante y delicada. Tal como se ha mencionado en apartados anteriores, no es suficiente con determinar las especies sino que también es necesario definir la procedencia del material ya que un error en ello podría comprometer el éxito de la plantación.

A modo de resumen, el proceso de elección de especies en un proyecto de restauración se divide en tres fases principales (Otero *et al.*, 1999):

- 1ª fase. Factores ecológicos.
  - Factores de hábitat. Se consideran aquellas especies cuyo hábitat natural tiene unas características semejantes al área a revegetar.
  - Factores climáticos y edáficos (véanse apartados 2.3.1. y 2.3.3.).
- 2ª fase. Factores biológicos.
  - Composición florística. Es requerido conocer tanto la vegetación potencial como la actual.
  - Crecimiento. En función del objetivo de la restauración se elegirán unas especies u otras. Así, por ejemplo, para la fijación de taludes se precisarán especies de crecimiento rápido.
  - Grado de protección. Ante un problema de erosión, las especies leñosas o herbáceas son las más indicadas por su mayor capacidad de fijación del terreno.
  - Compatibilidad de especies. Para evitar la competencia entre especies es necesario estudiar qué agrupaciones vegetales son las más acertadas.
- 3ª fase. Factores económicos y estéticos.
  - Factor económico. Para reducir costes, las especies seleccionadas deben localizarse en viveros cercanos a la zona a revegetar.
  - Factor estético. La integración ecológico-paisajística ha de estar asegurada.

### 4.3. Algunos ejemplos de medidas correctoras sobre la vegetación

#### Tratamientos de restauración de la cubierta vegetal en canteras

Las canteras, explotaciones de roca donde el aprovechamiento del mineral puede llegar al 100%, ocasionan numerosos problemas de carácter ambiental:

- Impacto atmosférico, por la emisión de gases y polvo.
- Impacto por ruido y vibraciones, producido por la utilización de explosivos.
- Impacto sobre las aguas como consecuencia de la propia alteración química del suelo mineral.

- Impacto sobre la tierra, por la pérdida de suelo vegetal y por los cambios en la morfología del terreno (alteraciones en la topografía).
- Impacto sobre la fauna y la flora, como consecuencia de la desaparición de la masa forestal y de la fauna asociada a ella (alteraciones en la cadena trófica).
- Impacto paisajístico-visual (fragilidad paisajística e impacto visual) (Figura 8.3).

El impacto que nos atañe en este capítulo es el que afecta a la vegetación. Así, las acciones correctoras o de recuperación son:

- Reinstalar el suelo vegetal.
- Primera siembra con herbáceas (principalmente, gramíneas y leguminosas por su excelente propiedad de fijar el nitrógeno) para conseguir una cobertura estabilizadora y disminuir el riesgo de erosión superficial así como la prevención de movimientos en masa.
- Introducción de especies leñosas y arbóreas una vez establecida la cubierta vegetal (se aconseja que las especies introducidas tengan unas características morfológicas y ecofisiológicas determinadas como ahora una propagación sencilla y rápida, un sistema radicular profundo, un rápido crecimiento,...).



Figura 8.3: Imagen del enorme impacto visual de la cantera de Pinos de Alhaurín de la Torre en Málaga (Fuente: [www.alhaurin.com](http://www.alhaurin.com)).



### **Tratamientos de restauración de la cubierta vegetal en vías terrestres de transporte**

Desde la aparición del automóvil las carreteras se han convertido en un bien de dominio público ineludible con grandes repercusiones ambientales (Otero *et al.*, 1999). Con los proyectos de restauración se pretende, por un lado, minimizar las alteraciones que se puedan producir, ocultando o enmascarando los efectos negativos, y por otro lado, conseguir la integración de la vía en el medio mediante la restauración de la cubierta vegetal.

Las acciones correctoras se dividen en dos fases (Otero *et al.*, 1999):

#### **1ª fase. Preparación del terreno**

Esta primera fase se compone de cuatro operaciones:

- 1.- Antes del inicio de las obras, es indispensable hacer un reconocimiento de la zona por si existiera algún pie que debiera permanecer por su interés. En caso de que así fuese, se procederá a su extracción y a su transplante. Seguidamente, se retirará la capa de tierra vegetal la cual se almacenará de tal manera que se evite su compactación y que no quede expuesta a contaminantes. Una vez finalizadas las obras, se realiza su extensión en taludes y desmontes.
- 2.- El siguiente paso es preparar el terreno para recibir a las plantas mediante una serie de laboreos previos tales como el escarificado, el subsolado y el ripado.
- 3.- Cuando nuestro terreno presente carencias de nutrientes o condiciones que dificulten la supervivencia de las plantas, las fertilizaciones y enmiendas entran en juego (enmienda orgánica o fertilización mineral).
- 4.- La corrección y protección de taludes cuando las posibilidades de movimiento son elevadas (Figura 8.4).

#### **2ª fase. Implantación de la vegetación.**

Las principales formas de implantación de la vegetación son:

- 1.- Siembra.
- 2.- Plantación.
- 3.- Técnicas de restauración de taludes mediante mallas orgánicas, mallas metálicas,...



Figura 8.4: Estabilización de taludes mediante revegetación (Fuente: [www.geobrugg.com](http://www.geobrugg.com)).

## 5. Caso práctico: Proyecto de repoblación forestal en el Paisaje Protegido de Pino Santo

### 5.1. Localización

La zona de actuación se ubica en el noreste de Gran Canaria, en las medianías de la isla, dentro del término municipal de Las Palmas de Gran Canaria.

La zona, caracterizada por una red de barrancos entre los que sobresalen por su desarrollo el del Acebuchal y el de Alonso-Guinguada, acoge, además de relictos de bosque termófilo, la especie vegetal catalogada en peligro de extinción retama peluda (*Teline nervosa*), recogida en el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas. Otra característica a destacar es una importante muestra de vulcanismo reciente.

Las actividades agrícolas, muy comunes en el lugar, y la existencia del jardín botánico “Viera y Clavijo”, también conocido como Jardín Canario, configuran un notable paisaje, limítrofe con lo urbano.

La repoblación se proyectó en una primera fase para un total de 210 hectáreas. Se realizarían 30 ha por año, con una duración estimada de la repoblación de siete años (2007-2013).

## 5.2. Objetivos

El objeto principal del proyecto fue la recuperación del bosque termófilo, mediante repoblaciones encaminadas hacia la consecución de masas forestales maduras a medio y largo plazo, de modo que se incrementara la calidad ecológica y forestal de las comunidades vegetales en madurez, diversidad y productividad; entre otros objetivos.

Las repoblaciones se proyectaron en cuatro zonas distintas:

### **Parque Periurbano de San José del Álamo**

Objetivos:

- Recuperación de bosque termófilo.
- Creación de sombra y mejora del paisaje para el disfrute de los visitantes del parque.

### **Presa de la Umbría**

Objetivos:

- Recuperación de bosque termófilo mediante repoblación con carácter protector (mejora de la estabilidad del terreno y por tanto, una disminución en la velocidad de colmatación de la presa).

### **Altos de Siete Puertas**

Objetivos:

- Recuperación de bosque termófilo y constitución de un cardonal-tabaibal.
- Evitar la erosión y la pérdida de suelo.
- Posible uso ganadero de la zona.

### **Altos de San Gregorio y El Talayón**

Objetivos:

- Recuperación de bosque termófilo con la consiguiente unión con la zona arbolada del Parque Periurbano de San José del Álamo, constituyendo una masa forestal aún mayor y con función recreativa.

### 5.3. Descripción de las soluciones adoptadas

En el diseño de la repoblación se tuvo en cuenta los siguientes aspectos:

- En laderas con fuerte pendiente y con presencia de afloramientos de roca madre no se planificó ninguna plantación.
- Para evitar un efecto de alineación excesiva y la competencia interespecífica se buscó la ubicación en bosquetes.

#### Tratamientos de la vegetación preexistente

##### 1.- Tratamientos sobre el eucalipto

Uno de los tratamientos silvícolas que se utilizaron para eliminar los ejemplares de eucalipto en la Presa de la Umbría fue el anillamiento. Se realizó en dos fases distintas para disminuir el impacto visual que puede llegar a generar su eliminación dentro de la masa. El otro fue la corta directa, con el objetivo de reducir el número de pies por hectárea.

##### 2.- Desbroce y eliminación de flora exótica

En distintas zonas, se ha llevado a cabo un desbroce manual y se eliminaron, de forma controlada, aquellas especies vegetales introducidas para favorecer el crecimiento de las especies termófilas plantadas. Entre ellas cabe destacar: pitas (*Agave americana*), tuneras (*Opuntia ficus-indica*) y rabo de gato (*Pennisetum setaceum*).

#### Preparación del suelo

La forma de ejecución del ahoyado fue manual, con dimensiones de 40 cm de diámetro y 50 cm de profundidad.

#### Repoblación forestal

El método de plantación empleado fue la plantación manual, con un marco de plantación al tresbolillo.

En cuanto a la densidad de plantación, el diseño estimó:

- Parque Periurbano de San José del Álamo: repoblación forestal de 700 pies/hectárea.
- Presa de Umbría: repoblación forestal de 700 pies/hectárea.
- Altos de Siete Puertas: repoblación silvo-pastoral de matorral con 2500 plantas/hectáreas. Las especies arbóreas en 16 a 25 bosquetes/ha.

- Altos de San Gregorio y El Talayón: repoblación forestal de 700 pies/hectárea.

Una vez finalizada la plantación, se completaría con un riego de asentamiento para terminar de compactar la tierra alrededor de las raíces, con objeto de eliminar las bolsas de aire que hubieran podido quedar, estabilizando la planta y dándole humedad inicial al sustrato. Con el fin de retener el agua de los riegos y captar el agua procedente de la escorrentía que pudiera aparecer durante las lluvias se realizó entorno a cada pie un alcorque o poceta.

### Protección

Como sistema de protección ante posibles daños por fauna y por vientos, se optó por la colocación de malla protectora, sujeta con tutores de bambú, de 50 cm de altura.



Fig. 8.5: Doble protección individual contra conejo y ganado en repoblación en San José del Álamo.

## 5.4. Especies seleccionadas

En el proceso de elección de especies se valoraron aspectos fitosociológicos, ecológicos y económicos, así como caracteres culturales de las especies.

Antes de su adquisición, se aseguró que las plantas hubieran sido sometidas a rigurosos controles que garantizaran la ausencia de enfermedades y/o plagas o cualquier tipo de malformación y se prestó especial atención al origen de la semilla, exigiendo una procedencia identificada.

Una vez analizadas las características de la zona, fundamentalmente las restrictivas condiciones climáticas, y sopesados los condicionantes del proyecto, las especies escogidas fueron las que conformaban el termófilo canario, es decir, acebuche, sabina, almácigo, drago y palmera canaria.

## 6. Bibliografía

- Ayala Carcedo, F.J. (1996). Manual de restauración y evaluación de impactos ambientales en minería. Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España.
- Ayala Carcedo, F.J. (1998). Evaluación y corrección de impactos ambientales Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España.
- Camara Obregón, M<sup>a</sup>.A.; Montoya Oliver, J.M. (1996). La planta y el vivero forestal. Madrid: Mundi-Prensa.
- Luis V.C., Pérez E., Velázquez C. y Naranjo J. (2012). *Pinus canariensis* Chr. Sm. ex DC. Pino canario. En Pemán J., Navarro R.M., Nicolás J.L., Prada M.A. y Serrada R (Coord.): Producción y manejo de semillas y plantas forestales. Tomo I. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Naranjo J. (2012). *Persea indica* L.: Viñático, viñático. En Pemán J., Navarro R.M., Nicolás J.L., Prada M.A. y Serrada R (Coord.): Producción y manejo de semillas y plantas forestales. Tomo I. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Navarro Cerrillo, R.M. y Pemán García, J. (1997). Apuntes de producción de planta forestal. Córdoba: Universidad de Córdoba.
- Navarro Cerrillo, R.M. y Pemán García, J. (1998). Repoblaciones forestales. Lleida: Universidad de Lleida.
- Navarro Cerrillo, R.M.; Pemán García, J.; Serrada Hierro, R. (2006). "Elección de especies en las repoblaciones forestales". URL: [www.inia.es/gcontrec/pub/087-102-\(29\)-Eleccion\\_1169111282265.pdf](http://www.inia.es/gcontrec/pub/087-102-(29)-Eleccion_1169111282265.pdf) [11/12/2014].
- Otero Pastor, I (Coord.); Monzón de Cáceres, A; García García, M; Casermeiro, A; Canga Cabañes, J.L. (1999). Impacto ambiental de carreteras: Evaluación y restauración. Madrid: Comunidad de Madrid.
- Quinteiro Yáñez, Y. (2006). *Proyecto de Repoblación forestal en el espacio natural protegido de Pino Santo*. Proyecto Interreg IIIB Açores-Madeira-Canarias SOSTENP 03/MAC/1.2/c2. 201 pp.
- Rodríguez del Rincón, A. y Toribio Mancebo, F. (1988). El vivero. Madrid: ediciones Mundi-Prensa.
- Ruano Martínez, J.R (2011). Viveros forestales: manual de cultivo y proyectos. Madrid: ediciones Mundi-Prensa.



## CAPÍTULO 9

---

# Replantaciones forestales

López Figueroa, Javier

### 1. Introducción

Las replantaciones forestales han experimentado una evolución positiva en los últimos años.

Los motivos de esta mejoría hay que atribuirla a múltiples factores, entre los que se encuentran:

1. Una producción de plantas en vivero de mayor calidad, con un buen sistema radicular en unos envases que evitan la espiralización que antaño producían las bolsas de polietileno con las raíces.
2. La elección de sistemas mecanizados con la utilización de la retroaraña, en lugares donde antiguamente el ahoyado manual era la única preparación posible del terreno, dando un salto cualitativo desde lo que supone una preparación puntual mecanizada a más profundidad y con mayor remoción de terreno, a una lineal, en el caso de banquetas, además, con corrección de la escorrentía.
3. La elección de la época de plantación a principios de octubre, y finalización a finales de noviembre de manera preferente, sobre todo en la vertiente sur de las islas. Se trata de que el sistema radicular profundice lo más posible antes de la llegada del período seco.
4. La introducción de los riegos de asiento y mantenimiento, y que fueron polémicos entre el colectivo forestal, partidarios unos de dejar la repoblación a su evolución natural entendiendo bien elegida las especies a repoblar, y los partidarios en que con la climatología real y no teórica, con periodos de sequía superiores a los 9 meses sin precipitaciones, y años hidrológicos por debajo de los 200 mm/anuales, hacían imposible bajar del 98% de marras.
5. La introducción en zonas de ganado guanil (cabras silvestres) y de pastoreo del doble protector (malla protectora, junto con malla metálica), para el caso del pino



canario y laurisilva, o malla metálica, para el caso del termófilo (acebuche, almácigo, sabina, etc.). Así como el establecimiento de acotamiento perimetral del ganado para determinadas zonas con problemas de sobrepastoreo y con riesgos erosivos, como se ha realizado en las fincas de San José del Álamo y Tirma (Gran Canaria), con un vallado cinegético, en una parcela de algo más de 3 hectáreas.

## 2. Ahoyado

### 2.1. Replanteo de los hoyos

El replanteo de los hoyos, ya sean para preparación manual o mecanizada, será al tresbolillo.

Para ello, precisamos de una caña con la medida de separación que se establezca en el marco de plantación, y de una bolsa con cal, o tubo de marcaje. Se realiza con dos operarios, donde uno se encarga de las mediciones con la caña y el otro del marcaje, donde se mueven en el monte según la curva de nivel, por ejemplo de izquierda a derecha. Una vez completada la curva de nivel de la parcela, los operarios bajan a la siguiente curva de nivel, partiendo de donde hayan terminado, para economizar el tiempo de trabajo.

Para el marcaje de esta segunda curva de nivel, atenderemos a corregir errores producidos por las ondulaciones del terreno (concauidades y convexidades). Para ello, una vez ubicados en la curva de nivel inferior, y colocados aproximadamente entre las dos marcas de la curva de nivel superior, buscamos la equidistancia, desde nuestra ubicación, y siempre con la caña en horizontal, para corregir la pendiente del terreno (las medidas teóricas sobre plano, son siempre en proyección horizontal), y marcamos. Nos desplazamos ahora de derecha a izquierda, y no ubicamos en la siguiente posición. Desde esta, medimos tres puntos para mayor exactitud, el anterior marcado en la misma curva de nivel, y los dos superiores.

En caso de inexactitud de ubicar el sitio, el criterio prioritario, será siempre el ubicarnos equidistante de los puntos ubicados en la curva de nivel superior, a fin de mantener el tresbolillo (mayor eficiencia en corregir la escorrentía).

En algunos casos se acortará la distancia en horizontal, en otras se alargará la misma. De esta forma, corregiremos errores, normalmente están entorno a los 50 centímetros de media.

El replanteo sobre el terreno es fundamental para cubrir los objetivos de densidad de la repoblación que queremos establecer. Éste es el aspecto más olvidado en la ejecución

de los trabajos, dejando los ingenieros directores de obra en manos de inexpertos capataces esta labor, que únicamente ejecutan con buena voluntad, pero sin criterio alguno, estableciendo un tresbolillo desvirtuado hasta el punto de hacerlo desaparecer, y creando, en muchos casos, calles según máxima pendiente y distribuciones irregulares en el terreno.

A modo de ejemplo, se tendría una desviación de la densidad media, donde las empresas contratistas tienden a reducir el marco de plantación establecido, incrementando la densidad en zonas de mejores suelos, y aumentar el marco de plantación en zonas con peores suelos, donde se da la paradoja, que son los de mayor riesgo erosivos, y donde si cabe la repoblación es más importante.

## 2.2. Ahoyado manual

El ahoyado consiste en la extracción de tierras mediante excavación de cavidades de dimensiones apropiadas para permitir el desarrollo y expansión holgada de las raíces del vegetal a instalar.

Los hoyos permanecerán abiertos al menos un (1) día antes de la ubicación definitiva de la planta.

Las obras se ejecutarán sobre el terreno natural. La apertura de los hoyos se efectuará cuando se hayan producido las primeras lluvias, es decir, desde mediados de octubre si se han producido lluvias suficientes o desde principios de noviembre si resulta un año seco, de forma que exista un mínimo de reserva de agua en el suelo, a fin de que la planta pueda comenzar a prosperar una vez que ha sido plantada.

Esto es siempre y cuando tengamos suficiente personal, o la superficie a repoblar no sea muy extensa. Todo ello en aras a culminar la repoblación preferiblemente entre principios de octubre y finales de noviembre.

En caso contrario, con grandes superficies o escasez de mano de obra, es preferible ejecutar los hoyos entre los meses de febrero hasta finales de junio, siendo los últimos meses más críticos en cuanto a dureza del terreno por la pérdida de tempero, y las condiciones de altas temperaturas en verano, sobre todo en vertientes sur.

El ahoyado manual se ejecutará con la herramienta manual, la azada.

Las dimensiones del hoyo será de 40 cm de largo por 40 cm de ancho por 40 cm de profundidad, siendo importante el efectuar el picado del fondo del hoyo, para permitir una mejor profundización del sistema radicular de las futuras plantas.

Cuando se proceda a su tapado, se cubrirá de tierra hasta la curva de nivel que pase por su centro, cuidando de no introducir piedras en el hoyo que superen los 5-6 cm de diámetro, a fin de que la superficie que hayamos preparado concentre una mayor cantidad de tierra posible.

El Ingeniero Director de las Obras podrá comprobar en cualquier momento la disposición y dimensiones de los hoyos, estableciendo para ello el método que crea conveniente. Si el hoyo está tapado con tierra, se podrá medir su profundidad introduciendo una vara reglada hasta que tope con el fondo.

Si el hoyo no está tapado con tierra, se podrá medir su profundidad introduciendo un cabo de madera reglado hasta que tope con el fondo, y la medida de la profundidad será la que resulte entre el fondo del hoyo y la cota del terreno que pase por la curva de nivel en el eje del mismo. Para los laterales basta con poner en horizontal dicho cabo reglado tal y como se observa en la imagen 8.

### 2.3. Ahoyado mecanizado con retroaraña

El ahoyado mecánico consiste en la apertura de hoyos sobre el terreno natural mediante maquinaria, con unas dimensiones de 60 cm de largo, por 60 cm de ancho, por aproximadamente 60 cm de profundidad.

En zonas con pendientes superiores al 30%, el único medio viable para realizar un ahoyado mecanizado es la retroaraña. Para ello, ha de cumplirse con los siguientes condicionantes técnicos:

- La retroaraña, por medidas de seguridad, irá acompañada durante la ejecución de los trabajos de un peón auxiliar.
- La tierra extraída de cada hoyo deberá depositarse en el mismo después de abierto.

Se tendrá especial cuidado durante las operaciones en causar el menor daño al regenerado.

En aquellos casos en los que el exceso de pedregosidad o pendiente imposibiliten el acceso del a retroaraña no se preparará el suelo de ninguna manera.

### 2.4. Banqueta mecanizada

El uso de la banqueta mecanizada se realizará cuando en una repoblación forestal se pretenda conseguir un doble efecto, por una parte una mayor captación de la aguas

de escorrentías, que por infiltración llegará a las nuevas plántulas y, por otra, como consecuencia de ésta, una menor erosión del suelo al disminuir la escorrentía.

A modo de ejemplo, para una repoblación con una densidad de unos 600 pies por hectárea, se instalarán sobre el terreno y con una distribución próxima al tresbolillo, banquetas de unos 5 metros de longitud, separadas entre sí unos 3,80 metros, tanto en sentido de las curvas de nivel, como en el de la máxima pendiente.

A la hora de replantar esta disposición sobre el terreno, se ha de tener en cuenta que para que no se produzcan desviaciones de la ubicación de las banquetas debido a cambios de orientación en la pendiente, se aplique la regla de que la banqueta aguas abajo se comienza a replantar a unos 40 cm, desplazados a la izquierda, respecto a la mitad de la banqueta superior. En la imagen 1, se observa el replanteo sobre el terreno y de la imagen 2 a la 7, se observan detalles de banquetas, el cazo abierto empleado, y la retroaraña. Hay que tener en cuenta, que en caso de profundidad de suelo, el cazo de la retroaraña profundiza en el suelo, su longitud total de unos 90 centímetros.

En cada banqueta se plantarán dos plántulas situadas a unos 4,40 metros. Éstas, a su vez se encontrarán a unos 4,40 metros de las plántulas situadas en la banqueta superior en inferior, respectivamente.

El procedimiento de plantación es prácticamente el mismo que se describe para el ahoyado manual, pero con una única diferencia. La retroaraña, tanto si prepara ahoyado mecanizado de unos 60x60x60, como si realiza banqueta no extrae la tierra del terreno, sino que la remueve con un cazo abierto con tres dientes.

Es por lo que se procederá a abrir únicamente el hueco con azada, con una altura en donde se pueda introducir el cepellón, más los 4 centímetros que necesitaremos para tapar el cuello de raíz y de ancho suficiente para que albergue las cuatro solapas desplegadas del protector.

### 3. Transporte de la planta

La planta será de forma general y salvo justificación expresa, de una savia. La procedencia de la planta de especies autóctonas será de material genético procedente de la Región de Identificación y Utilización 50E, Isla de Gran Canaria publicada por el Ministerio de Medio Ambiente.

Para las plantaciones se utilizará planta de calidad y especies adecuadas a la calidad de estación siguiendo los requisitos establecidos por la Directiva 1999/105/CE del Consejo, y

el R.D. 289/2003, de 7 de marzo, relativos a la comercialización y a las normas de calidad exterior de los materiales forestales de reproducción.

La planta se retirará de los viveros el día anterior a la plantación, o en su defecto será responsable de su mantenimiento la empresa ejecutora de las labores de repoblación.

Antes del transporte desde vivero hasta el lugar de plantación, se comprobará que el sustrato está húmedo, de no ser así, se dará un ligero riego a la planta.

El transporte se realizará en un vehículo adecuado, en el que no exista peligro de vuelco de las bandejas y daños a la planta. Es imprescindible que sea transportada en un camión cubierto para evitar la insolación directa y la desecación por el viento. Para minimizar los daños se deberá transportar con el cepellón húmedo.

La colocación en el camión será tal que no se produzcan desplazamientos de la carga durante el transporte. Los contenedores de los cepellones no deberán sufrir daños que supongan pérdida de tierra o que dejen las raíces al descubierto. En caso de colocar la planta en dos o más niveles, éstos deberán apoyarse en una estructura firme que evite daños a las plantas de los niveles más bajos.

La planta será descargada en un lugar de acopio habilitado para tal efecto, si es posible a la sombra y sin cubrir directamente ni almacenar de forma que se creen condiciones de estrés para la planta.

En la zona de acopio se procederá a la eliminación de aquellos ejemplares en los que se aprecien daños evidentes o malformaciones de raíz.

En caso de que lleguen a la obra plantas en contenedor sin la hidratación suficiente, se devolverán las mismas al vivero u lugar de acopio de la empresa para su urgente hidratación.

## 4. Aviverado de la planta

Una vez descargadas las plántulas en la zona se procederá a su aviverado, a fin de evitarles estrés y reducir finalmente el número de marras. Para ello, se agruparán y se mantendrán convenientemente húmedas y sombreadas, según las indicaciones del personal del vivero.

El aviverado es una operación que consiste en mantener la planta protegida de las condiciones climáticas adversas en la zona de la repoblación en el periodo que va desde su llegada a ésta procedente del vivero hasta su plantación definitiva. Las condiciones a lograr en el aviverado están encaminadas a mantener aquellas existentes en el vivero, fundamentalmente evitar la desecación, manteniendo la humedad del sustrato y con un

sombreado apropiado. En ningún caso permanecerá la planta en espera de plantación más de cuatro días.

La planta solo podrá ser acopiada en zonas llanas y evitando exposiciones de solana o excesivas insolaciones.

Durante el transporte a los rodales de plantación, se procurará el mantenimiento de la verticalidad de los envases para evitar desgarros, truncamientos y malformaciones.

Dado que durante los fines de semana no se trabajará, se extremarán las precauciones con la planta acopiada en el monte, esmerando el riego el viernes, antes del final de la jornada, para que las plántulas no sufran de estrés, sobre todo en condiciones de fenómenos meteorológicos adversos, por episodios de altas temperaturas y viento sur.

Las bandejas son reutilizables, por lo que deben ser manejadas con cuidado y devueltas al vivero.

## 5. Distribución manual de la planta

Conlleva a la distribución y descarga de las bandejas de una capacidad de 300 cc por alveolo para coníferas y capacidad superior de 400 cc para frondosas.

El objetivo de este apartado es la distribución de la planta en las zonas de repoblación por parte de un operario, según la distribución por especies en casos de más de una, siguiendo las instrucciones de su capataz, de tal forma que ningún hoyo o lugar de plantación quede aislado.

VARIABLES QUE AFECTAN A LAS UNIDADES DE OBRA: tipo de envase, la pendiente y dificultad del terreno.

## 6. Plantación

### 6.1. Plantación y tapado de hoyos

Consiste en trasladar la planta del contenedor en la que se ha cultivado al terreno natural, enterrando la raíz, naturalizando su situación en el terreno.

La plantación se deberá realizar en las épocas adecuadas para ello, que serán en función de la pluviometría del año en que se aborden las obras, en otoño, a ser preferible con tempeo. En todo caso, para un mejor arraigo de las plántulas, conviene realizar la

plantación a principios de octubre, ya que se cuenta con un riego de asentamiento, que garantiza condiciones óptimas más de un mes, a la espera de las precipitaciones, que son más frecuentes en las islas los meses de noviembre, diciembre y enero, con la planta sobre el terreno.

Se trata pues de que las nuevas plantas repobladas desarrollen cuanto antes su sistema radicular de cara a la estación seca, y que incrementen la tasa de supervivencia.

El método de repoblación será la plantación manual en todos casos. Los operarios colocan la planta en el hoyo previamente abierto y lo cierran y pisan quedando la planta colocada lo más verticalmente posible. A continuación se detallan los pasos a seguir.

Sobre los hoyos preparados previamente, se rellenan parcialmente unos 25 centímetros, procurando no introducir piedras de mayores de 5-6 centímetros.

La planta será extraída cuidadosamente de la bandeja, sujetando ésta por el cuello de la raíz (si esto no resulta fácil se puede empujar ligeramente el cepellón por el agujero inferior de la bandeja) y colocada a un lado de los hoyos. En todo momento se evitará que las raíces sufran daños. Si la planta queda a raíz desnuda al sacarla del envase, presenta daños evidentes o malformaciones, debe ser eliminada.

Se procede entonces a colocar la planta en el hoyo, para ello se sujeta el plantón por el cepellón o el cuello de la raíz, y se coloca cuidadosamente en el hoyo, de tal forma que ésta quede vertical.

A continuación, se procede al tapado con tierra hasta la mitad del cepellón, a fin de poder efectuar la siguiente operación de colocación del protector.

Los contenedores reutilizables se acumularán para su posterior recogida y evitar que se deterioren.

## 6.2. Colocación del protector

Tras el relleno de tierra hasta la mitad del cepellón, se procederá a la colocación de los protectores alrededor de las plantas.

Previamente a la colocación del protector, se tendrá que haber preparado las cuatro solapas que aparecen en el siguiente esquema y que servirán para dar estabilidad al mismo, una vez instalado (Figura 9.2). Estas solapas se crean mediante cuatro cortes de 10 cm en la base del protector. Además, también se prepararán los agujeros por los que se introducirán los tutores que asegurarán la verticalidad del protector.

Un aspecto importante a la hora de preparar los protectores es valorar la posibilidad de darles la vuelta a cada malla, de tal forma que quede la parte interior en el exterior, y una vez realizada esta operación se procedería a colocar los tutores.

Esta medida sirve para recuperar la forma volumétrica de la malla, dado que según se recibe del proveedor tiene una forma plana, y en la práctica al repoblar en numerosas ocasiones se observa que el protector en su parte superior se encuentra prácticamente cerrado, por lo que si no se corrige la planta presentaría dificultad en su crecimiento para salir por dicha apertura, pero presenta el inconveniente de que a la hora de desplazarlos por el monte, al ocupar mas volumen, se complica la operatividad.

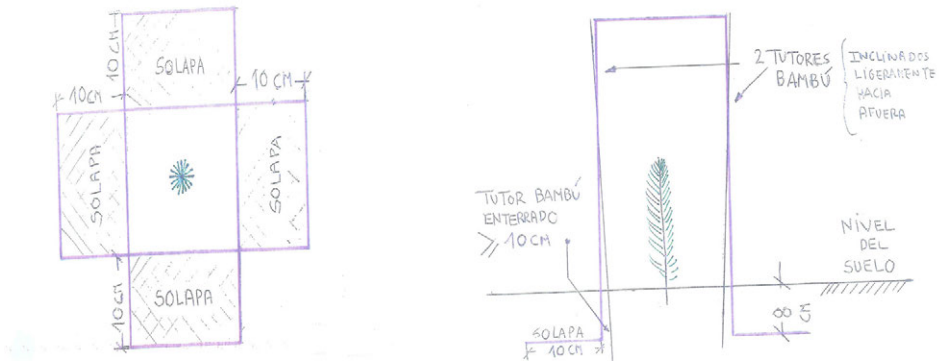


Figura 9.1: Instalación de malla protectora.

Se procede a colocar el protector individual con las solapas abiertas, asegurando que no se dañe las yemas terminales y no desequilibre la posición vertical del cepellón. Se evitará afectar al sistema radical de la planta durante la fijación del protector. Este se situará de tal forma que no impida el correcto desarrollo del vegetal al que protege, procurando centrarlo lo más posible.

Se procederá a colocar los tutores de bambú, enterrándolos como mínimo unos 10cm, ligeramente inclinados hacia fuera (divergentes), con el objetivo de evitar en lo posible el cerramiento de la malla protectora en su parte superior.

Ello es debido a que con el riego posterior (asentamiento), los tutores tienden a moverse hacia el interior de la malla protectora por la inercia de la propia malla a volver a su posición original (en caso de no haber invertido el protector).



El tutor atravesará la malla protectora al menos un par de veces a lo largo de toda su longitud y finalmente atravesará una de las solapas del protector para que quede fijado adecuadamente. Hay que comprobar que el dispositivo queda firmemente establecido.

A continuación se rellena el interior de la malla protectora con tierra vegetal, hasta unos 4 cm por encima del cepellón. En esta operación es importante depositar la tierra sobre la parte interna de los laterales y en el orden de un lado y su opuesto, para evitar desplazamiento del cepellón.

Este paso es de vital importancia para la supervivencia de las plantas repobladas. Hay que tener en cuenta que el sustrato utilizado en viveros (turba, fibra de coco, etc), tiene un alto poder de transpiración. Al estar este en contacto con la atmósfera (en caso de quedar al descubierto, o por encima del nivel del suelo) pierde rápidamente el contenido de humedad del cepellón y por ende se pone en peligro la supervivencia de las plántulas repobladas.

Una vez rellenado de tierra el interior del protector, y cubierto el cepellón, se procederá al tapado con tierra de las 4 solapas del protector hasta el mismo nivel en que se encuentra la planta repoblada y se asentará la tierra en torno al cepellón apelmazándola con el pie.

Resulta imprescindible que el protector se instale el mismo día en que se realice la plantación, de manera que no quede ninguna planta sin proteger una vez que se termina la jornada.

En las imágenes de la 9 a la 15, se observa dicha malla protectora.

La colocación del protector a posteriori, no es en absoluto recomendable, ya que en este caso para el tapado de las solapas del protector necesitaríamos un aporte extra de tierra, creando una doble poceta con dos niveles; la interna al protector a un nivel inferior y la exterior al protector con un nivel superior.

Si el nuevo relleno externo es excesivo, taparíamos más de lo debido el cuello de la raíz al igualarse con los posteriores riegos.

Si el nuevo relleno externo es por defecto (igual o menor a 4 centímetros), se producirá con los riegos posteriores y la climatología un descalce de las solapas, con riesgo de pérdidas del protector por el viento.

### 6.3. Elaboración de poceta y alcorque

Para cada ejemplar se realizará una poceta o alcorque. Esta poceta deberá ser capaz de contener la cantidad de agua que se vaya a aportar a la planta en cada riego hasta su completa infiltración, así como recoger y acumular el agua de las lluvias de precipitación directa o procedente de escorrentía (Figura 9.3).

La poceta, siempre y cuando se trate de terreno con pendiente y vista en planta tendrá una forma elíptica, y una superficie útil con un diámetro menor de 70 cm en sentido de la pendiente del terreno y un diámetro mayor de 1,30 cm en sentido de la curva de nivel.

En caso de terreno llano o en terreno con pendientes con preparación mecanizada con banquetas, la poceta deberá tener una forma cuadrada y con un marco de unos 70x70 centímetros útiles.

Se realizará una contrapendiente de 10% de desnivel, excepto en terreno llano, esto es, para una poceta de 1m de ancho, incluida el alcorque estaría unos 10 centímetros más bajo del nivel pendiente arriba, según esquema representativo que a continuación se expone (Figura 9.4).

El alcorque tendrá una sección de forma troncopiramidal, con la base inferior de unos 30 cm, base superior de unos 15 cm y de unos 15 cm de altura. Una vez dada la forma al alcorque, se compactará la parte superior del mismo mediante golpes de azada ligeramente inclinada hacia el interior de la poceta.

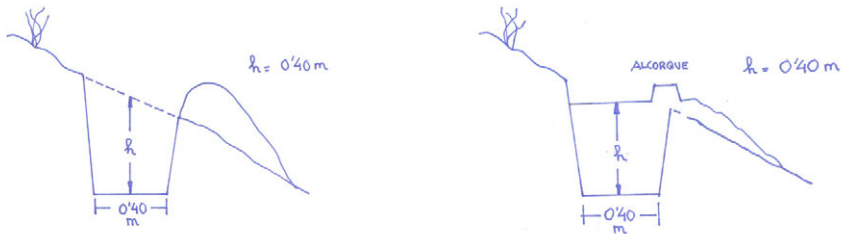


Figura 9.2: Alzado de hoyo y de tapado de hoyo con poceta para repoblación.

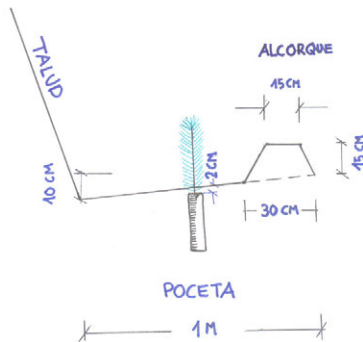


Figura 9.3: Detalle de poceta y alcorque.

El objetivo de la realización de la contrapendiente se considera fundamental por los siguientes motivos:

1. El hecho de tener contrapendiente aumenta el volumen de agua que la planta recibirá de manera natural con las precipitaciones, volumen que en el caso de no hacerse quedaría significativamente mermado por el desprendimiento de tierra que de manera natural se producirá en el talud resultante, que hemos creado.
2. Permite un mejor aprovechamiento hídrico por parte de la planta, ya que el agua presenta dos movimientos en el suelo; el vertical y el oblicuo, una vez que entre en contacto con zonas profundas e impermeables. El hecho de tener contrapendiente, favorece este último movimiento, al concentrar pendiente arriba mayor cantidad de suministro, humedad que con el paso de los días se transmitirá por capilaridad a través del cepellón y del futuro desarrollo radicular.
3. El hecho de almacenar mayor cantidad de agua dentro de la poceta y cercano al talud, permite una mejor conservación del alcorque realizado aguas abajo, sirviendo así para abaratar costes de mantenimiento de los mismos, en los posteriores riegos de mantenimiento, y a su vez, permanecerá la poceta operativa, una vez terminada la obra de repoblación.

#### 6.4. Colocación de malla metálica para el ganado

El objetivo del vallado es evitar la destrucción de la repoblación por parte del posible ganado, fundamentalmente guanil, asilvestrado, que se encuentre en la zona.

Se prepara un dado de malla de torsión simple de un metro de alto por un metro de ancho. El cerramiento de la malla, para formar un cilindro, se efectúa doblando la misma, y tras un ligero solape de los cortes, se unen ambos extremos, mediante unos 5 latiguillos, a partir de cada extremo y cada 25 centímetros (Figura 9.5).

En otros casos esta malla puede evitarse en caso de cerramientos cinegéticos, para acotamiento tanto del ganado guanil, como del ganado doméstico.

En las imágenes 13, 14, y 15, se observa el daño producido por el ganado guanil en repoblación de pino canario.

En las imágenes 16 y 17, se puede apreciar la dimensión de la huella de los ungulados.

La instalación en el terreno, se procede una vez establecida la nueva planta de repoblación, con o sin protector, estableciendo un perímetro alrededor de la planta coincidente con

el que forma la base de la malla metálica, de tal manera que quede enterrada unos 10 centímetros, por debajo de la cota del terreno. De esta forma la malla metálica de protección se afianza en el terreno, una vez efectuado el primer riego de asiento, que actúa cohesionando la malla con el terreno. De esta forma además, se protege frente a roedores como el conejo, al encontrarse estos con un obstáculo, al intentar escabar.

Para una mayor consistencia al empuje por herbívoros, se instalará un hierro corrugado, de unos 12 mm de diámetro que se enterrará como mínimo unos 20 centímetros. Este hierro se hará pasar al menos en tres ocasiones por la malla, (al principio, en medio, y al final), para hacerla solidaria a la misma, y evitar el movimiento independiente del conjunto malla-hierro corrugado.

En la imagen 9, se puede observar, un ejemplo con doble malla, en pino canario, resultando efectiva frente a los grandes herbívoros (cabra guanil). En algunos casos se llegó a observar deformaciones de la malla metálica producidas por ganado, sin llegar a afectar al repoblado.

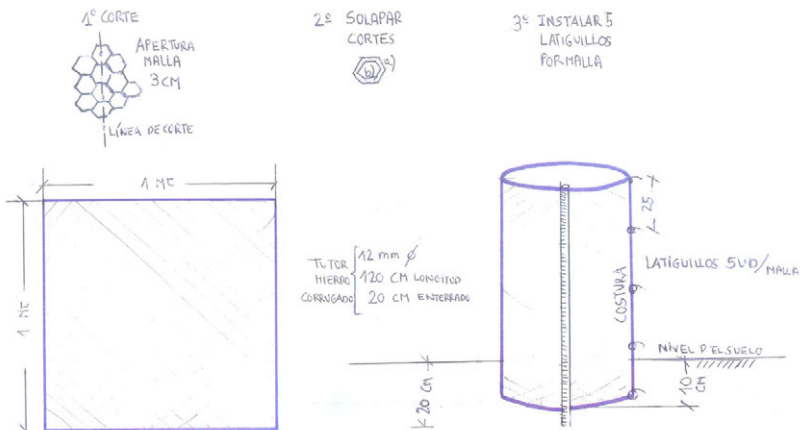


Figura 9.4: Instalación de malla metálica de protección frente al ganado.

## 7. Riego de las repoblaciones

En ciertas ocasiones, las duras condiciones climáticas de la zona de actuación aconsejan la realización de un riego de asentamiento en el mismo momento de la plantación o en los días inmediatamente posteriores, y su objetivo es estabilizar la tierra en torno a las raíces, eliminar los huecos que pudieran haber quedado, compactar la tierra, estabilizar la planta, así como aportar una humedad inicial que minimice el estrés producido por las operaciones realizadas y propicie el inicio de la actividad vegetativa.

Los riegos podrán realizarse mediante camión de cuba, equipado con una motobomba y dos mangueras asistidas por dos peones que permita realizar el riego en los puntos más elevados del terreno. En su caso, también se puede hacer uso de tanques o depósitos flexibles complementarios a ubicar en zonas óptimas para aprovechar la gravedad o impulsadas por bombas que permitan llevar a la punta de las mangueras de riego el caudal y la presión óptima para el riego de las plantas.

Se asegurará que toda el agua que se aporte en los riegos quede contenida en la poceta. Si la manguera con la que se aporta el agua tuviera gran presión se deberá prestar atención en no producir descalces en la planta, para lo que se evitará el contacto directo del chorro de agua con el cuello de la raíz.

### 7.1. Riegos de asentamiento

Los riegos de asentamiento son los aportes de agua que de manera artificial se realizan a las plántulas una vez acabada la fase de plantación en el otoño o primavera.

Se aplicará a las repoblaciones un riego de asiento de 50 litros, y se dará como máximo al día siguiente a la plantación, con la única excepción de que haya tempero suficiente, en cuyo caso se podrá dejar pasar unos días, a criterio de la Dirección de Obra.

Este tipo de riego es recomendado por varias circunstancias:

En la plantación, para evitar que queden huecos libres de tierra que puedan producir pudriciones en la raíz.

Para que el cambio que sufre la planta al pasar del vivero al terreno sea paulatino, es decir, que encuentre un terreno húmedo, y también para que el terreno que hay alrededor de la raíz esté suelto y las raíces tengan facilidad de penetrar en él.

## 7.2. Riegos de mantenimiento

Los riegos de mantenimiento son los aportes de unos 30 litros de agua de manera artificial que se realizan sobre las plántulas que han pasado fase de implantación, se aplican en épocas previas al estío o durante el mismo.

Se utiliza para ayudar a la planta a superar el estrés hídrico durante el primer año de plantación, si las condiciones climáticas del terreno donde se realizan las plantaciones así lo impone.

Se establece un número de riegos variables según la meteorología, pudiendo llegar a los seis o siete riegos, si el invierno no ha sido favorable.

Los riegos estivales, en los meses de julio y septiembre, excluyendo el mes de Agosto, a fin de que las plántulas se adapten al entorno seco, y paren su crecimiento vegetativo.

Durante los meses de calor en ningún caso se regará en las horas de máxima insolación.

En la imagen 18, se observa un depósito flexible de 10.000 litros de capacidad utilizado para el riego de las repoblaciones y en la imagen 19, como se procede al riego.

## 8. Bibliografía

Directiva 1999/105/CE del Consejo, y el R.D. 289/2003, de 7 de marzo, relativos a la comercialización y a las normas de calidad exterior de los materiales forestales de reproducción.

## Anexo fotográfico



Imagen 1: Marcaje de las banquetas de 5 metros para la retroaraña.



Imagen 2: Detalle de cazo abierto de la retroaraña con 90 centímetros de longitud.



Imagen 3: Realización de banqueta con la retroaraña



Imagen 4: Detalle de la banqueta en terreno con pendiente. Finca de Tirma 2013-2014.





Imagen 5: Conjunto de banquetas en terreno con pendiente. Finca de Tirma 2011-2012.



Imagen 6: Retroaraña en la Finca de Tirma 2013-2014.



Imagen 7: Retroaraña en la Finca de Tirma 2013-2014.



Imagen 8: Detalle de hoyo manual, superando los 40x40. Finca de Tirma (Parcela V) en la campaña 2008-2009.



Imagen 9: Repoblación con doble protector 2009-2010.



Imagen 10: Repoblación en banquetas en la Finca de Tirma 2009-2010.



Imagen 11: Repoblación en Tirma 2013-2014, tras un año de la plantación.



Imagen 12: Repoblación en Tirma 2013-2014, tras un año de la plantación.



Imagen 13: Repoblación en Tirma 2013-2014, tras un año de plantada, con daños por ganado guanil. Se observan las huellas de los ungulados y el corte de la yema terminal. Comparando con las imágenes 11 y 12, se aprecia la pérdida de altura del pino tras el corte por parte del herbívoro.



Imagen 14: Detalle del corte por parte de ganado guanil en yema terminal de pino canario.



Imagen 15:Detalle de los múltiples brotes (7), generados tras el ataque del ganado guanil. Se observa en los brotes generados un segundo corte, de ellos saldrán, otros 2 brotes como media. Tras este segundo corte habrá unos 14 brotes con el consiguiente retraso en el crecimiento y graves perjuicios en la evolución de la planta, que si son reiterados no pasará de ser un bonsai.



Imagen 16: Detalle comparativo de la huella dejada por cabra guanil.

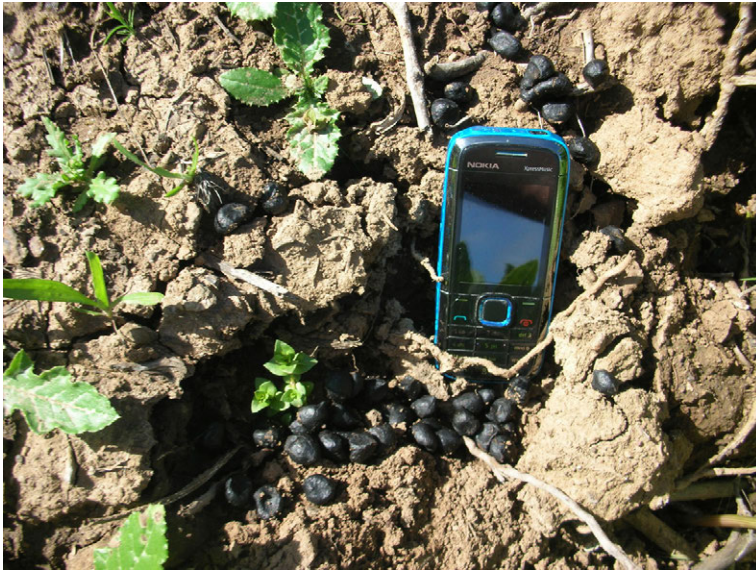


Imagen 17: Detalle comparativo de los excrementos de cabra guanil.



Imagen 18: Depósito flexible de 10.000 litros de capacidad en la Finca de Tirma. 2009-2010.



Imagen 19: Riego de asiento. Repoblación en Tirma 2013-2014.





## CAPÍTULO 10

---

# Cuidados culturales y trabajos complementarios

Naranjo Borges, Jorge

## 1. Introducción

Cuando concluye el acto de plantación, comienza el mantenimiento y seguimiento de las repoblaciones forestales. Los cuidados culturales comprenden pues los trabajos realizados en los siguientes años a la plantación y que tienen por objeto ayudar a que esté instalada en el monte una masa arbórea. Según Burschel y Huss (1987) es el momento de mejorar una repoblación eliminando plantas deformes, así como de arreglar la mezcla de especies. La creencia de que el trabajo ha acabado o de que la repoblación se mantiene por sí sola es un grave error. La falta de mantenimiento de una repoblación puede llevar al traste años de planificación y gestión, y con ello la pérdida de una cuantiosa suma de dinero. Por este motivo, desde un primer momento los repobladores deben de informar a sus superiores de las partidas presupuestarias necesarias para consolidar las repoblaciones forestales. Según el tipo de ecosistema, según la calidad de estación y dependiendo de la meteorología, especialmente de los años con abundancia de precipitaciones, se podrá dar antes la consolidación de una plantación. En los casos, en los que se opte por una repoblación con fines exclusivos de restauración forestal se puede dar por concluida cuando se observa la regeneración natural de las especies repobladas. En los casos, en los que se opte por llevar a cabo tratamientos selvícolas, se puede concluir con el comienzo de los clareos. En cualquier caso, sería prudente presupuestar de 5 hasta 10 años con una disminución progresiva en la intensidad del mantenimiento. Si bien, al realizarse casi todos los cuidados posteriores a la repoblación planta a planta, hay que intentar reducirlos al máximo, pues son actuaciones que casi siempre son manuales.

## 2. Protección individual de las plantas

Desde las primeras repoblaciones forestales, efectuadas en Canarias por el Patrimonio Forestal del Estado a finales de los años 30 y principio de los 40 del siglo pasado, hasta nuestros días, se ha tenido presente la necesidad de proteger individualmente las plantas.

La protección de los primeros pinos plantados iba encaminada a proteger las plantas de la excesiva insolación y del ramoneo de los conejos. En la actualidad, seguimos tratando de proteger a las plantas, buscando un aislamiento que proporcione cierta sombra y evite el ramoneo.

Eso sí, los materiales empleados y la forma de proteger las plantas han variado. En los inicios, con las propias piedras del lugar se llevaban a cabo pequeños castilletes (goros de piedra) alrededor del pino. Más tarde se pasó a “tejer” protectores de alambre. Por último, se ha extendido la importación de mallas plásticas biodegradables que se sostienen con tutores. También ha habido tiempo para experimentar con repelentes químicos o tubos cilíndricos perforados (o sin perforar) que no han dado buenos resultados (Naranjo, 2002).

Cada método empleado para proteger las plantas tiene sus propias ventajas e inconvenientes, pero en todos casos es necesario el mantenimiento. En el caso de los goros, el tronco de los pinos puede terminar incrustándose en las piedras, de tal forma que si pasan muchos años las piedras no pueden ser separadas de manera manual. Algo parecido ocurre con los alambres; debido al crecimiento secundario de los árboles, el alambre termina formando parte del tronco (Figura 10.1). Incluso la excesiva ramificación baja de algunas especies lleva a la incrustación de las ramas en la malla plástica. También la falta de mantenimiento de los protectores al inicio lleva a veces a malformaciones, porque factores como el viento pueden tumbar los protectores impidiendo el crecimiento vertical de las plantas. El reconocimiento periódico del repoblado debe pues ir encaminado a eliminar, sustituir o acondicionar aquellos protectores que lo requieran.

Los conejos y cabras seguirán produciendo problemas en las plantaciones, por lo que en las repoblaciones forestales no se podrá prescindir de los protectores individuales. Existen, no obstante, unas pocas excepciones de especies no palatables (p. ej. cardón o viñátigo) que no requieren protección contra ramoneo. La malla plástica, pensada para especies de rápido crecimiento de latitudes templadas, se ha adaptado bien a especies canarias con dominancia apical. Para aquellas especies con ramificación baja, la protección ancha con tela metálica desde la base es una mejor solución, aunque podría prescindirse de ella si se actúa periódicamente con poda de guiado. Para las especies no palatables, la poceta protegida con piedras ayuda a mantener el suelo y al seguimiento de la repoblación.

En el futuro, habrá que seguir trabajando en la búsqueda de protectores reutilizables o biodegradables y que a la vez permitan condiciones de sombra. Sin embargo, algo de mantenimiento será siempre necesario. El tiempo de permanencia de los protectores variará dependiendo si se existe amenaza de conejo o cabra y de si también la corteza es apetecible (p. ej. til y palo blanco).



Figura 10.1: Alambre fijado al tronco de un árbol procedente de repoblación.

Mención especial merecen los lugares muy ventosos, especialmente en Lanzarote y Fuerteventura, donde la evapotranspiración es muy alta y la acción mecánica del viento constante. En estos lugares debería pensarse en cortavientos o en muretes semicirculares tal y como se practica en la agricultura de las islas.

### 3. Reposición de marras

Consiste en la sustitución de plantas muertas en los años inmediatos a la plantación. El proyecto deberá fijar el porcentaje de marras admisible en función de la densidad inicial de plantación, el tipo de especies utilizadas y el objetivo de la repoblación. Normalmente, la reposición de marras se justifica cuando las pérdidas son superiores al 10% (Lamprecht, 1986; Serrada, 1993). El porcentaje de marras establecido para latitudes templadas, poco tiene que ver con nuestras condiciones climáticas. En Canarias, a menudo habría que contar con un 30% de marras en los presupuestos.

Las marras se pueden reponer hasta el 3er o 4º año de la plantación con especies de crecimiento lento, que son la mayoría de las especies autóctonas. Con especies de crecimiento rápido, las marras se deben reponer al año siguiente de la plantación. Las

plantas no obstante, han de tener el porte de las repobladas para lograr estar en las mismas condiciones de competencia. A partir de entonces conviene asumir que tras las siguientes sequías estivales cabe esperar que el porcentaje de pérdidas siga en ligero aumento hasta que llegue a estabilizarse con los años (Tabla 10.1).

Durante la reposición de marras es el momento de seguir gestionando las masas mixtas allí donde proceda. Es el momento de observar cómo han quedado los bosquetes de las distintas especies y actuar según las directrices del Plan Forestal de Canarias (1999). Allí donde hayan quedado huecos se plantarían aquellas plantas de acorde a las especies del bosquete.

En el supuesto de elevadas marras hay que investigar los motivos de las pérdidas. Puede que se trate de unas condiciones climatológicas adversas extremas, pero puede también que sean por algún fallo en las técnicas empleadas o qué las condiciones de la estación forestal no sean óptimas. Por tanto, en la reposición de marras también se puede aprovechar la ocasión para cambiar de especie si se comprueba que ese es el motivo de las marras.

Tabla 10.1: Porcentaje de supervivencia en una plantación experimental de 150 laureles durante los primeros años.

Año	0	1	2	3	6	7
Plantas	150	140	131	129	122	114
Supervivencia	100%	93%	87%	86%	81%	76%

## 4. Riego

El factor limitante en el arraigo de las plantas en Canarias es el agua, debido a los largos períodos de sequía estival. Incluso plantando en otoño, el riego está cada vez más aceptado por los repobladores y, por tanto, presupuestado en los proyectos. Asimismo, está igualmente aceptado que el riego no puede convertir una repoblación forestal en un jardín con un suministro de agua constante. En general, se persigue con él suavizar las condiciones de establecimiento, pero sin alterar considerablemente los ciclos fisiológicos de las plantas. El riego debe entenderse, por tanto, como una técnica de mantenimiento durante los primeros años, con el fin de que las plantas arraiguen y sean capaces de sobrevivir por ellas mismas.

Según el tipo de riego, éste se puede dividir en riego de asentamiento, mantenimiento y producción. El riego de asentamiento se puede prescindir siempre y cuando se haga coincidir la plantación con las primeras lluvias y el suelo reciba la suficiente cantidad de agua. El riego de mantenimiento se prolonga unos pocos años hasta que las plantas estén adaptadas a su entorno. Por último, el riego de producción en las plantaciones forestales se prolonga en el tiempo, pues busca los mayores crecimientos de las plantas con fines productivos.

Riegos en zonas costeras de las islas y en zonas interiores de las islas orientales resultan necesarios durante las primeras edades y durante las largas sequías estivales. No obstante, existe la excepción con aquellas especies crasas que pierden la hoja en verano. Así el riego de tabaibas no se justifica en verano, pues alteraríamos su ciclo fisiológico. En este caso se aconseja regar en otoño simulando las primeras lluvias o, en primavera, simulando las últimas lluvias.

En el resto de los casos, se podrán realizar riegos de asentamiento y mantenimiento durante el período de sequía estival. Simular el atraso de la primavera y el adelanto del otoño, pero a la vez dejando un cierto período sin riego simulando un verano real, puede ser contraproducente cuando las plantas no tienen un sistema radical desarrollado. El número de riegos se hará en función de las disponibilidades hídricas. El sistema de riego se realizará mediante camiones cuba, depósitos fijos o móviles o instalación de sistema de riego. Los riegos deberían llevarse a cabo en días sin viento y en horas tempranas del día o a última hora de la tarde para evitar las horas de mayor evaporación. A menudo se presupuestan en los proyectos 30 litros por planta y riego, si bien en el caso del cardonal-tabaibal se puede reducir a 10 litros por planta y riego.

Además de la plantación, las instalaciones anejas necesitan un mantenimiento, pues los goteros pueden quedar obstruidos, o las tuberías rotas o roídas. Poco sentido tiene invertir una cuantiosa suma de dinero en una instalación que no cumpla con los riegos establecidos. Tampoco tiene sentido dejar sin uso las instalaciones de riego, por lo que tuberías y depósitos deberán retirarse consolidada la plantación.

## 5. Poda de guiado

No se deben iniciar antes del tercer año de la plantación. Este tipo de podas pretende favorecer la dominancia apical para lo cual se suprimirán las guías dobles y las ramas laterales de gran desarrollo próximos a la guía principal. La poda debe hacerse lo más cerca posible al tronco y embadurnar el corte con fungicida, con objeto de evitar la invasión de enfermedades criptogámicas.

Se recomienda en especies arbóreas que por diferentes motivos (mal formación, ramoneo, estrés hídrico, exceso de insolación) no crecen en altura sobre un solo tronco. Es frecuente en frondosas, sobre todo en especies del termófilo (acebuche, almácigo, palmera) y en algunas especies del monteverde (faya, laurel, viñátigo).

La poda de guiado durante los primeros años de mantenimiento de una repoblación se ha de contemplar como una inversión rentable a largo plazo. Cuanto mejor sean las condiciones de la estación, más favorecerá la poda el crecimiento en altura, lo que supondrá un menor periodo de exposición al ramoneo de herbívoros y al de competencia con el estrato herbáceo (Figura 10.2).

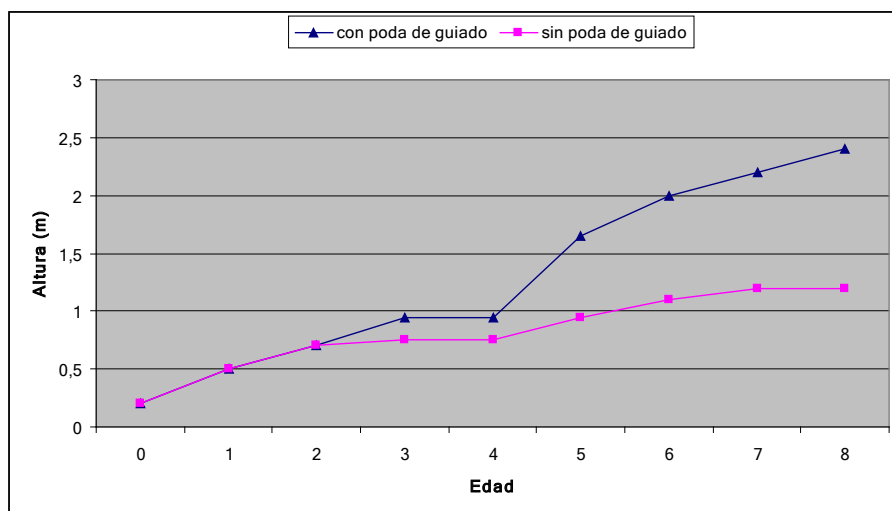


Figura 10.2: Comparación del crecimiento medio en viñátigos durante 8 años en superficie desarbolada en ladera, con poda y sin poda de guiado, sobre una muestra de 39 individuos (Naranjo, 2012).

## 6. Desbroce y escardas

Estas operaciones no son necesarias en caso de que el desarrollo de la vegetación accesoria sea lento después de la repoblación, como será el caso de estaciones con suelo y clima desfavorables. En las estaciones con suelo y clima favorable, especialmente en la vertiente norte de las islas centrales y occidentales, la vegetación accesoria puede desarrollarse

hasta el punto de entrar en competencia por el agua y la luz con la repoblación, además de aumentar el peligro de incendios. La falta de desbroce o escardas lleva a que las plantas no reciban luz, se deformen o permanezcan años muy debilitadas bajo excesiva sombra. El desbroce, manual o mecánico, trata de eliminar todo ese matorral que entra en seria competencia con el repoblado en medianías y cumbres. El primer desbroce se suele realizar con motodesbrozadoras por fajas a una misma cota antes de la primera plantación. Los desbroces se deberán repetir hasta que las plantas hayan crecido lo suficiente en altura, de tal forma que el estrato herbáceo ya no compita por la luz.

Una alternativa al desbroce es la aplicación de escardas. Las escardas se pueden ejecutar manualmente cavando con azada alrededor de cada planta, aplicando herbicidas selectivos o evitando el desarrollo de las herbáceas colocando plásticos alrededor de la planta (Lamprecht, 1986; Serrada, 1993). Especialmente indicado es este método en helechales y zarzales (Figura 10.3). Se puede hacer uso de materiales biodegradables para lo cual se requerirá menos mantenimiento. En el caso de que no se usen materiales biodegradables, habrá que volver a la repoblación a retirar y eliminar los materiales empleados. La técnica de empleo de plástico u otro material para evitar el desarrollo de las hierbas también es conocida como acolchado.



Figura 10.3: Ejemplo de acolchado en helechal.



## 7. Recalce o aporcado

En los sitios en que el viento sopla con frecuencia e intensidad, el movimiento oscilatorio del tallo de la planta introducida sobre un terreno recientemente removido, provoca un hueco en forma de cono invertido alrededor del cuello de la raíz. Esto resulta inconveniente por producirse desecaciones en la zona cercana al sistema radical y por los daños que la insolación y el calentamiento provoca en el cuello de la raíz. Este problema se resuelve aportando tierra manualmente con azada sobre la zona afectada, conociéndose la operación como recalce o aporcado (Serrada, 1993).

En las islas orientales y en zonas costeras del resto de las islas el viento sopla con intensidad y regularidad y, por tanto, donde cabe esperar con mayor frecuencia la necesidad de llevar a cabo el recalce en las repoblaciones.

## 8. Repoblación bajo cubierta

La repoblación bajo cubierta es uno de los tres tipos de repoblación forestal que define el Plan Forestal de Canarias (1999). Este tipo de repoblación es apto para las especies de sombra y media sombra, las cuales están presentes en el monteverde (Naranjo, 2013). Las especies de sombra y media sombra cuando son plantadas en superficies desarboladas sin la protección del dosel arbóreo ralentizan su crecimiento. Sin embargo, la repoblación bajo copa sin su debida gestión, puede asimismo estancar el crecimiento de las plantas.

La cantidad de radiación fotosintética activa que llega al suelo se puede observar fácilmente atendiendo a la cantidad de plantas que habitan el estrato herbáceo. Dependiendo de la radiación que llegue, el mantenimiento de la repoblación varía. Bajo un dosel cerrado se genera un microclima con poca competencia herbácea y menor temperatura que en el exterior, pero donde no se potencia el crecimiento en altura de las plantas. A medida que se abre el dosel y entra la luz, el repoblado comienza a crecer en altura en búsqueda de más luz. En la Figura 10.4 se observa como desde el segundo/tercer año puede haber un crecimiento anual regular en altura en diferentes individuos de palo blanco repoblados bajo copa. No obstante, al sexto/séptimo año se comprueba que el crecimiento de un individuo (Pb4) puede llegar a ser el doble que el de otro (Pb6) atendiendo a mejores condiciones de luz y sombra.

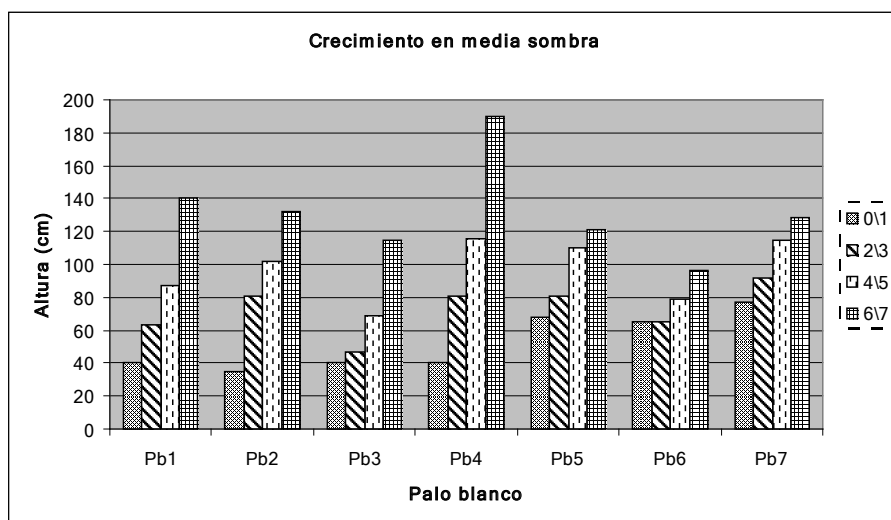


Figura 10.4: Crecimiento en altura de siete individuos de palo blanco (Pb1-Pb7) plantados bajo copa, durante un período de seguimiento de 7 años.

Si se planta bajo comunidades arbustivas de especies pioneras de cortos períodos de vida (p. ej. codesares), los trabajos de mantenimiento son menores y se puede esperar a que una comunidad (el repoblado) sustituya a la otra (el codesar) en unos años. En la mayoría de los casos se ha de abrir el dosel a través de podas y apeos de árboles o arbustos.

La primera tala para abrir huecos o “gaps” en el dosel puede llevarse a cabo antes de la plantación, con el fin de evitar daños en el repoblado. Bajo los huecos se procede a plantar. En las siguientes podas y apeos se ha de prestar especial atención para causar el menor daño posible a las plantas establecidas. Los huecos no deben abrirse en exceso, con el fin de impedir la proliferación de hierbas y de que permanezcan las condiciones microclimáticas adecuadas de media sombra.

A tenor de los crecimientos de las plantas y del temperamento de las especies del dosel varía el mantenimiento de la repoblación. Así bajo retamares el período de mantenimiento es más corto que bajo pinar o frondosas introducidas (castaño, olmo). Bajo castañares y olmedas las talas son más puntuales que bajo pinar, pues los bosquetes de hoja caduca permiten al repoblado mayores crecimientos durante el período de invierno (Figura 5).



Figura 10.5: Repoblación de monteverde bajo olmeda.

## 9. Seguimiento y control

El seguimiento de una repoblación se justifica en base a lograr una mejor gestión forestal en el futuro. Un seguimiento adecuado con un control de crecimientos y marras determina el acierto en la elección de especies y ayuda a conocer la calidad de la estación forestal. Averiguar únicamente el porcentaje de marras, con el fin de conocer el porcentaje de éxito de una repoblación no es suficiente para conocer la calidad de estación. No sería la primera vez que tras un seguimiento de una década, el porcentaje de éxito fuera relativamente alto pero con unos arbolitos tipo bonsái. Por ello, durante el control de seguimiento se debe medir al menos la altura, y si el presupuesto lo permite, sería aconsejable estimar el incremento de biomasa. Con el tiempo, la obtención de datos ayudará a relacionar la mejor adaptación y mayor productividad del repoblado con la procedencia del material genético, de tal forma que los gestores podrán recomendar un material de base procedente de una determinada fuente semillera, rodal selecto o huerto semillero.

El seguimiento de las repoblaciones a través de simples observaciones visuales lleva a errores subjetivos. A menudo se aprecian con facilidad las plantas vivas, pero no nos percatamos de las pérdidas que ha habido. Por lo tanto, toda repoblación forestal de cierto tamaño debería contar en sus orígenes con parcelas de control, en las que a partir del segundo verano puedan tomarse las primeras mediciones. En caso contrario, conviene

realizar el seguimiento en pequeñas parcelas distribuidas al azar a través de un sistema de muestreo (Figura 10.6). El tamaño de la parcela dependerá del marco de plantación inicial, a mayor densidad de plantación menor tamaño de la parcela.

La gestión de fondos públicos, a menudo escasos, aconseja fijar unos objetivos. Alcanzar unos objetivos mínimos, que puedan establecerse por ejemplo en un 50% de arraigo, obliga a cuantificar ese porcentaje de arraigo. El cumplimiento de los objetivos ayuda a mejorar la gestión pues se ajustan presupuestos y se solicitan inversiones acordes a la realidad.

En la práctica se ha demostrado que la existencia de protectores individuales o gorros aceleran y aseguran el proceso de seguimiento y control.

Por último, el historial del seguimiento y control debe incorporarse al expediente de la repoblación para ponerlo en conocimiento de los futuros gestores.



Figura 10.6: Seguimiento del porcentaje de marras a través de un muestreo.

## 10. Ataques y enfermedades

Cuando se efectúe un seguimiento sobre una parcela repoblada conviene observar el estado de salud de las plantas, independientemente de la obtención de datos sobre el arraigo.

En principio, en Canarias no cabe esperar plagas en condiciones normales en las repoblaciones forestales. La mayoría de los ataques producidos por insectos son de carácter puntual y asociados a la debilidad o el estrés que sufren las plantas durante

una sequía. Los insectos suelen ser especies introducidas asociadas a la agricultura y jardinería (trips, cochinillas, pulgones). Hay que prestar especial atención en el caso de que una planta atacada y muy debilitada sea un posible foco de expansión hacia el resto de la plantación que también se encuentra estresada. En este caso, lo mejor es eliminar rápidamente el posible foco de expansión.

Un caso especial es el de la palmera canaria. La importación de palmeras con la introducción de plagas peligrosas (picudo negro y picudo rojo), asociado a prácticas inadecuadas y plantaciones fuera de lugar sí que pueden poner en peligro palmerales naturales y repoblaciones forestales.

Con respecto a las enfermedades, son las provocadas por hongos del tipo *Fusarium* o *Verticillium* las que acaban con diferentes especies sensibles (barbusano, madroño, viñátigo) al causar una traqueomicosis. Para evitar la fusariosis o verticiliosis se debe evitar plantar las especies susceptibles a estas enfermedades en suelos arcillosos.

Largas sequías que se prolongan más allá de la época estival han derivado en algunos casos en un fenómeno conocido como sequía fisiológica o muerte súbita (Figura 10.7). En este caso la planta sufre una especie de colapso y muere en pocos días. Las repoblaciones forestales son especialmente sensibles a este fenómeno y es cuando más pérdidas se contabilizan. Con el cambio climático puede que se repitan con mayor asiduidad.

Ante los problemas provocados por ataques y enfermedades no existen ni métodos curativos ni presupuestos para grandes riegos. Por tanto hay que actuar de manera preventiva. La experiencia acumulada junto a las observaciones realizadas y posibles estudios determinará la debida elección de especies para no repetir fallos.



Figura 10.7: Laurel repoblado muerto tras sequía.

## 11. Trabajos complementarios

Los trabajos complementarios no tienen por qué ir directamente encaminados a la plantación, a veces se apoyan en ellos las plantaciones, pero otras veces no. Por lo general son anteriores a la repoblación forestal. Los trabajos complementarios de las repoblaciones se resumen en creación o acondicionamiento de pistas o caminos, vallados para acotamiento de ganado y prevención de incendios forestales.



Figura 10.8: Pista de acceso para la ejecución de una repoblación forestal.

Dentro de ellos destaca la apertura de pistas (Figura 10.8). La inaccesibilidad de los terrenos, el coste de la mano de obra y las condiciones laborales de los trabajadores forestales la condicionan. Se plantean como obras de acceso a la maquinaria para la ejecución de la repoblación. Estas obras posteriormente tendrán otras aplicaciones como vías de saca en los aprovechamientos o áreas cortafuegos. Las pistas forestales pueden viabilizar repoblaciones forestales, pero suponen un elevado coste ambiental que hay que sopesar debidamente. Además de la gran inversión que supone la construcción y posterior mantenimiento de una pista forestal, hay que tener en cuenta la fragmentación del territorio que supone para la biodiversidad, así como el foco de contaminación por el paso de vehículos y de pérdida de suelo por los problemas de erosión derivados. Antes de optar por la apertura de una pista forestal se deben estudiar los accesos. Las islas fueron muy transitadas a pie y por animales mientras la población vivía del sector primario. Conviene preguntar a los vecinos de la zona por las veredas y caminos abandonados pues se adaptan al terreno. Dependiendo del tamaño del tramo se puede optar por carretillas oruga o vehículos tipo quad para el transporte de materiales. En caso de ser necesaria

una nueva pista, ésta ha de ser diseñada y trazada sobre el terreno, siendo la premisa la necesidad de perturbar el suelo lo menos posible, establecer un sistema de drenaje adecuado y evitar, cuando sea posible, el cruce con los cursos de agua de los barrancos (Santamarta y Gutiérrez, 2013).

La diversidad de intereses en el medio rural hace que muchas veces entren en franca competencia el sector ganadero y el sector forestal. Por ello se debe intentar compatibilizar, siempre que sea posible, todos los intereses. Si como consecuencia de la repoblación se va a acotar una determinada superficie al pastoreo, como contrapartida se deben introducir actividades como mejora de pastos existentes, implantación de pastizales o mejora de la infraestructura ganadera.

Como medidas de prevención de incendios deben diseñarse a tiempo posibles áreas o fajas cortafuegos, o pensarse en posibles áreas de contrafuegos en las divisorias.

Por último, debe llevarse a cabo un replanteo de la superficie a repoblar. Cobra especial relevancia cuando la plantación se efectúa en los límites de una propiedad y ésta linda con terrenos de otros particulares.

## 12. Bibliografía

- Burschel, P. und Huss, J. (1987). *Grundriss des Waldbaus: Ein Leitfaden für Studium und Praxis*. Pareys Studentexte Nr. 49. Hamburg – Berlin. 352 pp.
- Lamprecht, H. (1986). *Waldbau in den Tropen*. Verlag Paul Parey. Hamburg – Berlin. 318 pp.
- Naranjo, J. (2002). "Transformación de Pinares en Monteverde en el Cortijo de Pavón" en Actas de las Jornadas Forestales de Gran Canaria 1994-2001: 67-73. Cabildo de Gran Canaria. Área de Medio Ambiente.
- Naranjo, J. (2012). "Persea indica L. Viñátigo, viñático" en Pemán J., Navarro-Cerrillo R.M., Nicolás J.L., Prada M.A., Serrada R. (Coords.), "Producción y manejo de semillas y plantas forestales. Tomo I." Organismo Autónomo Parques Nacionales. Serie Forestal. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 1018 pp.
- Naranjo, J. (2013). "Producción de plantas y repoblación forestal" en Santamarta, J.C. y Naranjo, J. (eds.), "Ingeniería forestal y ambiental en medios insulares: Técnicas y experiencias en las Islas Canarias". Colegio de Ingenieros de Montes. 649 pp.
- Santamarta, J.C. y Gutiérrez, B.A. (2013). "Caminos forestales en islas volcánicas" en Santamarta, J.C. y Naranjo, J. (eds.), "Ingeniería forestal y ambiental en medios insulares: Técnicas y experiencias en las Islas Canarias". Colegio de Ingenieros de Montes. 649 pp.
- Serrada, R. (1993). *Apuntes de repoblaciones forestales*. Fundación Conde del Valle de Salazar. 378 pp.
- Varios autores (1999). *El Plan Forestal de Canarias*. Consejería de Política Territorial y Medio Ambiente. Viceconsejería de Medio Ambiente. Gobierno de Canarias. 171 pp.

# RESTAURACIÓN DE ESPACIOS DEGRADADOS





## CAPÍTULO 11

---

# El régimen torrencial: Restauración Hidrológico-Forestal

Pérez-Soba Diez del Corral, Ignacio

## 1. Aspectos generales del fenómeno torrencial y de su corrección

### 1.1. Definición, tipos y morfología de los cursos torrenciales

#### 1.1.1. Definición de un curso torrencial

En la definición clásica dada por el Grupo de Ordenación de cuencas de montaña de la FAO (1981), un torrente es una pequeña corriente de agua, temporal o permanente, de fuertes pendientes, de crecidas violentas y repentinas y de caudal líquido y sólido muy variable. Relativamente similar es la definición que da el *Diccionario forestal* español (Sociedad Española de Ciencias Forestales, 2005: 1052): corriente natural de aguas cuyas crecidas son súbitas y violentas; sus pendientes fuertes e irregulares, y que, por regla general, deposita en ciertas partes de su lecho los materiales acarreados por las aguas, lo cual es causa de que éstas divaguen en el momento de las crecidas. En todo caso, en ambas definiciones destacan dos características, que analizamos a continuación: la irregularidad del régimen y la presencia de un caudal sólido.

La primera característica es consecuencia a su vez de la irregularidad de las precipitaciones, propia del clima de las zonas con fenómenos erosivos (recuérdese la importancia del índice de agresividad del clima de Fournier para el estudio de la erosión), de los cuales es consecuencia el fenómeno torrencial, e igualmente de la modificación que este fenómeno produce en la cuenca, al alterar la capacidad de infiltración (por ejemplo, mediante la compactación por impacto de la lluvia), aumentando la proporción de aguas de escorrentía superficial que acceden al cauce de forma rápida, con picos de caudal acusados.

En cuanto a la presencia de caudales sólidos, deriva de los procesos erosivos o degradatorios de la cuenca vertiente: los fenómenos torrenciales son las típicas etapas finales de la degradación erosiva de una cuenca. Los fenómenos de erosión, transporte y sedimentación de sólidos son el resultado del balance de fuerzas entre la tensión

tractiva de los caudales líquidos circulantes (que es el elemento activo que provoca la erosión y el transporte de sólidos), y la resistencia de los materiales tanto a dejarse arrancar como a dejarse transportar, que se conoce como “tensión crítica”. En el fenómeno torrencial, este balance está claramente desequilibrado a favor de la tensión tractiva, de modo que los materiales arrancados y transportados en las laderas se concentran en los cauces, causando la presencia de unos caudales sólidos en las aguas de descarga. Dos son las formas principales de transporte de sedimentos (definidas de manera clásica por Quesnel, 1963): mediante suspensión y mediante acarreo, siendo este último modo el que principalmente caracteriza al fenómeno torrencial, mientras que el primero es más característico del fluvial. Los materiales procedentes de las laderas, a los que se incorporan nuevos elementos procedentes de procesos de erosión lineal dentro de los propios cauces y sus márgenes, son de esta forma transportados por la corriente hasta su depósito y sedimentación, que se producirán dentro o fuera de la cuenca.

### **1.1.2. La tipología del fenómeno torrencial en España: torrentes y ramblas**

De características geológicas, climas y relieves tan distintos como los que se dan en España, se obtendrán fenómenos torrenciales distintos. De hecho, si hubiera que destacar alguna característica de los cursos torrenciales españoles, sería su variedad, y resulta por ello muy importante comprender adecuadamente la esencia del problema torrencial con el que en cada caso debe enfrentarse el Ingeniero, que deberá formular un diagnóstico del cómo, porqué y cuándo del fenómeno torrencial que analiza. La omisión de este diagnóstico, además de ser una conducta impropia de cualquier Ingeniería, conduce no pocas veces al fracaso de la solución planteada, o a simples dispendios de dinero público que se gasta en obras de utilidad mínima.

No es siempre fácil hacer una tipología de torrentes. La frecuencia con la que los caudales generen tensiones tractivas que superan las tensiones críticas es un índice de la torrencialidad de un cauce, pero en cada una de las secciones del cauce se dará de manera predominante la erosión, el transporte o la sedimentación con un caudal determinado según la capacidad de transporte del caudal sea mayor, igual o menor que la masa de caudal sólido que accede a ella, tanto desde el cauce como desde las laderas. En definitiva, el papel que desempeña en el fenómeno torrencial una sección dada será uno u otro según la cuantía del caudal. Por ello, sólo se puede hablar de “torrentes de erosión” o “torrentes de transporte” (según sean principalmente propios o ajenos los materiales que forman su caudal sólido) en términos de frecuencia, no en términos absolutos.

La bibliografía forestal española clásica subrayó desde antiguo (Baró, 1917; Baró, 1928; García Nájera, 1962) la existencia en España de dos clases de torrentes: los de alta montaña (también llamados alpinos o pirenaicos) y las ramblas. Las diferencias entre los dos tipos

se hallan bien sintetizadas en Palacio (coord., 2002: 15), y consisten fundamentalmente en que las ramblas o torrentes-rambla responden a menores altitudes que los torrentes (hasta presentarse en cotas francamente bajas), tienen una pequeña capacidad tractiva de las aguas, se dan en zonas de clima árido y semiárido principalmente (quizá también subhúmedo) con regímenes de lluvias normalmente muy irregulares y con concentraciones masivas en forma de tormentas fuertes. Esa misma publicación (*op. cit.*: 14) define como rambla al

*"Curso de agua propio de zonas áridas o semiáridas, normalmente seco, salvo en las avenidas medias o grandes, con un cauce largo y ancho, de poca pendiente, de sección en forma de U abierta, con un perfil transversal convexo, con gran transporte de materiales sólidos (fundamentalmente acarreos finos) y con una distribución de sus sedimentos en estratos paralelos heterogéneos".*

Esto, en definitiva, reduce la presencia de los torrentes de alta montaña en España a los Pirineos y Sierra Nevada, correspondiendo el resto de zonas torrenciales a ramblas, o torrentes-ramblas, lo cual subraya la gran importancia de estos dos últimos tipos de cauces en nuestra Nación. Este esquema es en gran medida el que propuso ya en 1917 Fernando Baró, al que luego siguió José María García Nájera (Figura 11.1).

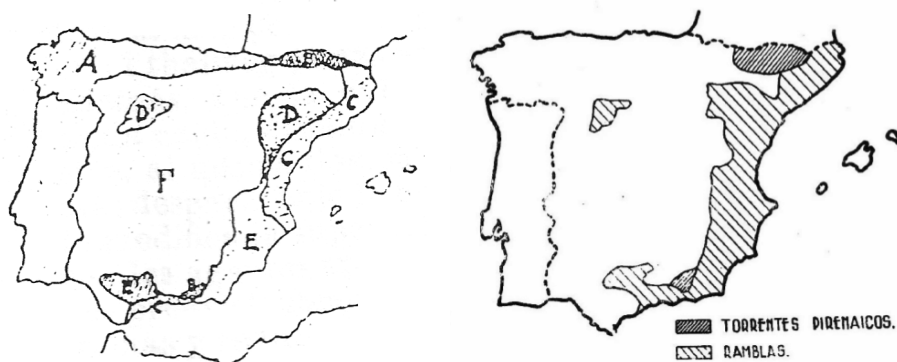


Figura 11.1: Clasificación de los torrentes en la España peninsular, según Baró (1917: 13) (izquierda) y García Nájera (1962: 59) (derecha). El significado de las letras en el esquema de Fernando Baró es: A: zona no torrenciales; B: torrentes alpinos; C, D y E: ramblas. F: indiferente.

Palacio también considera que 'la rambla no deja de ser un tipo particular de torrente'; por lo que considera que todas las ramblas son, en esencia, torrentes-rambla, calificando como 'rambla en sentido estricto' al cauce medio y bajo de dicho torrente-rambla. En sentido

similar se pronuncian Mintegui y López (1990: 54), que tienden a subrayar el parecido entre torrentes y ramblas: “aunque los torrentes-ramblas tengan aspectos que deban ser analizados de forma particular, también presentan características comunes a los torrentes propiamente dichos”. Aun siendo válidas las afirmaciones anteriores, creemos, como ya expusimos en Pérez-Soba (2009) —con todas las prevenciones que toda clasificación exige, y más en el caso de la hidrología torrencial, como hemos visto— que las “ramblas puras” o “ramblas en sentido estricto” son un tipo de cauce torrencial mediterráneo distinto del torrente-rambla, y no sólo una parte de él, lo que nos lleva a proponer esta clasificación de cursos torrenciales en España:

1. Torrentes de alta montaña, alpinos o pirenaicos.

2. Cauces torrenciales de tipo rambla:

2.1. Torrentes-rambla.

2.2. Ramblas puras.

Cada tipo presenta morfologías y comportamientos torrenciales francamente distintos, a cuyo análisis se dedican los apartados siguientes.

### **1.1.3. Morfología y comportamiento torrencial de un torrente de alta montaña**

Los torrentes de alta montaña, alpinos o pirenaicos están normalmente situados en grandes altitudes, con parte de su cuenca a niveles superiores a los de la vegetación arbórea, con regímenes pluvio-nivales, y con cauces de gran pendiente en los que los fenómenos de erosión lineal son muy acusados. Aguiló *et al.* (1981: 328-330) hacen un análisis muy correcto de la morfología y funcionamiento hidrológico de un curso torrencial de alta montaña, que resumimos a continuación. En este tipo de torrentes se distinguen tres tramos morfológicamente bien diferenciados, ya que su morfología precisamente se puede considerar inherente a las distintas fases por las que transcurre el fenómeno torrencial, y que son:

- Un curso de cabecera, en el cual el cauce suele dividirse en formas digitadas, y presenta un álveo típico de barranco, con perfil transversal en U y el lecho incrustándose en el terreno, en un descenso sistemático. Conviene subrayar que este descenso del lecho afecta a la estabilidad de las laderas de las márgenes, puesto que los taludes de éstas llegan a alcanzar alturas muy inestables que pueden causar roturas y desplazamientos en masa, que incorporan sólidos a la corriente de

manera brusca y masiva, y que pueden suponer un serio peligro para la seguridad de bienes y personas (Ferrer, 1995).

- Un curso medio por donde marchan hacia el llano las aguas acumuladas por los cauces de cabecera. El nombre (incluso popular) que se da a este tramo es el de garganta, pues normalmente el paso de las aguas entre las laderas escarpadas en forma de V adopta ese aspecto estrecho y largo, aunque a veces queda reducido a un tramo muy corto.
- Finalmente, un tercer tramo o curso bajo del torrente, que se caracteriza por un ensanchamiento del cauce con aguas divagantes sobre los propios materiales sólidos que aportan las aguas del torrente que, en esta zona del curso, tienen tendencia a depositarse. Este tramo es habitualmente conocido como cono de deyección (aunque más bien es una pirámide; García Nájera, 1962: 53-56), y se sitúa en la zona donde el torrente desemboca en una llanura o en una plana aluvial de riberas de un cauce principal (que cuenta ya con un régimen de descarga de caudales de tipo fluvial o semifluvial). Si la plana es estrecha en el lugar de incidencia del torrente, el cono o pirámide aparece truncado por la erosión lateral de las aguas del río, situación peligrosa por la posible obstrucción que produciría en el cauce fluvial la restauración brusca de la pirámide en una crecida violenta del torrente, formando una auténtica presa de tierras en el río. En cambio, si las planas de ribera son anchas, existe con frecuencia un cuarto tramo en el cauce del torrente, el denominado “canal de desagüe”, en el cual adquiere normalmente un carácter fluvial, al haber descargado la carga sólida en el cono de deyección.

Como se ha dicho, estas tres divisiones se observan en el cauce de los torrentes con regularidad, por su relación con la dinámica torrencial, y puede establecerse una clara correspondencia entre esas tres zonas y las correspondientes fases de la fenomenología torrencial: a) El comienzo del fenómeno, con la incorporación a las aguas de materiales sólidos (que se da en los cursos de cabecera); b) su transporte hacia aguas abajo (que se daría principalmente en la garganta) y c) el final de este fenómeno con la pérdida total, o muy notoria, de estos caudales sólidos de la corriente por sedimentación, lo que se produce en el cono de deyección (Figura 11.2).

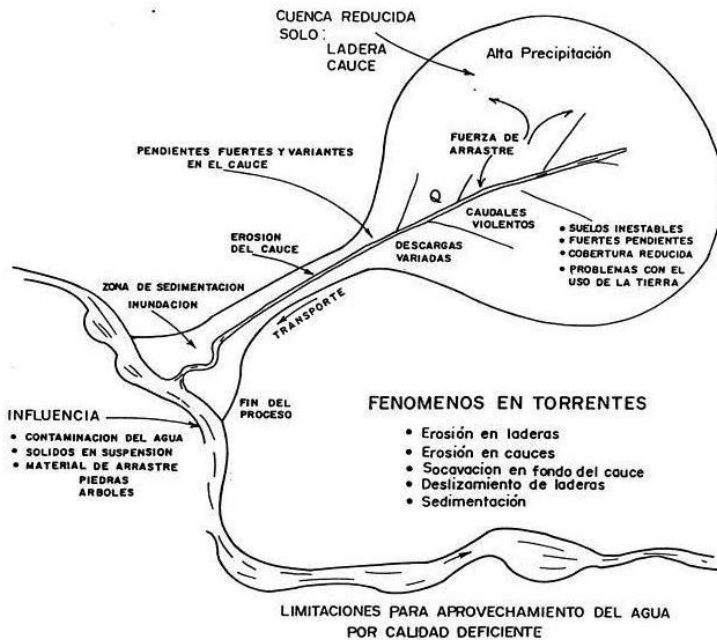


Figura 11.2: Partes típicas de un torrente de alta montaña, y fenómenos torrenciales asociados a cada una (Faustino, 1993: 59).

#### 1.1.4. Morfología y comportamiento torrencial de un cauce torrencial de tipo rambla

El caso más común entre los cursos torrenciales mediterráneos es el del torrente-rambla, en el que se distinguen dos zonas separadas por un “knickpoint” o punto de inflexión desde el punto de vista geomorfológico: una zona alta, con fuertes pendientes y poca anchura, que en efecto se asimila a un torrente de escorrentía perenne, y otra baja (la “rambla en sentido estricto”, según Palacio, 2002) en la que se incrementa la anchura, la cual está sujeta además a divagaciones del cauce en un lecho muy amplio (Figura 11.3). Este esquema morfológico puede parecer análogo al de los torrentes de alta montaña, pero debe caerse en la cuenta de que los materiales sólidos son tan elevados que invaden la totalidad de la plana aluvial y remontan el cauce, en el cual se dan fenómenos muy frecuentes de sedimentación, aun estando lejos de su desembocadura (Thornes, 1976: 36; Sanjaume *et al.*, 1985: 126), lo que explica su gran anchura y la abundancia de materiales finos. Es decir: la presencia de los acarreo desestabiliza los cauces normales (con pendientes reducidas y capacidad de transporte baja), “arramblándolos”, esto es, haciendo depósitos de materiales en el cauce que forman perfiles de equilibrio que sólo se rompen cuando en grandes avenidas el

calado crea una tensión tractiva suficiente. De este modo, se da una aportación de caudales sólidos continuada, y con mezcla de tamaños: tanto aparecen sedimentos transportados en suspensión procedentes de erosión laminar en las laderas (“wash load”) como acarrees procedentes de la erosión en cárcavas y barrancos (“bed load”), como prueban los estudios sedimentológicos (Sanjaume *et al.*, 1985; Catalina, 1992). Por ello, los caudales circulan en forma divagante, en cauces inestables y anastomosados, que ocupan sólo una parte reducida del álveo, salvo en las grandes crecidas, en las cuales el caudal ocupa toda la sección, encontrando por tanto la resistencia que precisamente ofrecen los sedimentos, lo que a su vez incrementa el calado hacia aguas arriba hasta crear la energía necesaria para vencer el rozamiento, formando una onda de avenida muy peligrosa y destructiva.



Figura 11.3: Zona alta (izquierda) y baja (derecha) de un típico torrente-rambla, el barranco de Bijuesca o de Carrabijuesca (Torrijo de la Cañada, Zaragoza). (Fotos: I. Pérez-Soba).

La geomorfología de las ramblas puras aún se aparta más de los torrentes de alta montaña, puesto que incluso falta la zona de torrente en cabecera, bien porque la erosión en barrancos ha alcanzado finalmente el sustrato rocoso, bien porque se ha producido (fundamentalmente por causas antrópicas), el desmantelamiento de la cuenca de cabecera. De este modo, las cuencas de las ramblas puras presentan relieves poco acusados, que propician cauces de escasa pendiente. Nos encontramos, por tanto, con una clara excepción a las dos definiciones que abren este capítulo: aun dándose crecidas muy violentas y repentinas, y existiendo una variabilidad extrema de caudal líquido y sólido, ni las ramblas puras ni sus cuencas vertientes tienen “fuertes pendientes”.



Por otra parte, en las ramblas puras los caudales sólidos resultan ser mucho más homogéneos que en los torrentes-rambla, ya que proceden fundamentalmente de erosión laminar en un estado muy avanzado, y son materiales finos que acceden en cantidades masivas con las aguas de arrastre. Igualmente, mientras que la circulación subálvea en un torrente-rambla puede existir, aunque es más bien limitada, en las ramblas puras es virtualmente continua y las aguas superficiales aparecen sólo como respuesta a las grandes lluvias (Thornes, 1980: 236). Por ello, en todo el cauce predominan los fenómenos de sedimentación, de modo que sólo con caudales de grandes avenidas se produce una movilización total o casi total de unos caudales sólidos que se han ido acumulando a lo largo del período (a veces muy prolongado) de precipitaciones insuficientes para la movilización de tales depósitos. Esto conlleva dos consecuencias: a) la anomalía entre las dimensiones del cauce y las aguas circulantes alcanza niveles extremos, mucho mayores que en un torrente-rambla, y b) los materiales finos están todos ellos preparados para su puesta en marcha masiva en las precipitaciones extraordinarias. Por eso, cuando se produce la precipitación extraordinaria, la descarga de caudales resulta anárquica e incontrolada, sin directriz de aguas altas de ninguna clase. Siendo cierto, como señala López Cadenas de Llano (dir, 1998: 337), que resulta difícil aplicar las formulaciones de la hidráulica clásica a los cursos de agua plenamente torrenciales, aún más lo es aplicarlos a las ramblas puras.

El caso extremo de una rambla pura es el tipo de cauce que a menudo es conocido en el lenguaje popular como “quebrada” (Aguiló et al., 1981: 329-330), que se da en cuencas de pendientes no muy acusadas pero sometidas a procesos de erosión muy intensos, y que presentan un álveo en forma de U muy marcada. Las quebradas, o bien han alcanzado virtualmente un perfil de equilibrio (precisamente por la baja pendiente de la cuenca) o bien se desarrollan sobre estratos de roca. En ambos casos, no hay fenómenos erosivos acusados por descenso del cauce, de modo que, aunque evacuan abundantes caudales sólidos, éstos proceden casi exclusivamente de la erosión de las laderas. En estas condiciones, los caudales líquidos que acceden a los cauces como consecuencia de una precipitación determinada son cada vez mayores, y la red hidrográfica se ve obligada continuamente a ampliar su capacidad de evacuación, de cualquiera de estos modos: o bien produciendo erosiones laterales de los cauces para ampliar la sección de desagüe, o bien creando nuevos cauces, aun en zonas de poca pendiente, por fenómenos de truncamiento del suelo.

### 1.1.5. La necesidad de la corrección del fenómeno torrencial

De cuanto se lleva expuesto, resulta evidente la multiplicidad de daños y efectos negativos producidos por el fenómeno torrencial tanto en las cuencas como en los cauces y los terrenos por ellos dominados. En la Figura 11.4 se presenta una síntesis de dichos impactos:

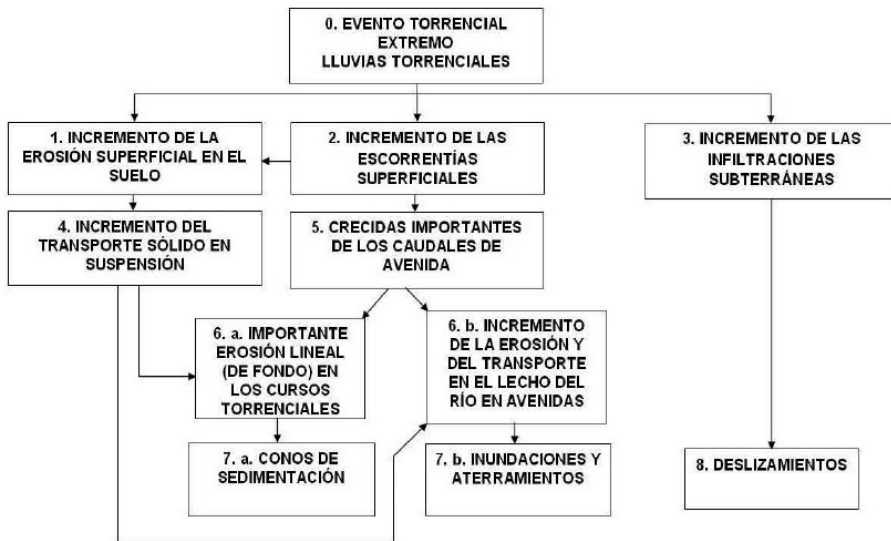


Figura 11.4: Gráfico de síntesis del impacto de los eventos extremos de precipitación en las diferentes áreas de una cuenca torrencial (Mintegui y Robredo, 2008: 2).

Los daños que refleja la Figura 11.4 tienen especial repercusión en las actividades humanas: pérdidas de suelo fértil en los terrenos de la cuenca y sobre todo inundaciones periódicas que arruinan campos de cultivo, poblaciones e infraestructuras, y que suponen un factor de riesgo importante para vidas humanas, porque las avenidas torrenciales (a diferencia de las fluviales) son súbitas y difícilmente predecibles, al menos en cuanto a su momento exacto (Camarasa, 2006).

## 1.2. Principios generales para la corrección de cuencas torrenciales

Analizado muy someramente el fenómeno torrencial, consecuencia final de los fenómenos erosivos de una cuenca, pueden establecerse tres principios generales que deben regir las actuaciones correctoras.

### 1.2.1. La restauración hidrológico-forestal debe ser fruto del análisis de la cuenca, e incluir actuaciones en ella

El primer y fundamental principio es que la corrección de un cauce torrencial está estrecha e indisolublemente ligado a la adecuada comprensión del funcionamiento hidrológico de su cuenca vertiente. Por eso, cualquier corrección debe partir de un estudio detallado del estado físico de la cuenca y del análisis de su previsible comportamiento ante los eventos torrenciales, tanto ordinarios como extraordinarios. Es más: debe también hacerse el análisis de las áreas dominadas por la cuenca, aunque estén fuera de ella, en una visión que se conoce como "ordenación agrohidrológica". La restauración hidrológico-forestal sería la ejecución en la cuenca vertiente y en los cauces torrenciales de las actuaciones identificadas en la previa ordenación (Mintegui y Robredo, 2008: 3-4).

Acabamos de hablar simultáneamente de actuaciones en la cuenca y en los cauces. Pérez-Soba (1982: 80-81) sintetiza muy bien dos constataciones hidrológicas que demuestran que la actuación aislada sobre el cauce es insuficiente para la corrección de su torrencialidad. Como se ha visto, la presencia de caudales sólidos es una de las más graves características del fenómeno torrencial, que tiene lugar en forma de acarreo y de suspensiones. En el caso de las suspensiones, queda evidente la necesidad de conservación de los suelos de la cuenca, puesto que proceden, de manera principal, precisamente de la erosión superficial de las laderas. En el caso de los acarreo, aunque su presencia en la corriente se deba fundamentalmente a la erosión de los cauces, ésta es originada por la fuerza tractiva de los caudales, cuya cuantía depende, lógicamente, del volumen y velocidad de traslación de la lámina de escurrimiento que produce en la cuenca la precipitación considerada. Por tanto, son paralelos ambos fenómenos: presencia de acarreo y erosión en los cauces, y erosión y degradación en la cuenca receptora. Puede concluirse que, salvo en algunos casos muy concretos de torrentes de alta montaña, la corrección del fenómeno torrencial no puede quedar circunscrita a meras actuaciones en el propio cauce que lo soporta, sino que es necesario actuar también en la cuenca. De ahí que la restauración hidrológico-forestal deba constituir un conjunto de actuaciones armónicamente distribuidas: entre cauces y cuencas, entre ingeniería civil hidráulica e ingeniería forestal. En la Figura 11.5 se muestra el esquema teórico de la restauración hidrológico-forestal de una cuenca.

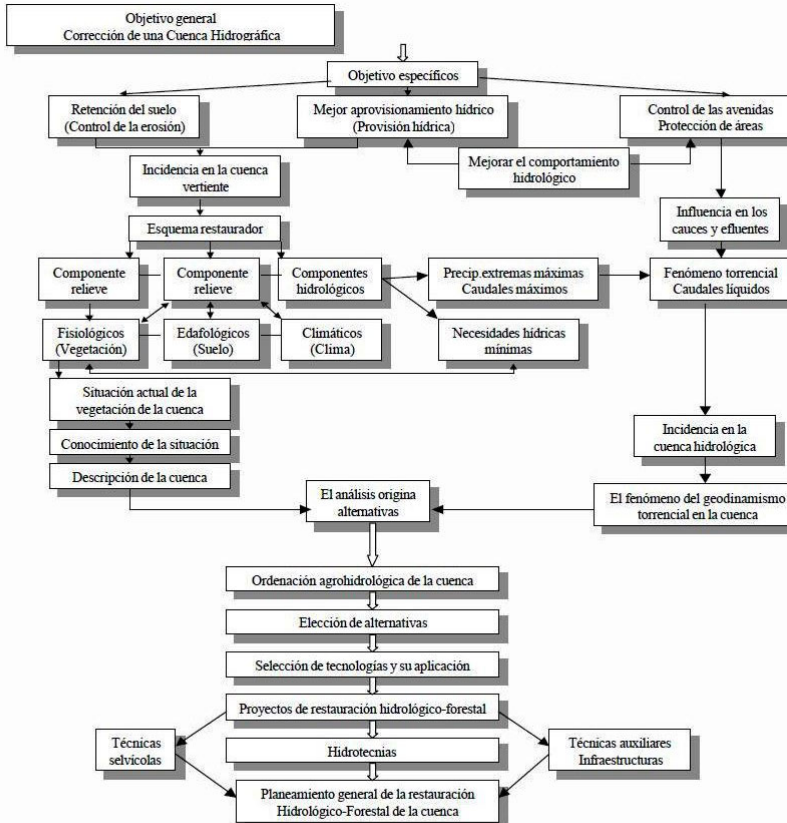


Figura 11.5: Esquema teórico de la restauración hidrológico-forestal de una cuenca (Gil, coord., 2004: 9).

### 1.2.2. La corrección torrencial exige el mantenimiento en buen estado de unas cubiertas arboladas permanentes al menos en los lugares estratégicos de la cuenca

No queremos entrar aquí en discusiones extensas, que a veces derivan en bizantinas, sobre la relación entre el buen estado de la vegetación forestal de una cuenca y la calidad y la cantidad de los recursos hídricos que ésta ofrece a sus múltiples usuarios (entre los cuales, evidentemente, los seres humanos deben ocupar un lugar principalísimo en nuestro análisis, aunque no un papel único). Aunque la relación entre la vegetación forestal (y

singularmente el bosque) y la producción de recursos hídricos es extremadamente compleja (Biroth *et al.*, 2011), hay gran evidencia científica de que el bosque bien conservado es siempre beneficioso para el conjunto del ciclo del agua (Pérez-Soba, 1985; Andréassian, 2004; Mintegui *et al.*, 2009). Es cierto, sin embargo, que (sobre todo por el cambio climático, que causa reiterados episodios de falta de agua para las poblaciones humanas) existe un creciente interés por el balance que las cuencas forestales ofrecen entre el “agua azul” (el agua líquida total) y el “agua verde” (la retenida por la propia masa forestal, o devuelta por ella a la atmósfera por intercepción/evaporación y transpiración).

Pero, como decimos, no queremos incidir ahora en ello, sino referirnos sólo al tema de este capítulo, que es la corrección de las avenidas torrenciales, aspecto sobre el cual hay unanimidad científica. En expresión feliz de López Cadenas de Llano *et al.* (1982: 56), “esta capacidad reguladora del bosque es particularmente espectacular en el control de las avenidas, para el que parece que todos los elementos del bosque están especialmente diseñados” por la intercepción de las precipitaciones que se produce en las copas y en las capas húmicas que protegen el suelo, por el retardo en el movimiento del flujo superficial y el aumento del agua estancada que producen los troncos y raíces y por la disminución de la escorrentía subsuperficial producida por el incremento de permeabilidad que causan los sistemas radicales arbóreos. Por tanto, las cubiertas arboladas permanentes desempeñan un papel fundamental para la corrección torrencial; sólo en caso de que hubiera dificultades edáficas, climatológicas o de otro orden que impidieran totalmente la creación o el mantenimiento de una cubierta arbórea podríamos contemplar alternativas más modestas, que serán también menos efectivas.

No obstante lo anterior, debe recordarse, como luego se insistirá, que

*“la reforestación de cuencas torrenciales debe considerarse como una ayuda a la naturaleza, que invierte su proceso degradatorio y anticipa en varios estadios su evolución hacia un ecosistema de bosque, óptimo grado que puede alcanzar la vegetación para el control de estos fenómenos. Pero su completa eficacia sólo es posible si se logra integrar en la masa creada todo el potencial biológico disponible a todos los niveles, desde los musgos con su excepcional capacidad de retención de agua, hasta el árbol dominante cuya copa intercepta la lluvia y cuyas raíces penetran los estratos profundos del suelo, lo sujetan y hacen llegar las aguas de infiltración”* (Pérez-Soba, 1982: 84).

### 1.2.3. La corrección torrencial no debe dar una falsa sensación de seguridad, y debe ser objeto de revisión y evaluación periódica

En ocasiones, determinados eventos de precipitaciones extraordinarias han provocado avenidas que han sobrepasado las obras de corrección torrencial, e incluso han provocado su ruina, lo que ha motivado la aparición de críticas, a veces acerbas, contra las actuaciones de corrección. Por ejemplo, el que la avenida del torrente Arás (Biescas, Huesca), acaecida la tarde del 7 de agosto de 1996, causara la trágica muerte de 87 personas y la ruina de gran parte de los diques (que no de todos) construidos en el cauce es interpretado por Ayala (2002) como un fracaso “estrepitoso”. No es así: la corrección del Arás cumplió a la perfección su cometido durante décadas (Nicolás, 2001; Pemán y Pérez-Soba, 2013), lo cual prueba su buen diseño y su eficacia, pero nunca debieron autorizarse instalaciones en el cono de deyección, puesto que siempre existía la probabilidad de que un evento extraordinario sobrepasara los límites calculados en los proyectos de corrección. La intervención hidrológico-forestal siempre reduce la magnitud de la avenida, pero no puede considerarse una solución absoluta y eterna a los riesgos naturales de inundación: es una defensa que en circunstancias extremas, que antes o después se producirán, puede ser sobrepasada, lo cual ha de ser tenido en cuenta para la seguridad de bienes y personas, y más en las zonas sitas en la zona de descarga del cauce.

Por eso, igualmente, es de vital importancia la periódica revisión y evaluación del funcionamiento de los trabajos de corrección torrencial ya realizados, lo cual, además, es una obligación legal (Camacho, 2002; Castillo *et al.*, 2002; Martínez de Azagra *et al.*, 2002), a pesar de lo cual, en muchas ocasiones es un aspecto que se descuida o, simplemente, se ignora.

## 2. Las actuaciones de corrección en la cuenca

Comenzando ya el análisis de las actuaciones concretas de restauración hidrológico-forestal en la cuenca, en principio podrían ser de tres tipos: a) de modificación del propio suelo dentro de ciertos límites; b) de mejora de la vegetación; y c) de control de las aguas de escorrentía. Sin embargo, las modificaciones del propio suelo (que en la práctica se limitan a poco más que enmiendas para mejorar su estructura) tienen un alto coste y una eficacia más bien baja, y por tanto se aplican con carácter excepcional. Por ello podemos reducir a los dos últimos grupos las posibles actuaciones en la cuenca, destacando las siguientes:

a) Actuaciones de mejora de la vegetación: Repoblación forestal; creación y manejo de los pastos; tratamientos selvícolas; y prácticas adecuadas de cultivo agrícola. A este tipo de actuaciones se las suele denominar “trabajos biológicos” o “biotecnias”, y algunas de ellas (replantación, tratamientos selvícolas) también se pueden emplear en los propios cauces, como luego veremos.

b) Actuaciones para el control de las aguas de escorrentía: algunas de estas tecnologías son muy tradicionales en el sector agrícola, como las terrazas o bancales; otras son más típicas del sector forestal, como las fajinas o las empalizadas y las pequeñas obras transversales de corrección de laderas.

## 2.1. Actuaciones para la mejora de la vegetación de la cuenca.

### 2.1.1. Repoblación forestal

No es nuestra intención, puesto que no es la finalidad de este capítulo, hacer una extensa exposición sobre la planificación, proyecto y ejecución de repoblaciones forestales. Hay varios manuales que tratan de ello: García Salmerón (1991, 1995), Serrada (2000), Monsalve (coord., 1995) y especialmente el que en nuestra opinión sirve actualmente de principal referencia, que es el de Pemán y Navarro (1998). Pero sí que pretendemos hacer algunas observaciones sobre las consideraciones que conviene tener en cuenta para que la repoblación maximice el objetivo prioritario en este caso, que es el de corrección de las avenidas torrenciales.

Acerca de la elección de especie, es ya clásica la recomendación de que se intente elegir el mayor número de especies, y lo más cercanas que sea posible al clímax vegetal potencial de la estación de que se trate; es decir, favorecer el nivel de madurez vegetal, que conlleva una mayor estabilidad y una mejor capacidad de reconstrucción espontánea o resiliencia (Ruiz de la Torre, 2000: 55). Pero hay que tener siempre presente que en medios muy degradados, y sobre todo en climas mediterráneos, resulta con frecuencia imposible la instalación de la vegetación que representa el óptimo o máximo biológico sin antes introducir otra cubierta que facilite su entrada mejorando las condiciones del medio, es decir, lo que Connell y Slatyer (1977) denominaron “facilitación”; mecanismo de sucesión vegetal mediante el cual las especies pioneras ayudan a la instauración de especies más delicadas. De hecho, este aspecto fue uno de los que justificó el uso generalizado en los grandes programas de repoblación forestal que se aplicaron en España en el período 1940-1985, de las especies autóctonas de pinos (género *Pinus*), que gracias a su carácter heliófilo, xerófilo y frugal permitían la aparición de las frondosas bajo su dosel. Esta teoría cuenta con importantes apoyos en la actual literatura ecológica (por ejemplo, Callaway

y Puignaire, 1999), y está confirmada por la evolución que muestran las repoblaciones forestales hechas en nuestro país que han recibido los tratamientos selvícolas adecuados para su naturalización (Figura 11.6). Conviene igualmente subrayar el interesante estudio que Pemán *et al.* (2006) hacen sobre los diversos criterios para la elección de especie en las repoblaciones.



Figura 11.6: Dos ejemplos de la fácil regeneración que tienen las especies arbóreas más delicadas gracias al dosel protector (‘facilitador’) de las previas repoblaciones forestales hechas con pinos. A la izquierda, regeneración de haya bajo repoblación de pino silvestre, en la Dehesa del Moncayo (Tarazona, Zaragoza). A la derecha, regeneración de sabina albar bajo repoblación de pino laricio, en el ‘Pinar Grande’ de Teruel (Fotos: A. Hernández).

En cuanto a la preparación del terreno del terreno para la repoblación, y al tratamiento a aplicar a la vegetación espontánea, en las repoblaciones con carácter protector del suelo, conviene reproducir lo que indica Pérez-Soba (1982: 84),

*“el mantenimiento de la vegetación espontánea del estrato arbustivo, de matorral o herbáceas, o de los relictos de vegetación arbórea que pudieran existir en los terrenos que se repueblan es un condicionamiento a tener en cuenta, buscando desde el principio el equilibrio entre la vegetación que se ha introducido artificialmente en el estrato arbóreo vacío y la existente en otros estratos, pues en una coexistencia de ambas está el óptimo de corrección del fenómeno torrencial en la cuenca. Conviene hacer énfasis en que no son los árboles que se introducen los que van a conseguir en exclusiva la corrección del fenómeno torrencial, sino el ecosistema que representan.”*



El mismo autor señala que los métodos de preparación del terreno de carácter lineal (terrazas, fajas o banquetas, gradas), a los que habría que añadir hoy los subsolados lineales, son, por su disposición en curva de nivel, muy eficaces para evitar las pérdidas de suelo y aumentar al máximo el aporte del agua a las plantas. La terraza puede ser definida (Prado, 2000:121) como una estructura física compuesta por un dique y un canal, de tierra o de piedra, construida sistemáticamente en el terreno, en el sentido perpendicular a la pendiente, de manera que intercepte el agua que escurre sobre el suelo, provocando su infiltración, evaporación o desviándola hacia un lugar determinado, debidamente protegido y con una velocidad controlada que no ocasione erosión en el canal (Figura 11.7).

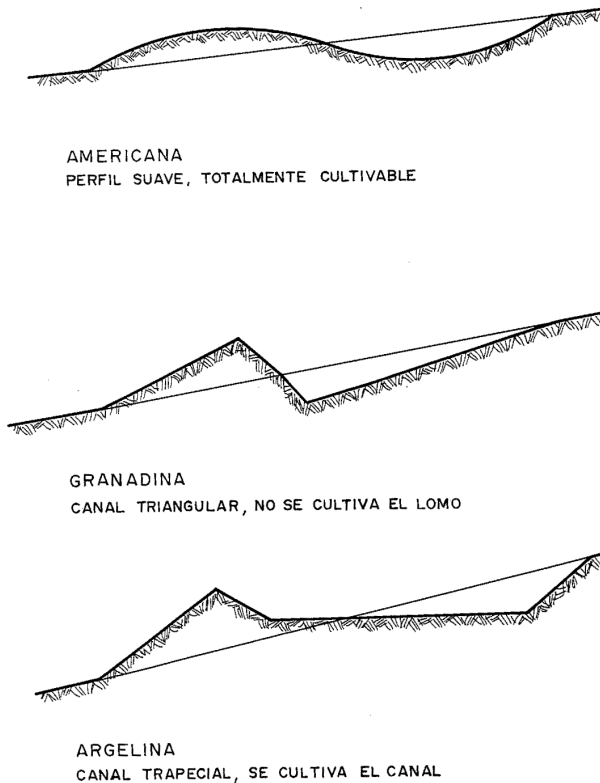


Figura 11.7: Perfiles de terrazas, según López Cadenas de Llano (dir., 1998: 458).

Desde el punto de vista hidrológico, unas terrazas bien planificadas y correctamente construidas y conservadas, pueden disminuir considerablemente las pérdidas de suelo por erosión y controlar muy eficazmente la torrencialidad (Lombardi *et al.*, 1991). No obstante, también Pérez-Soba (1982:84) indicaba lúcidamente los problemas que ya entonces detectaba en la preparación por terrazas: su ejecución defectuosa (en la que es fácil incurrir, al tener la terraza dos pendientes distintas) causa efectos contraproducentes desde el punto de vista erosivo; y los desmontes y terraplenes que se forman, si son excesivos, no sólo tienen un notable impacto sobre el paisaje y sobre la vegetación espontánea, sino que comprometen la estabilidad del suelo. Dichas prevenciones han sido confirmadas en publicaciones posteriores (como Romero y Belmonte, 2008), y de hecho, la evolución de la maquinaria empleada en repoblaciones, que hoy permite trabajar mediante retroexcavadoras sobre orugas o retroarañas en pendientes antes inasumibles para un bulldozer (Figura 11.8), ha causado el abandono casi general del método de preparación del suelo por terrazas.



Figura 11.8: Preparación de terreno para repoblación forestal mediante ahoyado mecanizado. A la izquierda: trabajo de una retroaraña en una pendiente del 50%. A la derecha: vista de una ladera ahoyada con retroexcavadora sobre orugas; se aprecia su muy bajo impacto paisajístico (Fotos: I. Pérez-Soba).

Como medio de evitar los problemas que causan las terrazas, existen las banquetas (o fajas) y gradas, que son, sencillamente, terrazas con plataformas más estrechas (en orden decreciente: las banquetas son más anchas que las gradas), sin que exista un límite claro entre tipos (García Salmerón, 1995: 457). Estas estructuras, al tener menor anchura, son más fáciles de ejecutar, y también tienen menores desmontes y terraplenes, por lo que conllevan a su vez menores riesgos e impactos. No obstante, la mencionada evolución de la maquinaria y de los aperos usados en las repoblaciones ha propiciado que hoy haya métodos de preparación del terreno de carácter puntual, como las banquetas con microcuenca (Navarro *et al.*, 2004), o los simples hoyos de retroexcavadora dispuestos

al tresbolillo, que puedan ser también de gran eficacia hidrológica, de menor impacto paisajístico, y más respetuosos con la vegetación espontánea.

Acerca de la densidad de plantación, ha sido un criterio tradicionalmente aceptado que en repoblaciones protectoras la densidad de la plantación ha de ser relativamente elevada, dentro de las limitaciones que impone tanto el temperamento de las especies como la disponibilidad de agua y el coste futuro de los clareos y claras que debieran conducir a la masa creada hacia formas de óptimo mantenimiento (Pérez-Soba, 1982: 84). Esta opción es muy intuitiva, puesto que la mayor cobertura posible del terreno nos asegura incrementar la intercepción y, en principio, acelerar la evolución edáfica. No obstante, conviene usar criterios objetivos para la elección de la densidad, y es interesante, en este sentido, el estudio de Mongil y Martínez de Azagra (2006), que ofrece un análisis de distintos criterios basados en un modelo hidrológico informático, para elegir la densidad de plantación y el tipo de preparación del terreno, con vistas a aumentar la supervivencia del repoblado reduciendo la alteración del microrrelieve a la mínima indispensable.

### 2.1.2. Cubiertas herbáceas y pastizales

La creación, mejora y fomento de las cubiertas vegetales permanentes de tipo herbáceo es otro tipo de trabajos biológicos que puede ser utilizado en la corrección de cuencas torrenciales (Martínez Ruiz *et al.*, 1996). No obstante, hay que recordar que el papel de las especies herbáceas en el control de las escorrentías superficiales y de los caudales de avenidas es relativamente poco importante porque, aunque representa una eficaz defensa contra la erosión superficial, influye en la porosidad del terreno solamente sobre una profundidad muy escasa, y no tiene efecto alguno de intercepción ni de retardo de caudales superficiales. Por eso, este tipo de vegetación tiene su principal utilidad para la restauración de zonas en las que la repoblación arbórea no es aplicable, bien por su extrema degradación (‘badlands’, cárcavas, suelos raquíuticos), bien por su difícil acceso, bien por hallarse en altitudes superiores al límite de la vegetación arbórea, caso este último frecuente en las cuencas de los torrentes de tipo pirenaico. En estos casos, la introducción de herbáceas mediante técnicas de siembra, de hidrosiembra, de aplicación de ‘tepes’, de geotextiles u otras es una alternativa a considerar. Igualmente, pueden usarse técnicas de acolchado (‘mulching’) con uso de materias vegetales como paja, serrín, virutas u otras, para formar una cubierta protectora artificial en la que arraigue el césped (Zribi *et al.*, 2011). Si se considera que el óptimo es el mantenimiento de las superficies de herbáceas creadas, conviene vincularlas a actividades de pastoreo, con tal de que éste sea extensivo y bien regulado. Si, en cambio, se pretende la introducción de especies leñosas de matorral, que tienen mayor capacidad de enraizamiento e intercepción pluvial, debe acotarse el terreno al pastoreo.

### 2.1.3. Tratamientos selvícolas

Siendo evidente, como antes se ha expresado, que el bosque tiene una decisiva capacidad de regulación de las avenidas torrenciales, se concluye necesariamente que la selvicultura que se aplique a una masa arbolada concreta afectará a dicha regulación. De la misma manera que (como acabamos de ver) las consideraciones hidrológicas definen un modo especial de realizar las repoblaciones forestales que tengan como fin principal la corrección torrencial, también pueden condicionar los tratamientos selvícolas que se apliquen a las masas arboladas sitas en cuencas torrenciales. En sentido, se habla de “selvicultura hidrológica” (Molina, 2011: 20) como una herramienta que modifica la estructura de la vegetación de acuerdo con criterios hidrológicos que a su vez sean compatibles con lo que se conoce como “selvicultura adaptativa”, es decir, la que busca la adaptación de los bosques a la escasez de agua que se espera del actual cambio climático (Serrada *et al.*, 2011).

En este sentido, nuestra opinión es que en realidad, aun cuando se hable de distintas selviculturas (hidrológica, preventiva de incendios, de conservación de hábitats, o adaptativa, por ejemplo) son más bien enfoques parciales de una misma realidad (la de buscar una masa forestal en buen estado), y se refieren a los matices o condicionantes que pueden prevalecer en cada caso. En definitiva: la selvicultura ha de ser multifuncional (Serrada, 2008: 19), y por tanto conservar y mejorar el estado de la masa en su conjunto, lo cual conllevará a su vez mejoras en todos las funciones que presta dicha masa: también, la de regulación del ciclo hidrológico.

En el caso que nos ocupa, esto es, en la influencia de la selvicultura sobre la corrección torrencial, pudiera parecer que una densidad muy elevada de arbolado supone sin excepción una mejor regulación de la torrencialidad. Sin embargo, no siempre es así: por un lado, porque las masas con densidad excesiva constituyen ecosistemas excesivamente frágiles, expuestos a catástrofes masivas por incendios, sequías o simple agotamiento de los recursos; y por otro, porque los árboles que componen esas masas emplean la mayor parte de sus recursos en la competencia intraespecífica (Figura 11.9).

Por eso, y por ejemplo, aun cuando en principio todo tratamiento selvícola que suponga la retirada de biomasa forestal tendrá, en un muy primer momento, el efecto de incrementar la escorrentía, las experiencias demuestran que en un plazo muy breve (a veces, de sólo seis meses: González *et al.*, 2013), la reacción de los pies mejores que se han dejado en el monte conlleva una brusca mejora de la eficiencia del uso del recurso hídrico por parte de la masa forestal: intercepta mejor (porque desarrolla enseguida una copa más grande y con mucho más follaje vivo), filtra mejor (porque los sistemas radicales ganan en potencia y profundidad) y transpira mejor (porque su vitalidad es mayor y su follaje más abundante).

Por supuesto, la intervención debe ser tal que la extracción de pies, por un lado, deje los mejores ejemplares en el monte; y por otro, no sobrepase ciertos límites en los cuales la capacidad de reacción de la masa no va a compensar dicha extracción (Figura 11.10).



Figura 11.9: Tratamiento selvícola sobre masa de pino carrasco con densidad muy excesiva, sin actuación alguna previa. A la izquierda: estado anterior, con altísima competencia intraespecífica y con un modelo de combustible muy peligroso en caso de incendio. A la izquierda, la masa después del tratamiento (Fotos: I. Pérez-Soba).



Figura 11.10: Efectos del clareo de un regenerado post-incendio de una masa de pino carrasco con densidad previa muy excesiva, en clima semiárido (Tierga, Zaragoza). A la izquierda, el estado de la masa justo después de la intervención (año 1999); a la derecha, la misma masa en 2013, con extraordinaria reacción tras el tratamiento, habiendo alcanzado la tangencia de copas (Fotos: I. Pérez-Soba).

#### 2.1.4. Prácticas agrícolas adecuadas

Es un caso muy frecuente que haya tierras agrícolas en las cuencas torrenciales que no puedan ser dedicadas al uso forestal por motivos económicos o sociales. En este caso, el énfasis debe ponerse en la realización de adecuadas prácticas y tipos de cultivo, puesto que una buena agronomía suele coincidir con un buen control de la erosión. Como es bien sabido, el factor C de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Universal Soil Loss Equation, USLE), no se refiere sólo al tipo de cubierta vegetal presente en la cuenca, sino que, en el caso de los cultivos agrícolas, tiene en cuenta la forma y tipo de cultivos, sus rotaciones y otras prácticas agronómicas que hacen variar el valor del factor C de manera sensible (González del Tánago, 1991: 22). Por eso, afirmaba Hudson (1982: 191) que este factor era el más complicado de determinar en la USLE, ya que existen infinitos modos diferentes de cultivar una cosecha; es más: añadía (p. 205) que “no es el tipo de cultivo el que es o no esquilante, sino el sistema de explotación. La pérdida de fertilidad no es una cuestión relacionada con el producto, sino con la forma en que se obtiene”. En efecto, los sistemas de labranza, de fertilización o de riego pueden tener mucha más relevancia hidrológica que la selección de un cultivo u otro.

En cuanto a la elección de cultivos, los estudios realizados por Moreira (1989) sobre los efectos hidrológicos de las prácticas agrícolas y de los diferentes cultivos en el valle del Guadalquivir mostraron que el factor C responde en las zonas áridas o semiáridas de nuestro país de forma muy similar a como fue establecido originalmente para los Estados Unidos, por lo que las tablas de Wischmeier y Smith (1978) pueden ser útiles para elegir alternativas de cultivos que ayuden al control de la torrencialidad. Otros modelos que se han desarrollado con el mismo fin se recopilan en la obra de López Cadenas de Llano (dir., 1998: 516-548).

En cuanto a las prácticas agrícolas, es muy recomendable y de mero sentido común la aplicación del principio de mínimo laboreo, esto es, la práctica de una agricultura poco intensiva, que en concreto deje los campos en barbecho de manera periódica. Por otra parte, las labores que se realicen debieran realizarse a nivel (o “en contorno”, como a veces se le llama por calco indebido del inglés “contour farming”). Otra actuación interesante es la de los cultivos en fajas, que no debe confundirse con la realización de las banquetas, fajas o pequeñas terrazas que alteran la pendiente del terreno, y de las que trataremos después. Se trata, en cambio, de alternar zonas cultivadas con otras no cultivadas, o dejadas en barbecho, siguiendo fajas en el sentido de las curvas de nivel (Figura 11.11).



Figura 11.11: Croquis de un cultivo agrícola en fajas (López Cadenas de Llano, dir., 1998: 452).

Los efectos de estas prácticas sobre la disminución de la escorrentía han sido medidos por diferentes autores, detectándose una reducción de la escorrentía en tierras agrícolas de hasta el 50% (Sturgul *et al.*, 1990; Yoo y Rochester, 1989). Dicha reducción, además, se corresponde a su vez con el mantenimiento de la fertilidad del suelo, puesto que se evita la migración de los nutrientes, en especial del fósforo (Stevensa *et al.*, 2009).

De gran importancia, por último, es la existencia de vegetación forestal intercalada entre los cultivos agrícolas: setos, bosquetes o árboles aislados constituyen eficaces elementos de regulación hidrológica, que además tienen un gran valor paisajístico, faunístico e incluso cultural (Gómez y Gómez, 2013: 129) (Figura 11.12). En este sentido, es muy útil la realización de repoblaciones forestales lineales, o por bosquetes o golpes, en paisajes agrícolas, que suponen una pérdida de superficie de producción relativamente muy pequeña, obteniendo en cambio efectos hidrológicos, e incluso de mejora de la productividad agrícola, notables.



Figura 11.12. Cultivos agrícolas de secano en ladera, intercalados con setos, ribazos y bosquetes de árboles forestales (pinos rodenos y encinas) componiendo un paisaje de mosaico agrícola-forestal (Foto: I. Pérez-Soba).

## 2.2. Actuaciones en la cuenca para el control de la escorrentía

Las actuaciones para el control de las aguas de escorrentía en las laderas de la cuenca tienen como finalidad disminuir la velocidad de los caudales de escorrentía superficial, e incluso fomentar su infiltración, bien disminuyendo la pendiente de las laderas, bien poniendo obstáculos físicos a estos caudales. Son por tanto técnicas útiles no sólo para la corrección de la torrencialidad, sino también para la conservación del suelo fértil. Debe tenerse eso en cuenta, porque, por ejemplo, eso no sucede con las obras en los cauces (que luego analizaremos), mediante las cuales se actúa sobre los caudales líquidos y sólidos, pero no se evita la degradación de las laderas de las cuencas vertientes.

### 2.2.1. Obras de disminución de la pendiente de las laderas

A este tipo de obras se las conoce también como “prácticas mecánicas”. Las principales obras que alteran el perfil de las laderas, disminuyendo su pendiente, son las terrazas, que en el mundo agrícola se conocen también como bancales, si bien en la obra de López Cadenas de Llano (dir., 1998: 475), se afirma que la diferencia entre terrazas y bancales consiste en que, entre cada terraza, se deja un espacio de ladera sin alterar, mientras que los bancales afectan a todo el terreno defendido, empezando un bancal donde termina el anterior. Ya hemos tratado, al hablar de la repoblación forestal, tanto de los problemas que causa la nueva apertura de terrazas como de su eficaz papel hidrológico si están bien construidas. Por eso, son estructuras que, de existir y estar bien diseñadas, y especialmente si son elementos tradicionales del paisaje humano y de la actividad agrícola de la zona, deben conservarse y mantenerse; de hecho, la ruina de un paisaje aterrazado puede causar aún mayores problemas erosivos (Lasanta *et al.*, 2010). Pero no son obras que deban hacerse “ex novo”.

La creación de drenes y canales de desagüe que complementen a las terrazas o a otras obras de conservación del suelo agrícola es otra práctica mecánica de disminución de la torrencialidad. Estos drenes han de tener formato y sección suficientes para conducir la escorrentía recogida por las terrazas hacia las partes bajas del terreno, sin peligro de erosión dentro de su lecho y sin dejar libres las escorrentías a media ladera. (Figura 11.13).



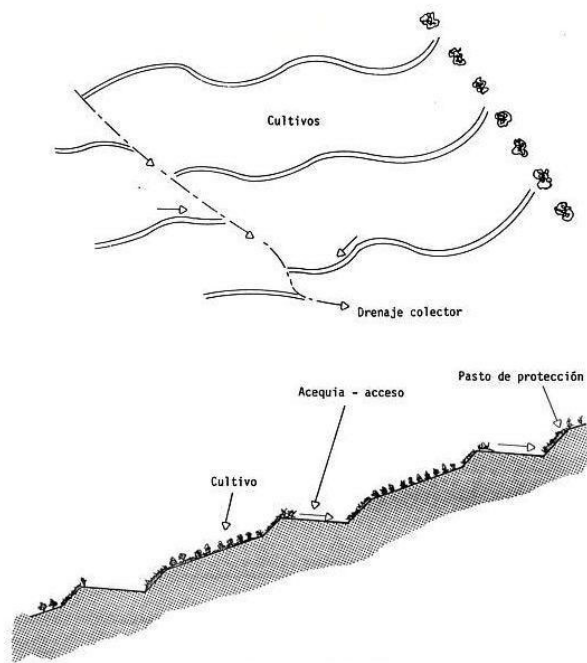


Figura 11.13: Esquema de un sistema de drenes de cultivos agrícolas en ladera (Faustino, 1993).

La práctica de redes de drenaje adecuadas es de especial importancia para evitar la acumulación de humedad en laderas inestables, donde se pueden producir deslizamientos en masa. Las técnicas para el proyecto y construcción de drenaje de suelos cuentan con una amplia bibliografía (Poiree y Ollier, 1986; López Cadenas de Llano, dir, 1998: 488-515; Tanji y Kielen, 2002; Molen *et al.*, 2007; Stuyt *et al.*, 2009), a la que nos remitimos para una mayor información.

Por último, otra actuación relevante, y muy sencilla y barata, para la conservación de los suelos agrícolas y la corrección de la torrencialidad, es la conservación o la nueva introducción de pequeños elementos de disminución de la pendiente de suelos agrícolas, como los ribazos, márgenes, o muretes, además de todos los elementos de vegetación forestal ya mencionados antes al tratar de las biotecnias (setos, bosquetes, árboles aislados).

### 2.2.2. Obstáculos físicos para la escorrentía (pequeñas obras transversales)

Las principales obras de este tipo son las fajinas, las empalizadas y las albarradas. Todas ellas son estructuras rústicas, generalmente de escasa altura (hasta un máximo de dos metros), que se disponen en las laderas o en pequeños barrancos para retención de los sólidos puestos en movimiento por la escorrentía y para acortar los movimientos del agua sobre la ladera y por tanto disminuir su propia capacidad erosiva. Las fajinas (o fajinadas) y las empalizadas son líneas o barreras que se disponen en las laderas: las primeras son cordones de residuos vegetales de pequeños diámetros, como ramaje o arbustos, sujetos al terreno mediante estacas clavadas en él y perpendiculares a la fajina. En cambio las segundas, como su nombre indica, usan troncos o palos, que con frecuencia se anclan en los tocones de árboles cortados (Figura 11.14).



Figura 11.14: Obras de restauración de laderas afectadas por el incendio forestal de Aliaga y Ejulve (Teruel) . A la izquierda, fajinas. A la derecha, empalizadas. (Fotos: A. Hernández).

Las albarradas, por su parte, son pequeños diques, o simples obstáculos transversales, que se disponen en los barrancos, y que (aunque pueden estar hechos también de materias vegetales, en cuyo caso necesitan un buen anclaje, por obvios motivos) pueden ser de piedra en seco, mampostería hidráulica, hormigón, troncos u otros materiales. Puede incrementarse su efecto corrector con la plantación de especies ripícolas (sauces, alises, chopos) en los aterramientos que se produzcan en su trasdós. En Canarias, recientemente se ha experimentado con las llamadas ‘fajinas armadas’, que pese a su nombre son más bien albarradas mixtas de mampostería y biomasa residual (Tardío y Caballero, 2008) (Figura 11.15).



Figura 11.15: A la izquierda, albarrada convencional, hecha de troncos, y con la cuña de sedimentos ya formada (Foto: A. Hernández). A la derecha, ‘fajina armada’ (albarrada de mampostería en seco con una matriz de restos vegetales) (Tardío y Caballero, 2008).

Los resultados hidrológicos de estas estructuras son muy relevantes, especialmente si se tiene en cuenta lo económico y rústico de su construcción: en la zona estudiada por Sánchez *et al.* (citado en Hernández, 2014: 12) las fajinas redujeron la emisión de sedimentos hasta en un 75% en zonas de litología caliza y hasta en un 64% en zonas de litología yesífera, mientras que la escorrentía se redujo en un 50% en las litologías calizas y hasta en un 80% en yesíferas.

Este tipo de estructuras cuentan con una larga tradición en la Ingeniería de Montes española: de hecho, se proyectaron y ejecutaron decenas de kilómetros de fajinas, empalizadas y muretes en las grandes correcciones de torrentes del Pirineo de Huesca realizadas en el primer tercio del siglo XX (Pemán y Pérez-Soba, 2013). Y también han sido y son usadas desde hace décadas en otros países (Gray y Leiser, 1982, para las fajinas en Australia, y Heed, 1976, para las albarradas en los Estados Unidos). Por eso, llama la atención el que hasta hace muy poco prácticamente no existieran especificaciones sobre su diseño (Ruiz y Luque, 2010), siendo por ello de gran interés el trabajo de Hernández (2014), que avanza en las primeras propuestas de sistematización, a este respecto.

Debe subrayarse, por último, que los muretes o las albarradas son (o pueden ser) obras permanentes, mientras que las fajinas y empalizadas son por la naturaleza de sus materiales obras temporales. Por eso, estas últimas deben plantearse como un medio transitorio de evitar la erosión y corregir la torrencialidad mientras se realizan o consolidan otras obras de carácter más permanente, como la repoblación forestal. De hecho, son obras características de los trabajos inmediatos de restauración de zonas incendiadas, en las cuales la pérdida de suelo en los primeros años tras la deforestación ha de ser corregida con urgencia.

### 3. Las actuaciones de corrección en los cauces

Las actuaciones en los cauces (que se conocen también como hidrotecnias) tienen por finalidad la regulación total o parcial de los efectos que los caudales que por ellos circulan producen, controlando los procesos de erosión, transporte y sedimentación en el lecho y en sus márgenes. Desde un punto de vista teórico, ese control se produce mediante estructuras que nos permiten cambiar los parámetros hidráulicos que definen la tensión tractiva de la corriente, a la que antes nos hemos referido, reduciéndola. Dependiendo de la forma en que se dispongan las hidrotecnias con respecto al eje del cauce, hablaremos de obras transversales (que se disponen perpendicularmente al eje), longitudinales (que son paralelas a él) o mixtas (que integran estructuras transversales y longitudinales).

#### 3.1.. Obras transversales al cauce

##### 3.1.1. Características generales

En el caso de cauces marcadamente torrenciales son las obras transversales (que represan todo el perfil del cauce hasta la altura del vertedero de la obra), y singularmente los diques transversales, las estructuras que ofrecen la solución más simple y efectiva. Como luego detallaremos, en los cauces torrenciales las estructuras longitudinales se deben usar sólo muy excepcionalmente. Las estructuras transversales tienen, entre otros, los siguientes efectos sobre la torrencialidad (López Cadenas de Llano, 1988: 17; Díaz *et al.*, 2012: 16):

1º) Mientras el vaso de embalse que originan se encuentra sin llenar de sedimentos, el efecto de presa o embalse (“damming effect” en inglés) hace que las aguas frenen su velocidad, por lo que pierden energía tractiva y depositan los sedimentos que transportan, en especial los más gruesos, que ya no llegan por tanto aguas abajo (Bureau of Reclamation, 2006: 91-92).

2º) Precisamente, los materiales sólidos retenidos por el dique van formando un aterramiento aguas arriba que eleva el cauce hasta alcanzar una pendiente, menor que la del cauce antes de la obra, que es conocida como “pendiente de compensación”; y que a su vez tiene los siguientes efectos de corrección de la torrencialidad: disminuir la velocidad de las aguas (y por tanto su energía interna) y proporcionar a los caudales que circulen sobre el nuevo lecho, elevado y asentado sobre los acarreos retenidos, secciones de mayor anchura, y por tanto de menor radio hidráulico. Una vez lograda la pendiente de compensación, estos aterramientos se pueblan crecientemente de vegetación espontánea (o pueden ser plantados con especies ripícolas, como en el caso de las albarradas), que frenan la corriente (Figura 11.16).



Figura 11.16: Dique de mampostería gavionada enlucida de mortero, construido en 1956 en el barranco de Bijuesca o de Carrabijuesca (Torrijo de la Cañada, Zaragoza). Está completamente colmatado de sedimentos, consolidados por vegetación espontánea.

Se consigue de este modo una reducción importante en la tensión tractiva de la descarga, por reducción simultánea del radio hidráulico y de la pendiente del cauce, a lo que se añade el efecto de frenado de la corriente que realiza la vegetación que nace en el aterramiento. Por tanto, los diques corrigen la torrencialidad tanto antes de su aterramiento, con el efecto de presa o embalse antes comentado, como después de él, mediante la formación de la cuña de sedimentos.

Para el cálculo de la pendiente de compensación se usa un caudal de avenida de recurrencia media, conocido como “caudal generador del lecho” (aquel al que se deben la magnitud y circunstancias actuales de los fenómenos de erosión y depósito y del que depende la forma general del lecho), al que se aplican variadas formulaciones, de las cuales la clásica es la de García Nájera (1962: 137-148). No obstante, hemos de subrayar que la cuidadosa medición de las pendientes alcanzadas por diques previamente construidos permite su cálculo por comparación a partir de datos reales, usando la fórmula propuesta por Antonio Pérez-Soba Baró, que supera las convenciones que contiene la fórmula de García Nájera (Pérez-Soba, 2002a). De hecho, el estudio de los sedimentos retenidos por los diques transversales ofrece un amplio campo de investigación: los primeros resultados en España (Romero, 2008; Díaz *et al.*, 2014) muestran, en primer lugar, la extraordinaria labor de retención de tierra fértil realizada por este tipo de obras; y en segundo lugar, subrayan su valor como elementos de diagnóstico real de los estados erosivos.

3º) Por otra parte, la cuña de sedimentos adosada a la obra ejerce una función consolidadora de las laderas junto a las que se asienta, ya sea porque tal cuña sirve de apoyo fijo, no

erosionable (ya que una vez lograda la pendiente de compensación se produce un equilibrio dinámico entre los materiales sólidos de la cuña y de los caudales circulantes, de aquí su denominación de pendiente de compensación), ya porque los materiales que caigan de aquellas laderas por encima de la cuña estarán crecientemente alejados del cauce, acumulándose hasta formar un nuevo terraplén natural de equilibrio.

4º) Por último, añadimos, y aunque no sea propiamente un efecto de corrección torrencial, no debe olvidarse que estas estructuras crean, hasta su colmatación por sedimentos, pequeños embalses de agua, de gran interés para la fauna silvestre y para la recarga de acuíferos, en especial en las zonas áridas y semiáridas donde la torrencialidad es frecuente (Martín, 1997; Pulido *et al.*, 1993). (Figura 11.17).

Estas obras tienen, como se ve, multitud de efectos positivos para el control de la torrencialidad, para el ciclo hidrológico, y para el medio ambiente en general. No obstante, ha de tenerse un especial cuidado en el estudio hidráulico de la corriente aguas abajo del dique, puesto que la energía que adquiere en el salto desde el vertedero y/o desde los mechinales o troneras puede causar precisamente fenómenos erosivos en el cauce. En el caso de que dicho estudio detecte una excesiva energía interna de la corriente aguas abajo de la estructura, basta diseñar los correspondientes disipadores de energía (cuencos de amortiguación, contradiques, zampeados, zarpas, encachados, etc.) para que la corriente liberada por el dique ya no cause erosiones (Figura 11.18).



Figura 11.17: Embalse de agua retenido por un dique de mampostería hidráulica, semanas después de la tormenta (corrección de la rambla de San Lázaro, Cetina, Zaragoza) (Foto: M.I. Ureta).

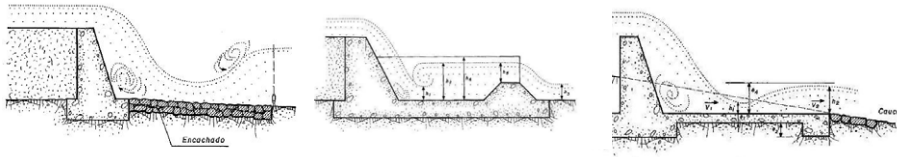


Figura 11.18: Sistemas de disipación de la energía al pie de un dique transversal (López Cadenas de Llano, dir., 1998: 428-430). De izquierda a derecha: protección mediante encachado del lecho aguas abajo; cuenco de amortiguación con contradique; y zampeado horizontal.

Las posibilidades que se ofrecen para el diseño de diques son muy amplias y muy variadas. Como indica López Cadenas de Llano (1988:29), no puede establecerse ninguna regla fija para la elección del tipo de dique a construir, pues, será el buen juicio del Ingeniero, a partir de una completa comprensión del fenómeno torrencial a corregir, el que determine en cada caso el tipo y los materiales que resulten más convenientes y económicos para el dique. Tampoco (como en los restantes apartados de este capítulo) deseamos entrar en detalles sobre los métodos de cálculo de estas estructuras, para lo cual nos remitimos a la bibliografía de referencia (García Nájera, 1962; López Cadenas de Llano, 1965 y 1988; Mintegui y López, 1990; López Cadenas de Llano, dir., 1998; Jover y Vidania, 2001). No obstante, creemos útil repasar los distintos tipos de dique que pueden usarse en la corrección de torrentes, para facilitar, precisamente, esa elección.

### 3.1.2. Las obras transversales según su funcionalidad

Según su función específica principal, las obras transversales se clasifican habitualmente (desde el trabajo de Leys, 1973) en diques de consolidación y diques de retención.

#### a) Diques de consolidación.

Los diques de consolidación tienen por objetivo principal evitar los fenómenos directos de erosión e inestabilidad en los cauces y en las laderas, por lo que en el caso de la corrección total de un torrente se construyen diques sucesivos, que dotan a toda la longitud del cauce de la pendiente de compensación, en forma de escalera en la cual los peldaños serían los diques, y los rellanos las cuñas de sedimentos. La separación entre los "peldaños" vendría dada, por tanto, por la longitud de la cuña de sedimentos esperada, sin que se produzca otra solución de continuidad en los aterramientos formados, que la ocupada por la estructura de los diques, salvo que existan zonas del lecho en que por cualquier causa (un afloramiento rocoso, un tramo con menor pendiente, por ejemplo), no se presenten fenómenos de retrogresión (Figura 11.19).

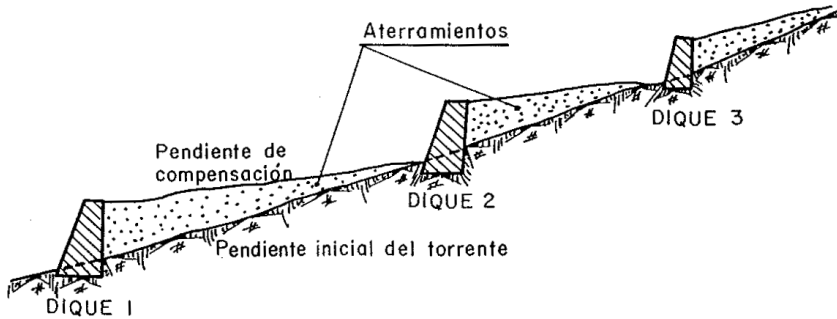


Figura 11.19: Esquema de la corrección longitudinal completa de un torrente: diques transversales separados entre sí por las cuñas de sedimentos con pendiente de compensación (Mintegui y López, 1990: 61).

En las obras clásicas de construcción de diques (García Nájera, 1962: 224-225; López Cadenas de Llano, 1988: 28; Mintegui y López, 1990: 62; López Cadenas de Llano, dir., 1998: 426-427) se afirma que la pendiente de compensación irá disminuyendo con el tiempo, lo que conllevaría la necesidad de construir diques de segundo orden (e incluso de tercero), sobre los aterramientos creados por los diques primarios. Nosotros no creemos que sea así, porque sostenemos justo lo contrario: que la pendiente de compensación irá creciendo con el tiempo, y no disminuyendo, por los motivos hidráulicos que ya expusimos en Pérez-Soba (2002b: 97-98). De hecho, son multitud los torrentes corregidos por la Ingeniería de Montes española sin que se haya procedido en ninguno, que sepamos, a esta construcción de diques de segundo o tercer orden. Es más: la corrección torrencial de muchos cauces no precisa siempre y en todos los casos que todo su perfil longitudinal quede afectado por la pendiente de compensación.

La elección de las alturas de los diques de consolidación (de los "peldaños" de esta escalera de corrección) depende de dos factores principales: del perfil transversal del cauce y de la granulometría de los materiales de las márgenes y del lecho en dicho perfil. El perfil transversal, en primer lugar, nos indicará cuál es la altura máxima que puede tener el dique: ha de tenerse cuenta que muchos cauces mediterráneos están fuertemente encajados, y que elevarse por encima de sus secciones actuales implica, por un lado, que se incrementa de manera desproporcionada el volumen de obra, y por otro, que un posible desbordamiento por las alas del vertedero causará problemas de divagación del cauce. También ha de evitarse que el dique tenga una altura tal que las aguas los acarros retenidos puedan inundar o aterrizar estructuras aguas arriba. Por su parte, una granulometría muy fina en los empotramientos de la obra y en el lecho (lo cual es extremadamente frecuente en las ramblas, como hemos dicho) nos obliga necesariamente



a hacer diques de escasa altura, puesto que de otro modo el gradiente hidráulico de las aguas retenidas por el dique causará socavaciones (tanto de fondo como laterales) en los diques, en un fenómeno conocido como tubificación (“piping”, en inglés), que causa la ruina de la obra (Mac Cook, 2004; Fell y Fry, 2007) (Figura 11.20).



Figura 11.20: Ruina de un dique de gaviones a causa de la tubificación lateral: el agua, al ser forzada a alcanzar un gradiente hidráulico demasiado elevado, se infiltró en los márgenes descalzando la estructura (Foto: I. Pérez-Soba).

#### b) Diques de retención.

Estos diques tienen como principal misión la retención de los materiales sólidos o de los caudales líquidos. Es obvio que esta función de retención la hacen también los diques de consolidación, como acabamos de exponer, por lo que distinguir unos de otros resulta en algunos casos un tanto convencional, ya que, como se ha dicho antes, todos los diques cumplen una múltiple función en la corrección de un cauce torrencial. Este hecho ha causado que con frecuencia haya autores (Conesa, 2004; Conesa y García, 2007; Martín Rosales, 1997; Pulido *et al.*, 1993) que denominen “diques de retención” a todos los diques de corrección torrencial, sin distinguir como tipología propia los de consolidación.

No obstante, hay casos en los cuales la principal función del dique es la retención de determinados sólidos o del caudal líquido, por lo cual hay diques que son, claramente, de retención. Por ejemplo, los diques “abiertos”, también llamados “vacíos”, en los que se practican grandes aberturas (conocidas como troneras o mechinales), que permiten el paso de los caudales líquidos de menor importancia y de los sólidos más finos, haciendo una retención selectiva de éstos y evitando su acumulación innecesaria. (Figura 11.21).

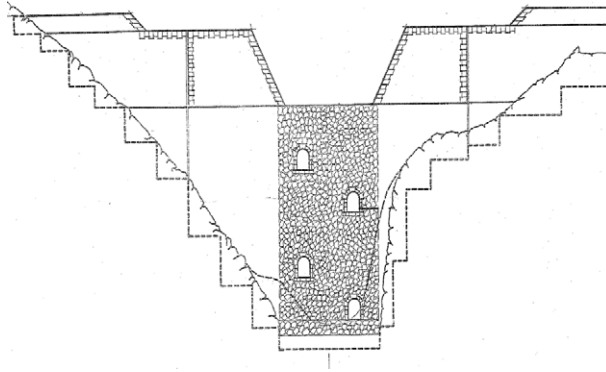


Figura 11.21: Dique de mampostería hidráulica semivacío, para la laminación de avenida y la retención de sedimentos gruesos. Presenta cuatro grandes troneras, de 1,4 metros cuadrados de sección cada una, una de fondo y tres intermedias. De este modo, mientras esté despejado el mechnal de fondo, siempre se desagua sin retener una parte del caudal ordinario del torrente (Pérez-Soba, 2011).

Obviamente, estos mechinales también pueden estar presentes en los diques de consolidación, si bien en éstos tienen en general diámetros menores que en los de retención, y reciben a veces el nombre de barbacanas. La función de los mechinales en los diques de consolidación es distinta a la que tienen en los de retención: antes de la formación de la cuña de sedimentos, evitan esfuerzos a la estructura (al aminorar los empujes hidrostáticos prolongados sobre el paramento aguas arriba), y después de formada aquélla, realizan el drenaje del aterramiento. El cálculo de estos mechinales, de sus dimensiones, ubicaciones y efectos hidráulicos y sobre la estructura del dique, es una parte del proyecto cuya importancia no siempre se ha apreciado en los manuales al uso, y del cual tratan Blein (1947) y Pérez-Soba (2008).

Son también diques de retención los llamados "diques de cierre", situados al final de la garganta del torrente y que en general tienen dimensiones mayores que los situados aguas arriba, ya que su misión es la retención máxima posible de los caudales (sólidos o líquidos) justo antes de su salida al cono de deyección. Y por último, también lo son los diques de laminación y los de recarga de acuíferos, en los cuales se pretende retener el máximo de caudal líquido: en los de laminación, como su nombre indica, para "laminar" la avenida, esto es, disminuir el caudal punta de ésta retrasando el desagüe. En los de recarga de acuíferos, además, se pretende forzar la infiltración del agua en el vaso del embalse. Los diques de recarga de acuíferos constituyen una técnica relativamente moderna que tiene una aplicación creciente (Fernández Escalante, coord., 2010; Rodríguez Estrella *et al.* 2006),

y que precisa, claro está, que el vaso del embalse sea permeable, pero no en las cercanías de la estructura, para evitar la tubificación.

### 3.1.3. Las obras transversales según su tipo de fábrica

Según el tipo de fábrica, los diques se clasifican del modo siguiente (Romero, coord., 2007: 28-31): de mampostería; de hormigón; de materiales sueltos y de materiales mixtos. Puede añadirse la categoría de "diques de otros materiales".

a) Diques de mampostería (hidráulica y gavionada).

La mampostería es un tipo de fábrica que utiliza como elemento resistente el mampuesto, esto es, fragmentos de piedra más o menos trabajada y preparada, pero sin labrar (si estuviera labrada, se hablaría de cantería), colocados con cierto orden, y que puede usar aglomerante o no: si no se usa aglomerante de ningún tipo, se conoce como mampostería seca, que se usa en el ámbito de la corrección torrencial más bien para albarradas o muretes, no para diques. Los diques de mampostería son de gran tradición en la Ingeniería de Montes española, y pueden ser de mampostería gavionada o hidráulica. La gavionada se coloca dentro de jaulas metálicas cosidas y atirantadas (conocidas como "gaviones"; Figura 11.22), solución relativamente económica que además ofrece muchas ventajas para la corrección de cauces mediterráneos, puesto que poseen una relativa elasticidad que les permite soportar deformaciones en sus cimientos y empotrarse bien en medios poco coherentes, y también cierta permeabilidad (al menos hasta que se saturan internamente de sedimentos), que debe ser tenida en cuenta para su cálculo, y que disminuye los esfuerzos a los que se ve sometido el dique (Núñez *et al.*, 1982).

La mampostería hidráulica, por su parte, usa el mortero para la unión de las piedras dotando de impermeabilidad al conjunto, ofreciendo una excelente integración en el paisaje (Figura 11.23). Como la mampostería hidráulica precisa de mucha mano de obra, y muy especializada, tiende a ser sustituida por hormigón en masa revestido de mampuesto o chapa de piedra, o bien por un encofrado perdido de mampostería hidráulica que se rellena con hormigón ciclópeo. Por su naturaleza, los diques de mampostería hidráulica precisan de lugares rígidos e impermeables para su empotramiento. Para su diseño y ejecución es útil, con las salvedades propias de la obra forestal, el manual de Morales (2004).



Figura 11.22: Diques de gaviones: a la izquierda, en construcción (se aprecian las jaulas vacías, y se ven los encofrados metálicos que servirán para su relleno); a la derecha, un dique concluido (Fotos: I. Pérez-Soba).



Figura 11.23: Un dique de mampostería hidráulica que use los materiales propios de la zona, constituye un elemento construido según la arquitectura rural tradicional y se integra de manera excelente en el paisaje. (Foto: I. Pérez-Soba).

b) Diques de hormigón (en masa, ciclópeo y armado).

Estos diques presentan la ventaja de que su construcción es sensiblemente más sencilla que la de uno de mampostería. Lo más habitual es que sean de hormigón en masa, aunque puede usarse hormigón ciclópeo y hormigón armado. El hormigón en masa presenta el inconveniente, con respecto a la mampostería, de que el agua se infiltra con facilidad en su interior, y puede causar tensiones intersticiales que hagan peligrar la obra. Se puede evitar en parte ese inconveniente usando hormigón ciclópeo, es decir, aquel a cuya masa, una vez vertida en los encofrados, se incorporan grandes piedras o bloques, lo cual a

su vez exige una buena ejecución para que el reparto de esos bloques sea homogéneo en la obra, y no deje huecos. Por último, el hormigón armado tiene bastante menos tradición en la hidrología forestal, en parte porque permite regular peor la descarga de los caudales líquidos aguas abajo, cuestión que ya se ha dicho es fundamental en los diques transversales. No obstante, tiene la ventaja de que no precisa empotramientos rocosos y conlleva un volumen de obra mucho menor. De hecho, la Ingeniería de Montes francesa utiliza mucho los diques de hormigón armado, en especial los llamados “autoestables”, en los que la cuña de sedimentos ejerce un decisivo efecto estabilizante (Deymier *et al.*, 1995) (Figura 11.24).

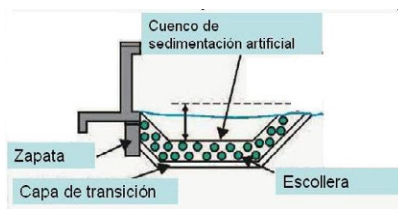


Figura 11.24: Dique de hormigón armado con cuenco de sedimentación previa, construido en Francia: perfil transversal (izquierda) y obra terminada (traducido de Tacnet y Richard, 2010: 167).

### c) Diques de materiales sueltos.

Los principales materiales que se usan para este tipo de diques son la tierra o la tierra armada. Este último tipo mejora la resistencia del terraplén mediante el uso de bandas o tiras de acero galvanizado o inoxidable, lo que reduce considerablemente el volumen de tierra preciso para lograr la misma resistencia (Dal-Ré y Ayuga, 1996). Pueden ser diques homogéneos (se componen de material de una sola clase, excluida la protección de taludes), o heterogéneos (con un núcleo central impermeable, cubierto por zonas de material permeable que cubren, soportan y protegen el núcleo). El material que forma el dique debe ser suficientemente impermeable como para que la velocidad del agua a través de él sea tan lenta que no cause erosión, y la línea de saturación debe situarse lo más bajo que sea posible en el paramento aguas abajo, cortando la base del dique, para lo cual, si es preciso, se establecerá un drenaje a pie de paramento aguas abajo (López Cadenas de Llano, 1988: 78-85) (Figura 11.25).

La construcción de diques de tierra presenta indudables ventajas de tipo económico, práctico y tecnológico, en particular cuando se trata de construir obras transversales de retención en cauces donde las fábricas de hormigón o mampostería antes explicadas resultan de difícil o costosa ejecución por falta de materiales adecuados: gravas y arenas en el caso del hormigón, o piedra de tamaño adecuado para la mampostería. Además, su construcción es altamente mecanizable. En definitiva, pueden ser una solución interesante, desde el punto de vista económico y tecnológico, para la corrección de cauces en zonas poco pobladas y de deficiente infraestructura viaria.

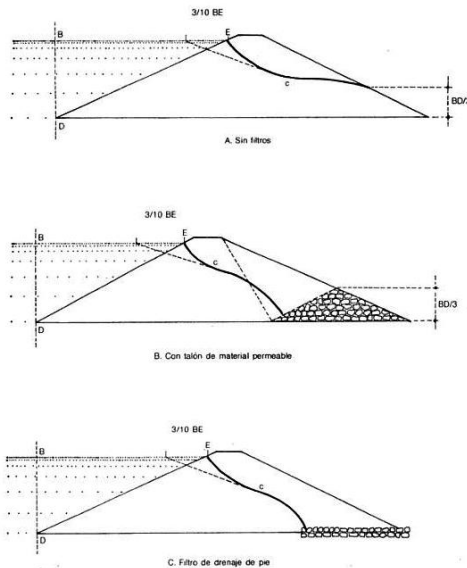


Figura 11.25: Líneas de saturación en un dique de tierra, sin filtros y con dos tipos distintos de filtro al pie del espaldón del dique (López Cadenas de Llano, 1988: 84).

Sin embargo, presentan al mismo tiempo una limitación fundamental, por otra parte evidente, que no sólo impide su uso generalizado, sino que ha causado que sean las estructuras menos empleadas en la obra hidrológico-forestal española, a diferencia de otros sectores, como el agrícola, donde son frecuentes. Se trata de los problemas que causa la evacuación de las aguas de descarga por encima de una estructura que, en este tipo de diques, se compone de materiales suelos y por tanto erosionables. En efecto, la evacuación de estas aguas, que en las estructuras de fábrica se efectuaría normalmente sobre el paramento de aguas abajo del dique mediante un vertedero practicado en el cuerpo central, no es posible en estas estructuras porque arruinaría el paramento de aguas abajo, y en definitiva el dique entero.

A esta limitación fundamental se añaden otras tres, que podríamos calificar de secundarias: 1º) la imposibilidad de practicar troneras o mechinales en el cuerpo del dique que faciliten la evacuación de las aguas bajas a través de la estructura; 2º) la acusada tendencia que muestran hacia la tubificación (incluso dentro del cuerpo del dique), si no se realizan con unos estudios muy detallados de estabilidad y flujo hidráulico; y 3º) la estabilidad de estos diques exige que su dimensión transversal, y sobre todo su anchura en el sentido de la corriente, sea sensiblemente mayor que su altura, lo cual no es posible en muchos cursos torrenciales, fuertemente encajonados.

Como alternativa a los diques de tierra, usando también materiales sueltos, existen los diques de escollera, muy poco usados en la Ingeniería de Montes, ya que, a los problemas de arrastre y erosión progresiva del talud que se presentan en los diques de tierra, en los de escollera el agua, infiltrada entre los sólidos gruesos, puede causar un deslizamiento en masa (Toledo, 1999).

Por eso, los diques de materiales sueltos, salvo que sean de escasa significación (en cuyo caso hablaríamos más bien de una albarrada), o bien deben tener pantallas o macizos impermeables para resistir el empuje, la filtración y el paso del agua, o bien ser complementarias de diques de las demás fábricas explicadas hasta ahora.

#### d) Diques de materiales mixtos.

Son estructuras que se componen de dos o más de los tipos de fábrica antes explicados. La literatura (Romero, coord., 2007: 30-31; López Cadenas de Llano, 1988: 85-96; López Cadenas de Llano, dir., 1998: 726-736) recoge la siguiente subclasificación:

- Diques de fábrica celular con armazón de vigas enlazadas. Están contruidos con vigas metálicas o de hormigón armado, que se empotran en peanas de mampostería hidráulica y hormigón armado, formando células que se rellenan de tierra o grava.
- Diques de elementos metálicos prefabricados, que se unen mediante pernos, formando cajones que se rellenan posteriormente de tierra o piedras. De este modo se logra una estructura uniforme, de la altura, longitud y profundidad deseada, con la ventaja de poder ser fabricada en serie y transportada fácilmente hasta la obra.
- Diques reticulares de rastrillo y enrejado. El cuerpo central del dique está formado por una malla grande (retículo) de perfiles de hierro, anclado a una zapata y alas de hormigón o mampostería. La función de este tipo de diques es la de consolidación, haciendo la zapata de umbral de fijación del cauce, y la retícula o rastrillo de elemento de retención de los materiales gruesos. En el caso de que el cuerpo central esté formado por otro tipo de materiales prefabricados, tales como enrejados o mallas, la función del dique pasa a ser sólo la de retención.

- Dique filtrante de bloque de hormigón prefabricado. El cuerpo del dique está formado por bloques de hormigón prefabricados y superpuestos formando hiladas, con una separación entre ellos que puede ser modificada dependiendo de las características granulométricas de los materiales que se quiera retener. Puede ser útil, como el caso anterior, para la retención selectiva de materiales gruesos transportados por la corriente, con la ventaja sobre éste de tener un cierto grado de elasticidad, lo que permite anclarlos en materiales poco consistentes, o usarlos para retención de gruesos arrastrados con bastante energía.

Se presentan diseños de los distintos tipos de diques de materiales mixtos en la Figura 11.26.

e) Diques de otros materiales.

Por último, cabe añadir que se pueden usar diques de otros materiales, que se han usado sólo esporádicamente en España: bien permanentes, como acero inoxidable o galvanizado, bien temporales o biodegradables, como madera, paja, etc. (Conesa, 2004: 130-131). Estos últimos, lógicamente, sólo se pueden usar para la corrección de cauces de escasa importancia.

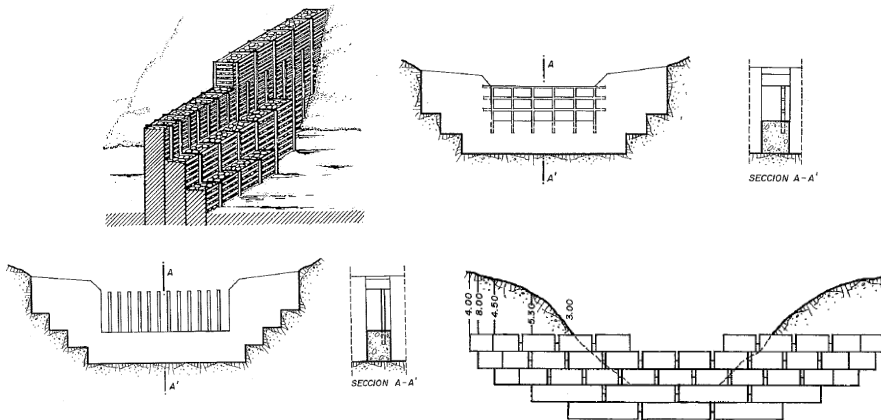


Figura 11.26: Diques de materiales mixtos. De izquierda a derecha, y de arriba abajo: diques de fábrica celular con armazón de vigas enlazadas; dique reticular; dique de rastrillo; dique filtrante de bloque de hormigón prefabricado (López Cadenas de Llano, dir., 1998: 726-736).



### 3.1.4. Las obras transversales según su método de cálculo

Según el método de cálculo de la estabilidad de la estructura, que se refiere en última instancia a la forma en que resiste el empuje hidrostático, los diques se clasifican del modo siguiente (López Cadenas de Llano, 1965; Conesa, 2004: 129): diques de gravedad (macizos o aligerados), diques curvos (de arco o de bóveda); y diques mixtos.

En los diques de gravedad (que son, con mucho, los más frecuentes en España) el peso de la estructura es la principal fuerza estabilizante, y el cálculo de su estabilidad al vuelco y al rozamiento es muy sencillo. Obviamente, las presas de materiales sueltos resisten siempre por gravedad. Como las estructuras macizas tienen un gran margen de estabilidad, existen los llamados “diques aligerados” (o diques de contrafuertes; Figura 11.27), en los que se pretende ahorrar material mediante la inclusión en la obra de galerías horizontales o huecos verticales, quedando constituida la obra por una serie de contrafuertes (resistentes por su peso) en los que se apoya la pantalla que transmite a ellos el empuje hidrostático. En cualquier caso, en los diques de gravedad ha de comprobarse en fase de proyecto que no se producen tensiones de tracción en ningún punto del dique, y que la subpresión (el empuje vertical hacia arriba del agua infiltrada bajo los cimientos de la obra) no causa problemas de inestabilidad.

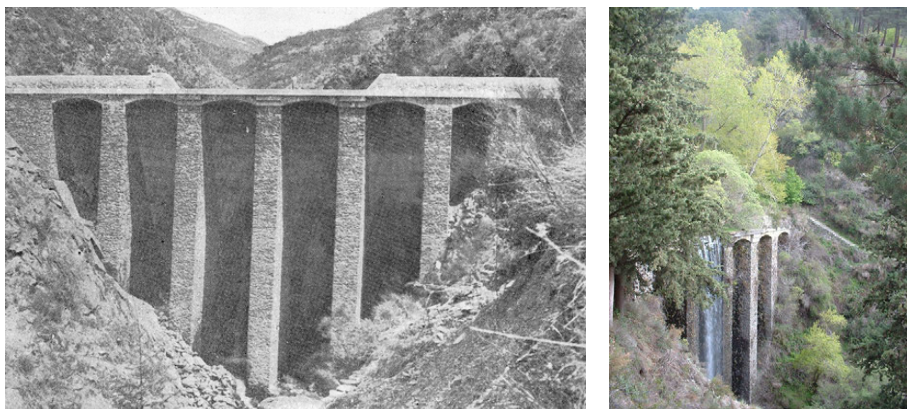


Figura 11.27: Dique nº 24 de la corrección del río Chico (Órgiva, Granada), del tipo “aligerado” o de contrafuertes. A la izquierda, en 1946 (Foto: Revista “Montes”); a la derecha, en 2006 (Foto: S. Lea).

Los diques curvos no logran su estabilidad por el peso, sino por la forma de la estructura y la resistencia del material. Pueden tener curvatura sólo horizontal (diques en arco) o doble (diques en bóveda sencilla o en cúpula), que es lo más habitual. El empuje del agua sobre la parte convexa del arco se transmite a través de la estructura al terreno donde se empotra,

lo cual causa solicitaciones de compresión elevadas. Ello requiere la comprobación en fase de proyecto de lo siguiente: 1º) que el terreno donde se practiquen los empotramientos sea de roca con buenas calidades mecánicas; 2º) que los ángulos de incidencia de las cargas sobre el terreno sean lo más cercanos que sea posible a la perpendicular.

Por último, en los diques mixtos la resistencia se logra tanto por el peso como por la forma. Es el caso de los diques de arco-gravedad, en los que, para descargar esfuerzos en el arco, se dota al dique de cierto peso. Es también el caso de los diques de bóvedas múltiples, constituidos por contrafuertes que resisten por gravedad el empuje hidrostático que les transmiten unas bóvedas en contacto directo con el agua.

La gran ventaja de los diques curvos es una importante reducción del volumen de fábrica (del 35 al 85% del equivalente en diques de gravedad), mientras que sus desventajas, que causan que sean estructuras poco usadas en la corrección torrencial (aunque en España haya obras excelentes de este tipo; Figura 11.28), radican en que el coste de las complicadas estructuras para forjar el hormigón y la instalación de refuerzos de acero suelen causar que la construcción acabe siendo más cara, a pesar del ahorro en volumen de obra. Por otra parte, son estructuras que no resisten bien los esfuerzos dinámicos.



Figura 11.28: Dique en arco con trampolín adosado en el vertedero central, para alejar la lámina de desagüe del pie de la estructura (Foto: memoria del ICONA, 1979; Fuente: Fototeca forestal española, DGB-INIA).

## 3.2. Obras longitudinales y mixtas

### 3.2.1. Características generales de las obras longitudinales

Las obras longitudinales tienen su campo de aplicación preferente en los cursos de agua que, presentando crecidas importantes, tengan un régimen fluvial o semifluvial. Sólo en casos muy concretos (como por ejemplo, para evitar la meandrificación de un río: Martín Vide, 2006: 140) puede acudir-se en los cauces fluviales a obras transversales para fijar el lecho y conseguir una disminución de la tensión tractiva del agua por reducción de la pendiente.

En efecto: dentro de la dinámica fluvial normal se halla el fenómeno de erosión lateral de los ríos, que consiste en que la fuerza centrífuga que sufre el agua en las curvas o meandros produce en la parte exterior de éstos socavaciones en el margen y en el fondo del lecho, arrastrando sólidos que son depositados en las zonas donde disminuye la tensión tractiva, por ejemplo en secciones más anchas. Este fenómeno se agudiza cuando se producen las crecidas, que en ríos caudalosos causan modificaciones muy bruscas en el trazado de los meandros. La protección de bienes y personas, o la existencia de determinados problemas erosivos locales, puede justificar la realización de obras longitudinales, que buscan la rectificación del eje de la corriente, esto es, la corrección horizontal del cauce (a diferencia de las obras transversales, que buscan su corrección vertical), evitando los desequilibrios producidos por curvaturas excesivas de la traza.

Sin embargo, en cursos torrenciales no procede esa rectificación del cauce con carácter general, porque, evidentemente, el torrente canalizado alcanza velocidades en el centro del cauce superiores a las de antes de la corrección, lo cual, por un lado, agrava el problema erosivo aguas debajo de la obra longitudinal, y por otro lado, puede producir erosiones fuertes junto a los muros de encauzamiento, que causen su ruina. Sin embargo, las obras longitudinales pueden cumplir una misión complementaria de las transversales, con tres misiones distintas, que habitualmente cumplen de manera simultánea: evitar la erosión lateral (obras de protección o de defensa contra la erosión), prevenir los deslizamientos de laderas (obras de contención) o defender las orillas y márgenes del cauce contra las inundaciones (obras de adecuación de cauces, en particular encauzamientos). En la Figura 11.29, se presenta un cuadro sinóptico que resume las funciones que en la corrección torrencial pueden tener cada uno de los tipos de obras longitudinales:

Obras de defensa contra erosiones laterales	Se aplican principalmente en los tramos de garganta y en las zonas inferiores de las ramblas donde son frecuentes erosiones laterales discontinuas en puntos concretos del cauce	Espigones	Estructuras sumergibles, que se apoyan o empotran en la orilla, perpendiculares al flujo o divergentes a contracorriente. Defienden las orillas, obligando al curso de agua a seguir una curva más suave y no erosiva
		Malecones o muros de defensa	De hormigón o mampostería hidráulica o gavionada, protegen directamente a las márgenes frente a erosiones laterales y regulan la sección del cauce
		Escolleras	Sencilias y económicas, recubren con materiales sueltos (grandes piedras o bloques) los taludes y orillas sometidos a erosión. Puede plantarse con especies arbustivas, y hacerse de enrejados metálicos o gaviones
Obras para la contención de deslizamientos de laderas	Normalmente se construyen muros de altura suficiente en la base de las laderas de los torrentes.		
Obras de defensa para evitar inundaciones (encauzamientos)	Consisten en la construcción de dos malecones, uno en cada orilla, para regularizar y consolidar las márgenes del cauce, definiendo una sección con capacidad de desagüe suficiente para evacuar avenidas de elevado periodo de retomo	Encauzamiento naturalizado con lecho no erosionable	Empleando materiales de revestimiento de lecho y márgenes que resistan la tensión de arrastre de los máximos caudales, siendo recomendable disponer a intervalos regulares de unos rastrillos de fondo transversales
		Encauzamiento escalonado en tramos erosionables sobre lecho natural	Formado por muros cajeros resistentes y pequeños diques transversales o rastrillos, que escalonan la descarga y reducen la velocidad de flujo
		Encauzamiento con canal rápido y solera resistente	Canales de obra de fábrica muy resistente, en las que se concilian la suficiencia de la sección con la pendiente y la rugosidad de la solera, para que no se produzcan velocidades inadmisibles

Figura 11.29: Cuadro sinóptico de la aplicabilidad de las obras longitudinales en la corrección torrencial (Palacio, coord., 1999).

Aun así, algunos de los tipos descritos en el cuadro anterior tienen una aplicación muy limitada en los cauces torrenciales. Por ejemplo, las obras longitudinales de contención de deslizamientos de ladera son mucho menos eficaces que la consolidación mediante los aterramientos de diques. Por eso, en general las obras longitudinales sólo se plantean en cauces torrenciales para la defensa de infraestructuras, bienes o personas, o para evitar la divagación de los torrentes en los conos de deyección o en los canales de desagüe, o en situaciones excepcionales.

Por último, cabe subrayar que a la hora de diseñar obras longitudinales en cursos torrenciales, hemos de recordar estas reglas (López Cadenas de Llano, 1988: 24-26):

— Estas estructuras fuerzan a las aguas a un trazado diferente al que el cauce tiende a seguir, por lo cual conviene ajustarse lo más posible a la que pueda considerarse como tendencia de equilibrio natural del cauce, para evitar efectos de desequilibrio lateral del flujo.

— Se debe respetar el principio de que el cauce precisa, en todos sus tramos, de unas secciones de flujo suficientes, que tengan radios hidráulicos acordes a la resistencia a la erosión de los materiales del contorno. Una reducción excesiva de la sección incrementa la tensión tractiva, de modo que el tramo tiende a estabilizarse erosionando el lecho en la parta alta del encauzamiento, y depositando sedimentos en la parte baja. Por eso pueden diseñarse zonas de depósito de los sedimentos, denominadas ‘plazoletas’, para evitar la sedimentación en el canal rápido. Debe tenerse en cuenta que estas secciones a respetar pueden ser muy anchas en las ramblas y torrentes-rambla, y también en los torrentes con materiales gruesos en el lecho, que tienden de manera acusada a la divagación del flujo, formando cauces fuertemente anastomosados. En estos cauces, los estrechamientos artificiales de la sección causan inestabilidad en el tramo defendido y aguas abajo (García y Puigdefábregas, 1985).

### 3.2.2. Tipos de obras longitudinales

Siguiendo la clasificación anterior, se repasan muy someramente los principales tipos de obras longitudinales de protección o de defensa contra la erosión y de adecuación de cauces (no se estudian los muros de contención de laderas, por su escasa aplicación en la Ingeniería de Montes, y porque no presentan diferencias estructurales importantes con los diques longitudinales):

#### a) Obras de protección o de defensa contra la erosión.

Las principales obras son los malecones y muros de defensa, los espigones y las escolleras. Los malecones, o muros, o diques longitudinales, son barreras continuas de fábricas no erosionables, tanto rígidas (hormigón, mampostería hidráulica) como deformables (mampostería gavionada). Pueden ser no sumergibles (que restringen la inundación a la zona comprendida entre ellos), o sumergibles (que definen un cauce de evacuación de avenidas ordinarias, pero permiten la inundación de los terrenos adyacentes en las crecidas). Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que estas defensas impiden sustancialmente el drenaje normal de la cuenca adyacente hacia el cauce, por lo que exigen la construcción de un sistema de drenaje (Herreras y Marín, 2000: 44). Las escolleras, por su parte, son protecciones de las márgenes que aumentan su tensión resistente, revistiéndola de materiales sueltos de mayor diámetro que los del lecho. Es importante subrayar que,

como obra complementaria o incluso sustitutiva de diques longitudinales, malecones o escolleras, cabe acudir a biotecnias tales plantaciones y recubrimientos vegetales.

Por su parte, el uso de espigones transversales a la corriente es también una actuación de control horizontal, pero, a diferencia de las anteriores, que son pasivas, es una técnica activa, en que la estructura disminuye la tensión tractiva del agua mediante el establecimiento de zonas de poca velocidad entre cada dos espigones, donde se producen sedimentaciones. Debe tenerse en cuenta que las fajas ocupadas por los espigones son una zona de aguas muertas que desde el punto de vista hidráulico supone una reducción de la sección útil de flujo del cauce útil, con el ya comentado efecto de incremento del radio hidráulico ocupado por las descargas y, por tanto, de erosión del centro del cauce, al que suma el efecto de los torbellinos que se forman junto a las cabezas de los espigones, lo que exige un adecuado estudio de la obra para evitar procesos erosivos que pueden incluso arruinarla (Martín Vide, 2006: 129-131; Roca *et al.*, 2000 (Figura 11.30).

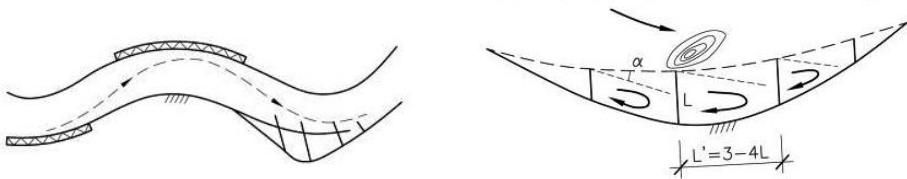


Figura 11.30: A la izquierda, esquema de las obras longitudinales de defensa contra la erosión: paralelos al eje del cauce, malecones o escolleras; perpendiculares u oblicuas a él, espigones. A la derecha, recirculación y erosión local en las cercanías de los espigones (Martín Vide, 2006: 129-130).

#### b) Obras de adecuación de cauces.

Como ya se ha dicho anteriormente, estas obras buscan aumentar la velocidad del caudal líquido, lo cual disminuirá el calado y aumentará la capacidad de desagüe del tramo (Martín Vide, 2006: 101). Habitualmente, se entiende que las obras más comunes para ello son las canalizaciones y encauzamientos, aunque no debe olvidarse que hay biotecnias muy relevantes que pueden ayudar a tal fin, o incluso sustituir a las obras, como la práctica de adecuados tratamientos selvícolas en la vegetación de los márgenes (desbrozado de malezas, poda, retirada de pies secos o decrépitos, claras selectivas). También es una técnica muy útil, en la parte baja de los cauces torrenciales, la creación de cauces alternativos, que en determinadas crecidas puedan evacuar los excedentes de caudal (Figura 11.31).



Figura 11.31: Torrente de Arás (Biescas, Huesca): en las obras tras la catastrófica avenida de 1996, se construyó un cauce curvo que pasó a ser el ordinario, dejando como alternativo el antiguo encauzamiento rectilíneo del torrente en el cono de deyección (Nicolás, 2001: 184).

En cambio, el dragado (la excavación del fondo o las márgenes del cauce, para ampliar la sección transversal) sólo tiene en los cauces torrenciales efectos muy limitados en el tiempo, si no se actúa sobre la emisión de sedimentos de la cuenca (Sainz de los Terreros *et al.*, 1991).

Se entiende por encauzamiento (Herreras y Marín, 2000: 43) el conjunto de obras que se precisan para fijar, en límites predeterminados, el cauce de un río con objeto de que la sección transversal y la pendiente longitudinal resultantes permitan el paso de un caudal máximo, que se denomina caudal de proyecto. Se trata de conseguir que una sección transversal relativamente pequeña evacue sin embargo un caudal elevado, mediante la reducción de la rugosidad y el incremento de la pendiente longitudinal del cauce. Dentro de los encauzamientos, y según los mismos autores, se entiende por canalización la ejecución de una serie de obras (generalmente muros longitudinales) que delimitan la sección transversal del cauce en espacios relativamente reducidos; pueden ir acompañadas, o no, por otras de protección localizada (máscaras, refuerzos, espigones, etc.) que garanticen la estabilidad del cauce y consigan, frecuentemente mediante la profundización del lecho, una mayor capacidad de transporte durante las avenidas.

Los encauzamientos torrenciales suelen exigir (salvo el caso, que se analiza a continuación, de los encauzamientos con tramos erosionables) un lecho no erosionable, bien porque tenga una solera resistente continua (de hormigón ciclópeo, mampostería hidráulica o escollera con mortero), bien porque se apliquen materiales de revestimiento del lecho

que resistan la tensión tractiva de los caudales, lo que se conoce como “encauzamiento naturalizado”. Los encauzamientos con soleras resistentes, en los que la velocidad del caudal es elevada, se complementan con canales rápidos, delimitados por obras longitudinales rígidas igualmente resistentes (Figura 11.32).



Figura 11.32: Torrente de Arás (Biescas, Huesca): encauzamiento con canal rápido y solera resistente (Nicolás, 2001: 184).

### 3.2.3. Las obras mixtas: encauzamientos escalonados de tramos erosionables.

Por último, existe el caso particular de los encauzamientos escalonados con tramos erosionables, que, siendo fundamentalmente (como su mismo nombre indica) de tipo longitudinal, integra elementos transversales, lo que justifica que se le califique como una obra “mixta”. Se trata de un canal escalonado por rastrillos entre los cuales se dota al lecho de la pendiente de compensación (López Cadenas de Llano, dir., 1998: 784-801) (Figura 11.33). Es una obra bastante naturalizada, puesto que, como se ha visto, deja la gran mayoría del lecho sin revestir artificialmente. No obstante, hay una limitación para su uso, que consiste en que los materiales que transporte el torrente sean de diámetro pequeño (como máximo, gravas), puesto que, de otra manera, los impactos causados por los acarreos desgastarían de manera notable la obra. Por eso, para cauces que arrastren bolos y materiales gruesos, se recomienda un canal rápido con solera resistente.



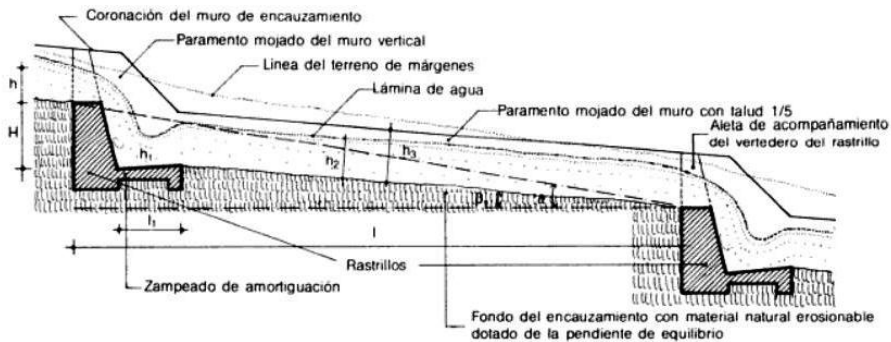


Figura 11.33: Esquema de un encauzamiento escalonado con tramos erosionables (López Cadenas de Llano, 1988: 109).

También cabe señalar que en los encauzamientos antes explicados (con canal rápido y solera resistente y naturalizado con lecho no erosionable) pueden incluirse elementos transversales, como rastrillos o umbrales de fondo, que escalonen la descarga, por lo que, en cierto modo, constituirán también obras mixtas. De hecho, en la corrección torrencial, toda obra longitudinal debe tener también un cierto componente transversal.

## 4. Bibliografía

- Aguiló, J.; N. Camacho; J. García Salmerón; F. López Cadenas de Llano; M. Magister & A. Pérez-Soba (1981). "La Corrección de cuencas torrenciales" in: Ramos, J.L. (coord.), *Tratado del medio natural*, III: 327-354. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Andréassian, V. (2004). "Waters and Forests: from historical controversy to scientific debate". *Journal of Hydrology*, 291: 1-27.
- Ayala, F.J. (2002). "El sofisma de la imprevisibilidad de las inundaciones y la responsabilidad social de los expertos: un análisis del caso español y sus alternativas". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 33: 79-92
- Baró, F. (1917). *La corrección de los torrentes y aludes en España*. Madrid: Imprenta Alemana.
- Baró, F. (1928). "Torrente", in: *Enciclopedia Universal Ilustrada Europeo Americana*, 62: 1.339-1.400. Madrid: Espasa-Calpe.
- Biro, Y.; C. Gracia & M. Palahí (2011). *Agua para los bosques y la sociedad en el Mediterráneo, un difícil equilibrio*. European Forest Institute.
- Blein, F. (1947). "Utilidad de los mechinales". *Montes. Publicación de los Ingenieros de Montes*, 14: 157-162.
- Bureau of Reclamation (2006). *Erosion and Sedimentation Manual*. Denver (Colorado): U.S. Department of the Interior.

- Callaway, R.M. & F.I. Pugnaire (1999). "Facilitation in plant communities", in: Pugnaire, F.I. & F. Valladares (eds.), *Handbook of functional plant ecology*. 623-648. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Camacho, N. (2002). "La razón de ser y justificación de la revisión de los proyectos y obras hidrológico-forestales ejecutados o en ejecución". *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 13: 143-146.
- Camarasa, A.M. (2006). "Inundaciones en España. Tipología. La importancia de las avenidas súbitas" in: Ayala, F.J.; J. Olcina; L. Laín & A. González (eds.). *Riesgos naturales y desarrollo sostenible: impacto, predicción y mitigación*, 167-178. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Castillo, V.; G.G. Barberá; W. Mosch; J.A. Navarro; C. Conesa; F. López Bermúdez (2002). "Seguimiento y evaluación de los trabajos de restauración hidrológico-forestal, III", in: López Bermúdez, F. (ed.), *Seguimiento y evaluación de los efectos sobre el medio natural de la sequía y los procesos erosivos en la Región de Murcia*. 166-233. Murcia: Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente.
- Catalina, M.A. (1992). *Análisis del comportamiento de las ramblas: aplicación a los cursos Rambla de Valcabra y Rambla de Moras en la cuenca alimentadora del río Negratín*. Tesis Doctoral. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes.
- Conesa, C. (2004). "Los diques de retención en cuencas de régimen torrencial: diseño, tipos y funciones". *Nimbus*, 13-14, 125-132.
- Conesa, C. & R. García (2007). *Erosión y diques de retención en la Cuenca Mediterránea*. Murcia: Instituto Euromediterráneo del Agua.
- Connell J.H. & R.O. Slatyer (1977). "Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organisation". *American Naturalist*, 98: 1119-1144.
- Dal-Ré, R. & F. Ayuga (1996). *Pequeños embalses de uso agrícola: diques de materiales sueltos*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.
- Deymier, C.; J.M. Tacnet & N. Mathys (1995). *Conception et calcul des barrages de correction torrentielle*. Grenoble: Cemagref Éditions.
- Díaz, V.; J. Mongil; J. Navarro & I. Ramos (2012). *Erosión en cárcavas: una revisión de los efectos de los diques forestales*. Comunicación técnica al XI Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA 11). URL: <http://www.conama2012.conama.org/conama10/download/files/conama11/CT%202010/1896706018.pdf> [25/03/2015].
- Díaz, V.; J. Mongil & J. Navarro (2014). "Propuesta de una nueva metodología para determinar la efectividad de los diques en la retención de sedimentos". *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 40(1): 169-190.
- FAO (1981). *Terminología de corrección de torrentes*. Roma: FAO.
- Faustino, J. (1993). *Conservación de suelos y aguas. Prácticas mecánicas y estructurales*. Turrialba (Costa Rica): Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Fell, R. & J.J. Fry (2007). *Internal erosion of dams and their foundation*. London: Taylor & Francis.
- Fernández Escalante, E. (coord.) (2010). *La gestión de la recarga artificial de acuíferos en el marco del desarrollo sostenible. Desarrollo tecnológico*. Madrid: Grafinat.
- Ferrer, M. (1995). "Los movimientos de ladera en España", in VV.AA., *Reducción de riesgos geológicos en España*. 69-82. Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España.
- García, J.M. & J. Puigdefábregas (1985). "Efectos de la construcción de pequeñas presas en cauces anastomosados del Pirineo Central". *Cuadernos de investigación geográfica*, 11: 91-102.

- García Nájera, J.M. (1962). *Principios de hidráulica torrencial. Su aplicación a la corrección de torrentes*. Madrid: Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias (IFIE).
- García Salmerón, J. (1991). *Manual de repoblaciones forestales: I*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes.
- García Salmerón, J. (1995). *Manual de repoblaciones forestales: II*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes.
- Gil, R. (coord.) (2004). *Grupo de trabajo 8. La restauración hidrológico-forestal: pasado, presente, futuro*. URL: <http://www.conama.org/documentos/GT8.pdf> [13/03/2015].
- Gómez Orea, D. & T. Gómez Villarino (2013). *Evaluación de impacto ambiental*. 3ª edición. Madrid: Mundi-Prensa.
- González, M.; A. del Campo; I. Bautista; A. Lidón; C. Lull; A. García & F.R. Francés (2013). "Efecto de la selvicultura hidrológica en una masa natural de *Quercus ilex ssp ballotá*", in: Montero, G.; M. Guijarro *et al.* (eds.), *Actas 6º Congreso Forestal Español*. CD-Rom. 6CFE01-286. Pontevedra: Sociedad Española de Ciencias Forestales.
- González del Tánago, M. (1991). "La Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo. Pasado, presente y futuro". *Ecología*, 5: 13-50.
- Gray, D. & A. Leiser (1982). *Biotechnical slope protection and erosion control*. Melbourne: Krieger Publishing Co.
- Heed, B. (1976). *Gully development and control. The status of our knowledge: Research Paper RM-19*. Fort Collins, Colorado: U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
- Hernández, A. (2014). *Actuaciones de emergencia post-incendio en Aragón*. Ponencia en la IV Jornada sobre conservación y rehabilitación de suelos: ecosistemas afectados por incendios forestales. URL: [http://www.iea.es/\\_docum/Actuaciones-emergencia-postincendio-Aragon-IEA-2014.pdf](http://www.iea.es/_docum/Actuaciones-emergencia-postincendio-Aragon-IEA-2014.pdf) [18/03/2015].
- Herreras, J.A. & G. Marín (2000). "El tratamiento de los cauces. Protección y defensa de avenidas. Zonas de riesgo". *OP Revista del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos*, 51: 40-49.
- Hudson, N. (1982). *Conservación del suelo*. Barcelona: Reverté.
- Jover, F. & V. Vidania (2001). *Especificaciones técnicas básicas para proyectos de corrección hidrológico-forestal de cauces torrenciales mediante hidrotecnias*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Montes y TRAGSA.
- Lasanta, T.; J. Arnaéz; P. Ruiz & L. Ortigosa (2010). "Los bancales en la montaña mediterránea: un paisaje multifuncional en proceso de degradación", in: Leco, F. (coord.), *Actas del XI Coloquio de Geografía Rural: Territorio, paisaje y patrimonio rural*. 198-209. Cáceres: Universidad de Extremadura.
- Leys, E. (1973). "Suggestions for a systematic view to dams and longitudinal structures used in torrent-control". *WLV*, 37: 43-60.
- Lombardi, F.; R.B. Junior; I.G. Lepsh; J.B. Oliveira; D. Bertolini; P.A. Galeti; M.I. Drugowich (1991). *Terraceamento agrícola*. Campinas (Brasil): CATI.
- López Cadenas de Llano, F. (1965). *Diques para la corrección de cursos torrenciales y métodos de cálculo*. Madrid: Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias (IFIE).
- López Cadenas de Llano, F. (1988). *Corrección de torrentes y estabilización de cauces*. Roma: FAO.
- López Cadenas de Llano, F. (dir.) (1998). *Restauración hidrológico-forestal de cuencas y control de la erosión*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, TRAGSA, TRAGSATEC y Mundi-Prensa.

- López Cadenas de Llano, F.; A. Pérez-Soba & C. Mondéjar (1982). "Influencia de las acciones forestales en la protección de la calidad de las aguas", in: VV.AA., *El agua en la región (I). Primeras Jornadas sobre protección de la calidad de las aguas*, pp.53-58. Madrid: Diputación Provincial de Madrid.
- Mac Cook, D.K. (2004). "A comprehensive discusión of piping and internal erosion and suffusion", in: *Proceedings of the 2004 Annual Association of State Dam Safety Officials*. 1-6. Phoenix (Arizona): Association of State Dam Safety Officials.
- Martín Rosales, W. (1997). *Efectos de los diques de retención en el borde meridional de la Sierra de Gádor*. Tesis doctoral. Granada: Universidad de Granada.
- Martín Vide, J.P. (2006). *Ingeniería de ríos*. Segunda edición. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Martínez Ruiz, C.; B. Fernández & J.M. Gómez (1996). "Las herbáceas en la recuperación de suelos erosionados", in: *Actas de la XXXVI reunión científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*: 103-106. Logroño: Gobierno de La Rioja.
- Martínez de Azagra, A.; R. Fernández de Villarán; A. Seseña; C. Méndez; J.M. Díez; J. Navarro & J.M. Varela (2002). "Metodología para la inventariación de diques forestales gavionados. Aplicación en la provincia de Palencia". *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 13: 171-181.
- Mintegui, J.A. & F. López (1990). *La ordenación agrohidrológica en la planificación*. Vitoria: Gobierno Vasco.
- Mintegui, J.A. & J.C. Robredo (2008). *Estrategias para el control de los fenómenos torrenciales y la ordenación sustentable de las aguas, suelos y bosques de las cuencas de montaña*. Montevideo: UNESCO.
- Mintegui, J.A.; J.C. Robredo; C. de Gonzalo & P. Huelín (2009). "La incidencia de las masas arboladas en los ciclos del agua y de los sedimentos en la cuenca hidrográfica: su repercusión en la ordenación y restauración de la misma", in: Sociedad Española de Ciencias Forestales & Junta de Castilla y León (eds.), *Actas 5º Congreso Forestal Español*(CD-Rom). Pontevedra: Sociedad Española de Ciencias Forestales.
- Molen, W.H. van der; J. Martínez Beltrán & W.J. Ochs (2007). *Guidelines and computer programs for the planning and design of land drainage systems*. Roma:FAO.
- Molina, A. (2011). *Aproximación al ciclo hidrológico de una masa de Pinus halepensis con diferentes grados de cobertura vegetal*. Trabajo fin de máster. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Mongil, J. & A. Martínez de Azagra (2006). "Diseño de repoblaciones forestales en zonas áridas: tamaño del microembalse y relación entre el área de impluvio y el área de recepción". *Investigaciones Geográficas*, 40: 201-226.
- Monsalve, M. (Coord.) (1995). *Manual de Forestación*. Valladolid: Junta de Castilla y León.
- Morales, A. (2004). *Presas de mampostería*. Madrid: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).
- Moreira, J. M. (1989). *La erosión de los suelos en el valle central del río Guadalquivir. Su influencia en el uso y gestión de las tierras*. Tesis doctoral. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Navarro, F.B.; M.N. Jiménez; I. Bocio; E. Gallego; E. de Simón; M.A. Ripoll (2004). "Microcuencas: una técnica de preparación del suelo en zonas semiáridas", in: González, J.L.; E. de Simón & M.A. Ripoll (coords.), *Forestación en paisajes agrarios*: 95-118. Sevilla: Junta de Andalucía.
- Nicolás, J. (2001). *Restauración hidrológico-forestal de la cuenca del torrente Arás*. Madrid: Tragsa y Tragsatec.

- Núñez, G.; C. Barahona & S. Arriagada (1982). *Mampostería gavionada en la protección hidrológico forestal*. Santiago de Chile: CONAF.
- Palacio, E. del (coord.) (1999). *La restauración hidrológico-forestal. Gestión sostenible de los recursos suelo, agua y vegetación*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.
- Palacio, E. del (coord.) (2002). *Las ramblas: los ríos invisibles. La restauración hidrológico-forestal de ramblas en el ámbito mediterráneo*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.
- Palacio, E. del (coord.) (2013). *Cien años de restauración hidrológico-forestal*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Pemán, J. & R.M. Navarro (1998). *Repoblaciones Forestales*. Lérida: Universidad de Lérida.
- Pemán, J.; R.M. Navarro & R. Serrada (2006). "Elección de especies en las repoblaciones forestales. Contribuciones del profesor Ruiz de la Torre". *Investigación Agraria: Sistemas de Recursos Forestales*, Fuera de serie: 87-102.
- Pemán, J. & I. Pérez-Soba (2013). "Los Ayerbe: tres Ingenieros de Montes altoaragoneses y su aportación a la hidrología forestal española". *Lucas Mallada. Revista de Ciencias*, 15: 99-160.
- Pérez-Soba, A. (1982). "La restauración hidrológico-forestal de cuencas", in: VV.AA., *Primeras Jornadas Forestales Hispano-mexicanas*, pp. 80-99. Toluca (México): Instituto Nacional de Investigaciones Forestales.
- Pérez-Soba, A. (1985). "Influencias de la vegetación en la conservación del suelo y del agua". *El Campo. Boletín de información agraria*, 98: 106-111.
- Pérez-Soba, I. (2002a). "Consideraciones sobre el cálculo por comparación de la pendiente de compensación en la corrección hidrológico-forestal". *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 13: 153-158.
- Pérez-Soba, I. (2002b). "Conclusiones hidrológicas de la evaluación de diques de corrección hidrológico-forestal". *Ingeniería civil*, 126: 93-100.
- Pérez-Soba, I. (2008). "Diseño y cálculo de los mechinales en los diques de corrección de ramblas y torrentes". *Montes: revista de ámbito forestal*, 93: 19-24.
- Pérez-Soba, I. (2009). "Diferencias hidrológicas entre ramblas y torrentes-ramblas" in: Sociedad Española de Ciencias Forestales & Junta de Castilla y León (eds.), *Actas 5º Congreso Forestal Español* (CD-Rom). Pontevedra: Sociedad Española de Ciencias Forestales.
- Pérez-Soba, I. (2011). "Cálculo de la altura del vertedero de un dique de corrección torrencial, en el caso de estrechamiento súbito del perfil transversal". *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 32: 103-107.
- Poirée, M. & Ch. Ollier. (1986). *Saneamiento agrícola*. Barcelona: Editores Técnicos Asociados.
- Prado, L. do (2000). "Barreras físicas para el control y encauzamiento de la escorrentía", in: VV.AA., *Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos*. Roma: FAO.
- Pulido, A.; E. Simón; W. Martín; A. Vallejos; A. Padilla & F. Navarrete (1993). "Efectos sobre el medio de los diques de retención en la vertiente sur de la sierra de Gádor (Almería)", in: Ortiz, R. (ed.): *Problemática ambiental y desarrollo, V Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*. 119-128. Madrid: Sociedad Española de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio.
- Quesnel, B. (1963). *Traité d'hydraulique fluviale appliquée. Cors d' eau non navigables*. Paris: Editions Eyrolles.
- Roca, M.; A. Heleno; J.P. Martín Vide & A. Bateman (2000). "Influencia del ángulo de orientación de estribos y espigones en los procesos de erosión local". *Ingeniería del agua*, 7 (3): 263-270

- Rodríguez Estrella, T.; M. Martínez & A. Romero (2006). 'Utilización de diques de corrección hidrológica para recarga de acuíferos y propuesta de otros nuevos en la cuenca del río Quípar (Sureste de España)'; in: VV.AA., *Las aguas subterráneas en los países mediterráneos*. 413-418. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Romero, A. (coord.) (2007). *Los diques de corrección hidrológica: Cuenca del río Quípar (Sureste de España)*. Murcia: Universidad de Murcia.
- Romero, A. (2008). "Los diques de corrección hidrológica como instrumentos de cuantificación de la erosión". *Cuadernos de investigación geográfica*, (34): 83-99.
- Romero, A. & F. Belmonte (2008). *Erosión en forestaciones aterrazadas en medios semiáridos: Región de Murcia*. Murcia: Universidad de Murcia.
- Ruiz, J. & I. Luque (2010). "Actuaciones de emergencia para la defensa del suelo tras un gran incendio forestal en Andalucía", in: Díaz, M.; E. Benito; T. Carballas; M.T. Fontúrbel & J.A. Vega (eds.), *Actas de las Jornadas Internacionales Investigación y gestión para la protección del suelo y restauración de los ecosistemas forestales afectados por incendios forestales*. 49-64. Santiago de Compostela: Universidad.
- Ruiz de la Torre, J. (2000). "La erosión". *OP. Revista del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos*, 51: 50-57.
- Sainz de los Terreros, M.; D. García de Jalón & M. Mayo (1991). *Canalización y dragado de cauces. Sus efectos y técnicas para la restauración del río y sus riberas*. Vitoria: Diputación Foral de Álava.
- Sanjaume, E; F. Segura & M.J. Meyer (1985). "Estudio sedimentológico de la Rambla de Chiva". *Cuadernos de investigación geográfica*, 11: 125-136.
- Serrada, R. (2000). *Apuntes de Repoblaciones Forestales*. Madrid: FUCOVASA.
- Serrada, R. (2008). *Apuntes de Selvicultura*. Madrid: EUIT Forestal.
- Serrada, R.; M.J. Aroca, S. Roig; A. Bravo & V. Gómez (2011). *Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en el sector forestal: notas sobre gestión adaptativa de las masas forestales ante el cambio climático*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Sociedad Española de Ciencias Forestales (2005). *Diccionario forestal*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Stevensa, C.J.; J.N. Quintona; A.P. Bailey; C. Deasya; M. Silgramd & D.R. Jackson (2009). "The effects of minimal tillage, contour cultivation and in-field vegetative barriers on soil erosion and phosphorus loss". *Soil and Tillage Research*, 106: 145-151.
- Sturgul, S.J.; T.C. Daniel & D.H. Mueller (1990). "Tillage and canopy cover effects on interrill erosion from first-year alfalfa". *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54: 1733-1739.
- Stuyt, L.C.P.M.; W. Dierickx & J. Martínez Beltrán (2009). *Materiales para sistemas de drenaje subterráneo*. Roma: FAO.
- Tacnet, J. M., & D. Richard (2010). "De la conception à la sûreté des barrages de correction torrentielle". *Sciences Eaux & Territoires*, (2): 164-175.
- Tanji, K.K. & N.C. Kielen (2002). *Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas*. Roma:FAO.
- Tardío, G. & C. Caballero (2008). *Nuevo elemento para controlar la erosión*. Comunicación técnica al IX Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA 9) URL: [http://servicios.educarm.es/templates/portal/ficheros/websDinamicas/20/diques\\_mixtos.pdf](http://servicios.educarm.es/templates/portal/ficheros/websDinamicas/20/diques_mixtos.pdf) [25/03/2015].
- Thornes, J.B. (1976). *Semiarid erosional systems*. London: School of Economics and Political Science.

- Thornes, J.B. (1980). "Structural instability and ephemeral channel behaviour". *Z. Geom. N.F.*, 36: 233-244.
- Toledo, M.A. (1999). *Diseño de presas de escollera resistentes al sobrevertido*. Madrid: Comité Español de Grandes Presas.
- Wischmeier, W. H. & D.D. Smith (1978). *Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning*. Washington DC: U.S. Department of Agriculture.
- Yoo, K.H. & E.W. Rochester (1989). "Variation of runoff characteristics under conservation tillage systems". *Transactions of the ASAE*, 32: 1625-1630.
- Zribi, W.; J.M. Faci & R. Aragüés (2011) "Efectos del acolchado sobre la humedad, temperatura, estructura y salinidad de los suelos agrícolas". *Información técnica económica agraria*, 107 (2): 148-162.

## CAPÍTULO 12

---

# Hidrología, erosión y restauración de suelos volcánicos afectados por incendios forestales: experiencia en las Islas Canarias

Neris Tomé, Jonay  
Santamarta Cerezal, Juan Carlos  
Prieto Prieto, Francisco  
Agulló Pérez, Juan  
García Villegas, Paloma

## 1. Introducción

Los Andisoles son los suelos característicos de las regiones volcánicas como las laderas de cotas medias y húmedas de las islas más montañosas del archipiélago canario (Rodríguez Paz et al., 2010; Tejedor et al., 2009). Estos suelos han sido tradicionalmente considerados como altamente resistentes a los procesos de erosión hídrica gracias a su elevada capacidad de infiltración así como a una baja susceptibilidad a la erosión en condiciones naturales, que permiten su desarrollo en zonas de elevada pendiente. Sin embargo, la elevada susceptibilidad a las perturbaciones ambientales de los componentes que le aportan esta estabilidad hace que este equilibrio hidrológico y erosivo sea muy frágil ante el impacto de los incendios forestales. Esta inestabilidad de los Andisoles frente a los cambios ambientales, junto con su ubicación en zonas de elevada pendiente cercanas a áreas urbanas con gran densidad de población, hace que estos suelos sean considerados uno de los más susceptibles a los procesos erosivos catastróficos como riadas, deslizamientos de laderas o flujos de barro inducidos por la alteración de sus condiciones naturales.

En la historia y presente de las Islas Canarias se encuentran numerosas alusiones históricas y vivencias recientes como riadas, acarreo o flujos de barro directamente relacionados con lluvias intensas o persistentes tras incendios forestales y que en algunos casos han tenido resultados catastróficos. Este estudio pretende revisar las experiencias, estudios e innovaciones técnicas de restauración desarrolladas en esta tipología de suelos tras incendios forestales en las Islas Canarias.



## 2. Experiencias, avances científicos e innovación tras los incendios en Canarias

### 2.1. El riesgo hidrológico post-incendio: la realidad histórica de la isla de La Palma

La isla de La Palma es un magnífico laboratorio para el estudio de los efectos de los incendios forestales en la hidrología de los Andisoles. Su orografía caracterizada por fuertes pendientes, no en vano es considerada la tercera isla más alta del mundo en relación a su superficie; su especial régimen de lluvias, con frecuentes borrascas atlánticas que dejan lluvias de elevada intensidad durante el otoño; y su elevada cobertura forestal susceptible a sufrir incendios, el total de la isla cubierto por montes de pino y laurisilva alcanza el 50%; le confieren unas particularidades que la hacen altamente susceptible a la ocurrencia de riadas, avenidas, coladas de barro y otros eventos erosivos de gran magnitud inducidos por la lluvia y el fuego.

Históricamente ha quedado constancia en la prensa local de la isla de multitud de ejemplos que asocian los incendios forestales con la pérdida de vidas y los daños producidos a infraestructuras por lluvias torrenciales. Según Brito (2012), las primeras referencias que se conocen datan del siglo XVI cuando las crónicas locales recogen, en su edición del 9 de octubre de 1783, la noticia de la muerte de tres personas y daños por fuertes lluvias, haciendo referencia al incendio acaecido en los montes de la isla (Figura 12.1).

**«Entre once y una del día, corrió el barranco de Santa Catalina con tanta abundancia de agua y tan fuertes sus extragos, que será memorable por muchos años. Se llevó siete casas y arruinó otras muchas de las inmediaciones, llevándose la Cruz del Tercero (así se llamaba la Cruz puesta allí por don Alonso Fernández de Lugo, la cual desapareció) y la de las Damas, con sus plazas respectivas. Perekieron dos hombres y una niña y muchos se libraron de milagro. Fue la causa de haberse quemado los montes en Julio por descuido de uno que llaman el Gallo, natural de las Nieves (Libro II de la Casa Wandewalle, perteneciente al archivo del Sr. Marqués de Gisla y Guiselin).**

Figura 12.1: Crónica local del 9 de Octubre de 1783 en la que se vinculan los daños producidos por las fuertes lluvias tras al gran incendio ocurrido durante ese verano.

En épocas más recientes Diario de Avisos, periódico de gran tirada en la comunidad autónoma, recoge en su edición del 27 de Enero de 1979 los daños sufridos en Los Llanos de Aridane por el mismo motivo, con precipitaciones entre 80 y 110 mm en un día (Figura 12.2). En este caso, sin hacer referencia a los incendios forestales, indica que el barranco que nace en las cotas altas de El Paso, llevaba siete años sin aporte de agua. Fue el año anterior cuando un gran incendio forestal afectó al monte situado sobre la ciudad y a la Caldera de Taburiente. En el año 1990 se repite esta circunstancia cuando, tras los incendios ocurridos en el suroeste de la isla el día 6 de agosto, las lluvias torrenciales ocasionan graves daños en la localidad cercana de El Remo y cortes de la carretera del sur con precipitaciones que no llegan a 90 mm en tres días.



Figura 12.2: Crónica publicada en el Diario de Avisos de los daños sufridos al año siguiente del incendio de 1978 en Los Llanos de Aridane.

En la memoria reciente está la situación vivida en el año 2009 en esta misma zona, cuando un incendio de gran virulencia afectó a 4.000 ha de monte afectando parcialmente al monte del Término Municipal de Villa de Mazo y a la totalidad del monte de Fuencaliente. Este incendio, iniciado a las 23:04 horas del día 31 de julio, en condiciones extremas de temperatura (39° C), humedad relativa (6%) y viento (>70 km h<sup>-1</sup>), incide con especial virulencia a la vegetación. El 47 % de la superficie se vio afectada por fuego de copas con daños en grado de alto a extremo, dejando los suelos de casi la mitad de la superficie afectada totalmente desprotegidos. Junto con esto, la situación climática de ese invierno fue especial, quizás no tanto por la intensidad de las lluvias, sino por su duración, ya que se arrastraba un periodo de 12 días de lluvia sin apenas interrupción hasta llegar a una tormenta de intensidad variable, produciendo precipitaciones a lo largo de estos días alcanzaron los 550 mm en algunas zonas.

Como consecuencia de estas lluvias se originaron acarrees de material procedente de las zonas altas llegando incluso hasta la costa. Estos movimientos produjeron acumulaciones de material que alcanzaron en muchos casos más de tres metros de altura, cubriendo cultivos de plataneras, invernaderos y viviendas, y produciendo destrozos en vías de comunicación y suministro eléctrico de los dos municipios afectados por el incendio del verano (Figura 12.3). En el caso de Fuencaliente, las dos vías de acceso a su núcleo poblacional se vieron cortadas en varios puntos y mantuvieron a su población aislada durante algunas horas.



Figura 12.3: Montaña de los Arreboles, en el Término Municipal de Fuencaliente (La Palma) antes del incendio (izquierda) y después de las lluvias del 23 de Diciembre (derecha).

La experiencia histórica de La Palma denota que, a pesar de que los Andisoles suelen comportarse como suelos altamente resistentes a ciertos tipos de erosión hídrica, su susceptibilidad a los efectos negativos del fuego unido a la peculiar climatología y orografía de las zonas donde se ubican los convierten en suelos altamente susceptibles a los fenómenos de erosión a gran escala.

## 2.2.El impacto del fuego en las propiedades edáficas y la hidrología: avances científicos en Andisoles de Canarias

### 2.2.1. El impacto en las propiedades edáficas con influencia en la escorrentía y la erosión

En general, los incendios forestales afectan directamente a dos propiedades fundamentales de los Andisoles: (i) su mineralogía y (ii) el contenido y composición de la materia orgánica. Estas propiedades tienen una importancia capital en la formación de la estructura y espacio poroso de estos suelos, y por ello en su respuesta hidrológica y ante la erosión dada su acción cementante de los agregados del suelo. Está ampliamente demostrado que los procesos de secado como los que se producen en un incendio forestal modifican

negativamente la estructura edáfica y reducen la porosidad de los suelos (Thompson et al., 1985), siendo ese impacto mayor en suelos ricos en productos de ordenación de corto alcance como son los Andisoles (Woignier et al., 2008).

De la misma manera, es de aceptación general que uno de los principales impactos directos de los incendios forestales es la disminución del contenido de materia orgánica presente en la vegetación y de los horizontes del suelo y la alteración de su composición (Certini, 2005; González-Pérez et al., 2004). Dada la importancia de estos compuestos en la estructura y porosidad de los Andisoles (Hoyos & Comerford, 2005; Tejedor et al., 2013), no es de extrañar que el impacto del fuego sea de capital importancia en estos suelos. Los estudios realizados en Andisoles de Canarias indican que las pérdidas en carbono orgánico tras un incendio de severidad moderada-alta pueden alcanzar el 50% (De la Rosa et al., 2013; Neris et al., 2013a) (Figura 4). Además, numerosos autores han demostrado que el fuego tiene efectos en la composición química de los compuestos orgánicos, que se vuelven más recalcitrantes (de la Rosa et al., 2011; Duguy & Rovira, 2010), pierden poder cementante y afectan negativamente las propiedades hidrológicas del suelo (Neris et al., 2014).

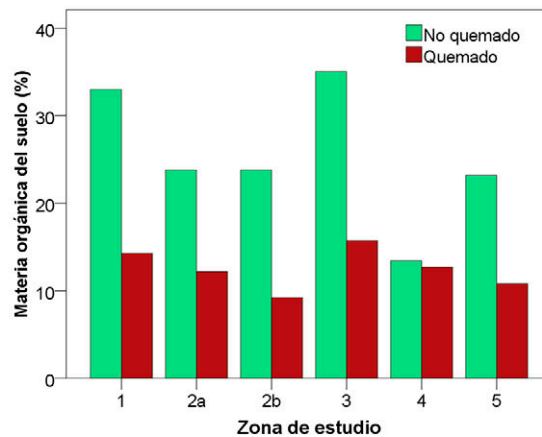


Figura 12.4: Pérdida de carbono orgánico tras un incendio forestal en Andisoles [fuente: (Neris et al. 2013a). Elaboración propia]

Como consecuencia de los cambios mineralógicos y en la materia orgánica, propiedades específicas de los Andisoles e importantes en el comportamiento hidrológico se ven afectadas. La estabilidad estructural se ve reducida en Andisoles entre un 10 y un 30% con vegetación forestal afectados por el fuego como consecuencia del impacto en los nombrados agentes cementantes (Neris et al., 2013a; Poulenard et al., 2001). Con

respecto al espacio poroso, aunque la mayoría de los estudios señalan un incremento de la densidad aparente y disminución de la porosidad del suelo tras los incendios debido fundamentalmente al colapso de la estructura (Giovannini & Lucchesi, 1997), los resultados en Andisoles de la Patagonia y Canarias (Morales et al., 2013; Neris et al., 2013a; respectivamente) son contrarios a esta teoría. Estos autores muestran valores de densidad aparente considerablemente bajos (con mínimos cercanos a  $0.5 \text{ Mg m}^{-3}$ ) y elevadas porosidades tras el incendio. Este particular comportamiento de los Andisoles puede deberse a los cambios irreversibles que se producen en la mineralogía de estos suelos como consecuencia del secado y que dan lugar a suelos con escasa coherencia y densidad (Hernández-Moreno et al., 2007).

Por último, los estudios realizados indican que el nivel de repelencia al agua de los Andisoles tras un incendio depende de la severidad del fuego y de los niveles previos de esta propiedad (Neris et al., Enviado para publicación; Neris et al., 2013a). Los suelos estudiados en Tenerife y La Palma sufren un marcado descenso tras el incendio en las zonas con una repelencia previa severa o extrema y fuego de severidad moderada-alta. Sin embargo, esta propiedad se mantenía o incluso aumentaba en las zonas no repelentes o ligeramente repelentes al agua antes del incendio. Aunque según la mayoría de los autores el fuego induce o refuerza la repelencia al agua del suelo (Letey, 2001), algunos estudios señalan que esta propiedad puede disminuir en suelos de extrema repelencia natural, como muchos de los Andisoles de Canarias, y/o tras incendios de severidad alta por la oxidación completa de los compuestos orgánicos que inducen este comportamiento (Doerr et al., 2006).

### **2.2.2. La escorrentía y erosión post-incendio en Andisoles**

En general, la mayoría de los autores coinciden en el señalar al fuego como promotor de la escorrentía del agua de lluvia debido a: (i) el aumento de la repelencia al agua, (ii) el impacto negativo del fuego en propiedades del suelo relacionadas con la infiltración y (iii) la pérdida total o parcial de cobertura vegetal que protege al suelo del impacto de las gotas de lluvias y previene los procesos de sellado (Doerr et al., 2000). Sin embargo, los estudios publicados analizando el impacto del fuego en la hidrología de los Andisoles de Canarias indican que el fuego puede tener igualmente un efecto promotor de la infiltración en Andisoles (Neris et al., Enviado para publicación; Neris et al., 2013a). Este singular comportamiento se debe a la eliminación por parte del fuego de horizontes orgánicos superficiales (mantillo) extremadamente repelentes al agua y promotores de la escorrentía que se han encontrado en algunos Andisoles en condiciones naturales (Neris et al., 2013b) (Figura 12.5). Consecuentemente, la infiltración tras el incendio no sigue

un patrón fijo y dependerá del balance del efecto del fuego sobre las propiedades que promueven (estabilidad estructural, porosidad, etc.) o reducen este proceso (repelencia al agua, sellado, etc.) (Neris et al., 2013a).



Figura 12.5: Mantillo altamente repelente al agua presente en algunos Andisoles. Véase como las gotas de agua colocadas en su superficie no infiltran en la estructura

Por el contrario, los citados estudios indican que el impacto del fuego sobre la erosión laminar de estos suelos mostró un comportamiento similar al señalado por la mayoría de los autores y que implica un incremento considerable en los procesos de pérdida de suelo tras el incendio. La disminución de la protección del suelo ante el impacto de gota y el agua de escorrentía es el factor clave que explica la relación directa entre la severidad del incendio y los procesos erosivos subsiguientes (Benavides-Solorio & MacDonald, 2001). Según los datos aportados para Andisoles de Tenerife los valores de pérdida de suelo pasaron de  $15 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  en suelos no quemados a  $32 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  cuando la severidad fue leve-moderada y el mantillo no había sido totalmente consumido y a  $260 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  cuando fue moderada-alta y el suelo se encontraba desnudo (Figura 12.6).

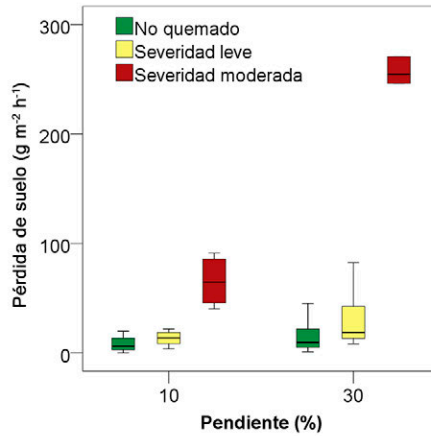


Figura 12.6: Tasa de erosión (SR) de los Andisoles no afectados por el fuego (unburned), afectados con baja severidad (light severity) y con moderada severidad (moderate severity) [fuente: (Neris et al. 2013a). Modificado.]

Los Andisoles han mostrado también singularidades en relación a los mecanismos por los que se produce la pérdida de suelo. Varios autores han señalado que los procesos de pérdida de suelo en Andisoles se producen fundamentalmente por flotación de agregados repelentes al agua y de muy baja densidad en el agua de escorrentía y no por la clásica dispersión de sus partículas en el agua de escorrentía (Neris et al., 2013a; Poulenard et al., 2001; Rodríguez Rodríguez et al., 2002) (Figura 12.7).



Figura 12.7: Agregados repelentes al agua y de baja densidad flotando en el agua de escorrentía [fuente: (Neris et al., 2013a). Modificado.]

Por otro lado, numerosos autores han señalado que los suelos volcánicos ubicados en zonas tropicales o sub-tropicales son propensos a la ocurrencia de un amplio rango de movimientos en masa debido no sólo a su habitual situación topográfica en zonas de elevada pendiente y las lluvias continuas o torrenciales a las que están sujetos periódicamente en estas zonas, sino también a las peculiaridades físicas de estos suelos relacionadas con su mineralogía y contenido de materia orgánica (Capra et al., 2003; Pla Sentís, 1997). Tal y como señala (Pla Sentís, 1997), episodios de lluvias torrenciales en zonas de elevada pendiente y suelos volcánicos con una elevada infiltración y capacidad de retención de agua puede derivar en procesos periódicos de saturación del suelo. Esto supone un incremento de su peso, la disminución de su cohesión y la lubricación de la superficie subyacente, derivando en un incremento del riesgo de deslizamiento de esa masa saturada. A pesar de los numerosos ejemplos en las islas en relación a estos fenómenos catastróficos, pocos estudios se han realizado con el fin de evaluar este proceso, modelar su funcionamiento y predecir su ocurrencia con el fin de evitar o al menos mitigar su impacto.

### 2.2.3. La innovación en las estrategias de restauración post-incendio adaptadas a la realidad de los Andisoles de Canarias

Cuando un incendio ocurre se desencadenan una serie de procesos cuyos efectos es necesario evaluar antes de acometer cualquier trabajo de restauración. Las obras que normalmente se realizan con posterioridad al incendio buscan un triple efecto: (i) limitar la ocurrencia de fenómenos hidrológicos extremos inducidos por el fuego para proteger poblaciones e infraestructuras, (ii) corregir la estética del paisaje tras el incendio y (iii) ordenar el combustible muerto. La severidad del incendio y su impacto, combinado con las fuertes pendientes presentes en las Islas Canarias, las frecuentes lluvias torrenciales durante el otoño y la elevada densidad poblacional aguas abajo, son los principales factores a tener en cuenta a la hora de desarrollar estrategias de mitigación post-incendio en Canarias.

Desde el punto de vista de los tratamientos post-incendio en las islas Canarias, uno de los factores a tener en cuenta es la capacidad de rebrote que presentan algunas de sus especies tras los incendios forestales. Numerosos autores han señalado la adaptación al fuego del pino canario (*Pinus canariensis*) (Climent et al., 2004) o las especies del género *Erica* presentes en las islas (Lloret & Vila, 2003). Esta rápida recuperación de la vegetación dependerá fundamentalmente de la severidad del incendio y de las condiciones climáticas de la zona (Figura 12.8).





Figura 12.8: recuperación de las especies tan solo dos meses después del gran incendio de 2007 en Tenerife (): (i) brotes de pino canario (*Pinus Canariensis*) (izquierda); (ii) brezos (*Erica sp*) brotando desde la cepa (derecha).

Consecuentemente, los trabajos silvícolas en este tipo de entorno en raras ocasiones incluyen la reforestación del área afectada por el incendio, sino que se centran, en el caso de la isla de Tenerife, en el tratamiento de la masa forestal afectada. La experiencia del Servicio Técnico de Planificación y Proyectos Forestales del Cabildo Insular de Tenerife en este ámbito indica que las podas tras los incendios, incluyendo la eliminación de ejemplares y ramas severamente afectadas por el fuego contribuye a la mejora del estado sanitario de la masa forestal y por lo tanto potencia su rápida recuperación.

Por otro lado, a parte de las habituales obras de protección que se realizan comúnmente, tras del gran incendio acontecido en la isla de Tenerife desde el 30 de julio al 2 de agosto de 2007 se experimentó con una nueva técnica de contención adaptada a las condiciones locales y denominada dique mixto de mampostería y biomasa (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008). Por la magnitud del incendio y la emergencia de las obras, se optó por el diseño de un nuevo tipo de estructura que fuera de fácil ejecución y económico. El resultado fue una estructura de carácter temporal que combina varias técnicas como las fajinas, empalizadas y los diques de mampostería en seco con el fin de reducir la velocidad de la escorrentía y favorecer la deposición de sedimentos. Estas estructuras se han empleado en fase de experimentación en el Parque Natural de la Corona Forestal como nuevo elemento de control de la erosión, tanto a modo de actuación principal en algunas cárcavas o como suplemento a otros tipos de diques (mampostería gavionada u hormigonada) en cauces más grandes. Para su adaptación al medio están

compuestos por: (i) estacas verticales de pino canario (*Pinus canariensis*) o faya (*Myrica faya*) separadas 0.5 m; (ii) largueros horizontales de pino canario, piedra con inclinación 2:1 para favorecer la estabilidad taludes aguas arriba y aguas abajo; (iii) sogas biodegradable que entrelaza las piezas verticales con las horizontales y que ancla los extremos de la fajina a las cepas colindantes con objeto de transmitir la tracción al terreno; y (iii) una matriz interior limitada por los elementos verticales y horizontales, que se rellena con ramas y restos de desbroce y que se corona con una fila de piedras. En sus dimensiones estándar presentan una altura menor de 2 m y longitudes máximas de cerrada de 8-10 m (Figura 12.9).



Figura 12.9: Dique mixto de mampostería y biomasa (izquierda) y detalle de la matriz interior rellena de ramas procedentes del desbroce de la vegetación afectada por el fuego (derecha).

Los objetivos perseguidos por el diseño de esta nueva tecnología fueron: (i) establecer un punto fijo en el lecho del cauce, controlando su descenso progresivo, (ii) crear una nueva pendiente en cárcavas y barrancos, (ii) economizar los medios disponibles mediante el aprovechamiento del material generado en los desbroces y cortas, y material para los taludes en función de lo existente en la zona, y (iii) crear un sustrato fértil para la recolonización natural de las especies de la zona. Las principales ventajas atribuibles a esta nueva estructura de contención son: (i) su eficacia en la retención de los arrastres más gruesos, a través de su paramento de aguas arriba empedrado y posterior filtrado a través de la estructura leñosa de los elementos más finos; (ii) se trata de una obra económica y versátil, dado que sus dimensiones se adaptan fácilmente a las necesidades de la zona de actuación; (iii) los materiales empleados en su construcción pueden variar en función de lo disponible en el entorno circundante; y (iv) que al utilizarse material biodegradable de fácil integración en el medio, se consigue la compensación de la pendiente a la vez que se crean islas verdes que consolidan mejor la solera de la cárcava o barranco (Figura 12.10).



Figura 10: Recuperación de la vegetación en torno al material edáfico acumulado por un conjunto de diques mixtos de mampostería y biomasa 5 años tras el incendio.

Por último señalar que las obras de control de sedimentos realizadas con posterioridad al incendio de Tenerife de 2007 han mostrado lo que los estudios realizados hasta ahora y la experiencia de otras islas habían señalado con anterioridad: la notable promoción de fenómenos erosivos en Andisoles por parte de los incendios forestales. Aunque desafortunadamente no se ha realizado un seguimiento exhaustivo de los volúmenes de suelo recogidos en las diferentes obras de contención realizadas, la mera observación de las mismas da una idea de la magnitud de estos fenómenos en algunas áreas afectadas severamente por el incendio en la isla de Tenerife.

### 3. Consideraciones finales

A tenor de las referencias históricas, los indicios científicos y la experiencia técnica reunida en los últimos años en las islas, se puede concluir que los incendios forestales tienen una influencia notable en los fenómenos erosivos y geomorfológicos que se desarrollan en Canarias. Las citas históricas y recientes en relación a estos procesos en la isla de La Palma resaltan la relativa frecuencia con la que fenómenos erosivos de gran magnitud inducidos por incendios se producen en las regiones volcánicas. Además, los avances en la investigación en Andisoles nos dirigen en la misma línea y señalan que el efecto del fuego sobre las particulares propiedades de los Andisoles diverge en algunos casos con respecto al del resto de suelos y puede provocar un aumento notable de su susceptibilidad a los fenómenos catastróficos como los movimientos en masa. Por último, las experiencias

en la restauración post-incendio han mostrado su carácter innovador y su intento de adaptación a la realidad edáfica, climática, topográfica y económica de las Islas Canarias. Sin embargo, los estudios realizados en estos suelos no dejan de ser escasos y en muchos casos acotados a escalas de detalle o procesos muy concretos que no permiten obtener una imagen completa del comportamiento hidrológico y erosivo de estos suelos tras un incendio forestal. Además, a pesar de que los innovadores tratamientos post-incendio desarrollados en las islas son un magnífico laboratorio en el que estudiar su eficacia en la prevención de los procesos erosivos y la protección de la población, en general no se ha realizado un seguimiento exhaustivo de los mismos. Consecuentemente es prioritario ampliar los estudios científicos sobre los efectos del fuego sobre las propiedades de estos suelos relacionadas con los fenómenos de escorrentía y erosión, y validar los métodos de restauración post-incendio desarrollados con el fin de poder incluir este nuevo conocimiento en los procesos de planificación y ordenación territorial de islas y zonas volcánicas.

#### 4. Bibliografía

- Benavides-Solorio, J., & MacDonald, L. H. (2001). Post-fire runoff and erosion from simulated rainfall on small plots, Colorado Front Range. *Hydrological Processes*, 15(15), 2931-2952.
- Brito, I. (2012). [Comunicación personal].
- Capra, L., Lugo-Hubp, J., & Borselli, L. (2003). Mass movements in tropical volcanic terrains: the case of Teziutlán (México). *Engineering Geology*, 69(3-4), 359-379. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0013-7952\(03\)00071-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0013-7952(03)00071-1)
- Certini, G. (2005). Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*, 143(1), 1-10. doi: 10.1007/s00442-004-1788-8
- Climent, J., Tapias, R., Pardos, J. A., & Gil, L. (2004). Fire adaptations in the Canary Islands pine (*Pinus canariensis*). *Plant Ecology*, 171(1-2), 185-196.
- de la Rosa, J. M., Garcia, L. S., de Andres, J. R., Gonzalez-Vila, F. J., Antonio Gonzalez-Perez, J., & Knicker, H. (2011). Contribution of black carbon in recent sediments of the Gulf of Cadiz: Applicability of different quantification methodologies. *Quaternary International*, 243(2), 264-272. doi: 10.1016/j.quaint.2011.01.034
- De la Rosa, J. M., Gonzalez-Perez, J. A., Gonzalez-Vila, F. J., & Knicker, H. (2013). Medium term effects of fire induced soil organic matter alterations on Andosols under Canarian pine (*Pinus canariensis*). *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 104, 269-279. doi: 10.1016/j.jaap.2013.07.006
- Doerr, S. H., Shakesby, R. A., Blake, W. H., Chafer, C. J., Humphreys, G. S., & Wallbrink, P. J. (2006). Effects of differing wildfire severities on soil wettability and implications for hydrological response. *Journal of Hydrology*, 319 (1-4), 295-311. doi: 10.1016/j.jhydrol.2005.06.038
- Doerr, S. H., Shakesby, R. A., & Walsh, R. P. D. (2000). Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. *Earth-Science Reviews*, 51(1-4), 33-65.

- Duguy, B., & Rovira, P. (2010). Differential thermogravimetry and differential scanning calorimetry of soil organic matter in mineral horizons: Effect of wildfires and land use. *Organic Geochemistry*, *41*(8), 742-752. doi: 10.1016/forggeochem.2010.05.015
- Giovannini, G., & Lucchesi, S. (1997). Modifications induced in soil physico-chemical parameters by experimental fires at different intensities. *Soil Science*, *162*(7), 479-486.
- González-Pérez, J. A., González-Vila, F. J., Almendros, G., & Knicker, H. (2004). The effect of fire on soil organic matter - a review. *Environment International*, *30*(6), 855-870. doi: 10.1016/j.envint.2004.02.003
- Hernández-Moreno, J. M., Tejedor, M. L., & Jiménez, C. C. (2007). Effects of land use on soil degradation and restoration in the Canary Islands. In O. Arnalds, F. Bartoli, P. Buurman, H. Oskarson, G. Stoops & E. García-Rodeja (Eds.), *Soils of Volcanic Regions in Europe* (pp. 565-579). Berlin: Springer.
- Hoyos, N., & Comerford, N. B. (2005). Land use and landscape effects on aggregate stability and total carbon of Andisols from the Colombian Andes. *Geoderma*, *129*(3-4), 268-278. doi: 10.1016/j.geoderma.2005.01.002
- Letej, J. (2001). Causes and consequences of fire-induced soil water repellency. *Hydrological Processes*, *15*(15), 2867-2875.
- Lloret, F., & Vila, M. (2003). Diversity patterns of plant functional types in relation to fire regime and previous land use in Mediterranean woodlands. *Journal of Vegetation Science*, *14*(3), 387-398. doi: 10.1111/j.1654-1103.2003.tb02164.x
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2008). Diseño de obras transversales: diques mixtos de mampostería y biomasa residual. In M. d. M. A. y. M. R. y. Marino (Ed.), *Inventario de Tecnologías Disponibles en España para la Lucha contra la Desertificación* (pp. 5): Inventario de Tecnologías Disponibles en España para la Lucha contra la Desertificación.
- Morales, D., Rostagno, C. M., & La Manna, L. (2013). Runoff and erosion from volcanic soils affected by fire: the case of *Austrocedrus chilensis* forests in Patagonia, Argentina. *Plant and Soil*, *370*(1-2), 367-380. doi: 10.1007/s11104-013-1640-1
- Neris, J., Doerr, S. H., Tejedor, M., Jiménez, C., & Hernández-Moreno, J. M. (2014). Thermal analysis as a predictor for hydrological parameters of fire-affected soils. *Geoderma*, *235-236*(0), 240-249. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.07.018
- Neris, J., Jiménez, C., & Tejedor, M. (Enviado para publicación). Impact of high-severity fires on hidrological and erosional response of Andisols.
- Neris, J., Tejedor, M., Fuentes, J., & Jiménez, C. (2013a). Infiltration, runoff and soil loss in Andisols affected by forest fire (Canary Islands, Spain). *Hydrological Processes*, *27*(19), 2814-2824. doi: 10.1002/hyp.9403
- Neris, J., Tejedor, M., Rodríguez, M., Fuentes, J., & Jiménez, C. (2013b). Effect of forest floor characteristics on water repellency, infiltration, runoff and soil loss in Andisols of Tenerife (Canary Islands, Spain). *Catena*, *108*(0), 50-57. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2012.04.011
- Pla Sentís, I. (1997). A soil water balance model for monitoring soil erosion processes and effects on steep lands in the tropics. *Soil Technology*, *11*(1), 17-30. doi: 10.1016/s0933-3630(96)00112-2
- Poulenard, J., Podwojewski, P., Janeau, J. L., & Collinet, J. (2001). Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian *Páramo*: effect of tillage and burning. *Catena*, *45*(3), 185-207.

- Rodríguez Paz, M., Neris, J., Tejedor, M., & Jimenez, C. (2010). Soil Temperature Regimes from Different Latitudes on a Subtropical Island (Tenerife, Spain). *Soil Science Society of America Journal*, 74(5), 1662-1669. doi: 10.2136/sssaj2009.0436
- Rodríguez Rodríguez, A., Guerra, J. A., Gorrín, S. P., Arbelo, C. D., & Mora, J. L. (2002). Aggregates stability and water erosion in Andosols of the Canary Islands. *Land Degradation & Development*, 13(6), 515-523. doi: 10.1002/ldr.543
- Tejedor, M., Jiménez, C., Rodríguez, M., & Neris, J. (2009). Controversies in the Definition of "Iso" Soil Temperature Regimes. *Soil Science Society of America Journal*, 73(3), 983-988. doi: 10.2136/sssaj2008.0236
- Tejedor, M., Neris, J., & Jiménez, C. (2013). Soil Properties Controlling Infiltration in Volcanic Soils (Tenerife, Spain). *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 77(1), 202-212. doi: 10.2136/sssaj2012.0132
- Thompson, M. L., McBride, J. F., & Horton, R. (1985). EFFECTS OF DRYING TREATMENTS ON POROSITY OF SOIL MATERIALS. *Soil Science Society of America Journal*, 49(6), 1360-1364.
- Woignier, T., Primera, J., Duffours, L., Dieudonne, P., & Raada, A. (2008). Preservation of the allophanic soils structure by supercritical drying. *Microporous and Mesoporous Materials*, 109(1-3), 370-375. doi: 10.1016/j.micromeso.2007.05.019



## CAPÍTULO 13

---

# Restauración de espacios degradados por medio del arbolado urbano

Calderón Guerrero, Carlos

### 1. Espacios degradados urbanos

El entorno urbano en la Región de la Macaronesia, al igual que en otras urbes del mundo, puede albergar diferentes tipos de espacios degradados que requieran de la restauración de su cubierta vegetal, una vez que la actividad urbana que lo había originado cesó.

Son diversos los casos de espacios degradados como consecuencia de la actividad en el interior o en la periferia de las grandes ciudades. En la mayoría de los casos, cuando la función originaria que dio lugar a la actividad cesa su beneficio, suelen dar lugar a espacios degradados que necesitan de la correspondiente recuperación. Entre ellos, cabe citar:

- Vertederos: nos referimos a las escombreras de materiales inertes o bien depósitos de materiales orgánicos que han completado su vida útil y que con la expansiones de las ciudades acaban convirtiéndose en muchos casos en parques urbanos. Es el caso de algunos parques urbanos de Madrid, como por ejemplo el Parque del Oeste tras la Guerra Civil Española. Casos similares se pueden citar a menor escala en algunas islas españolas, en Canarias, sirva de ejemplo el Palmetum de Santa Cruz de Tenerife.
- Espacios industriales urbanos abandonados o en declive como consecuencia de la crisis o el abandono de la actividad industrial que albergaba en el pasado. En las zonas costeras es habitual el abandono de antiguas industrias de astilleros, siderurgia o comercio del carbón u otras materias primas.
- Espacios recreativos abandonados o muy degradados por la excesiva carga de visitantes. Es común encontrarse en el litoral español diferentes construcciones e infraestructuras que se han abandonado (parques temáticos, atracciones turísticas, etc.) y que en la mayoría de los casos no se han recuperado. En el extremo opuesto nos podemos encontrar las entradas a diferentes atracciones turísticas en las que el aparcamiento no está controlado o la afluencia es excesiva (algunos ejemplos pueden apreciarse en las atracciones diseñadas por César Manrique en Lanzarote).





Figura 13.1: Salinas en explotación en Lanzarote.

En estas zonas hay una gran compactación que tiene consecuencias directas sobre la fauna y la flora.

- Antiguas vías de comunicación. Algunos ejemplos reseñables son los tramos de vías de tren, carreteras o vías pecuarias en desuso.
- Desarrollos urbanísticos enfocados al turismo en zonas litorales o de montaña. Algunas de estas actividades conllevan una grave degradación paisajística, ya que sus efectos pueden causar la desaparición de la cubierta vegetal y algunos casos alterar la propia morfología volcánica o la cantidad/calidad de arena de playa de las islas debido a la extracción de áridos para la construcción de las infraestructuras turísticas. Indirectamente, el turismo también influye en un incremento de la degradación del medio, bien por incremento del tráfico rodado y la consiguiente compactación del suelo, como por la recolección de vegetales y minerales como “souvenir” que realizan algunos turistas en las islas.

En algunos casos, podemos estar hablando de actividades que son productivas y sostenibles (Figura 13.1), pero que pueden necesitar de una restauración parcial de las zonas próximas por el efecto del transporte y la actividad en el área perimetral.

## 2. El arbolado urbano como herramienta de restauración en espacios degradados

En muchos casos, la fuerte inversión financiera que se realizó para crear o mantener este tipo de infraestructuras, hace prácticamente inviable económicamente la actuación de recuperar este tipo de espacios urbanos y periurbanos para otro uso sostenible. Otras veces, la empresa o el consorcio que se creó para el desarrollo de la actividad desaparecen o se disuelven una vez finalizada la obra, por lo que es imposible reclamar su restauración. Es en estas condiciones en las que el arbolado urbano puede jugar un papel primordial de cara a la recuperación y protección paisajística.

Una vez que se tiene claro que hay que restaurar la zona en cuestión y que se va a utilizar el arbolado para esa labor, habrá tres puntos a considerar: 1) la elección de las especies, 2) la preparación del terreno y 3) la técnica de siembra o plantación que estará encaminada a facilitar el arraigo y el establecimiento de las especies, tanto en las primeras edades, como cuando alcance la edad adulta. Como es de prever, el entorno y las condiciones edáficas no serán las más favorables debido a la pobre calidad de los suelos y el grado de degradación alcanzado en el entorno de la actuación.

### 2.1. Los espacios verdes y el arbolado urbano y periurbano

La acelerada expansión urbana que se está llevando a cabo prácticamente en todo el mundo hace que los límites entre las zonas suburbanas y rurales sean cada vez más imprecisos. Esto también está siendo una realidad en las zonas insulares desde hace décadas. Las antiguas tierras de cultivo están siendo integradas poco a poco en los nuevos desarrollos urbanísticos de las ciudades, pudiendo considerarse terrenos degradados al haber perdido su funcionalidad. Warren (1973) definió los espacios verdes como toda tierra cubierta con algún tipo de vegetación (hierba, arbustos o árboles) en una determinada zona. Está claro que los espacios verdes y el arbolado urbano en una gran ciudad tienen una serie de características mucho más específicas que las sugeridas en la definición, pero quizás la más determinante de todas sea precisamente su condición de "urbano", que está claramente influenciada por el entorno urbano y las necesidades de la población. El ecosistema natural previo suele ser modificado y a menudo es reemplazado por densos núcleos poblacionales creados por y para el ser humano. Es en esta situación en la que el arbolado urbano juega un papel determinante dentro de la creación del ecosistema urbano. En este ambiente antrópico, los espacios verdes y los árboles urbanos en particular a menudo pueden llegar a ser el único vínculo de la población con la naturaleza.

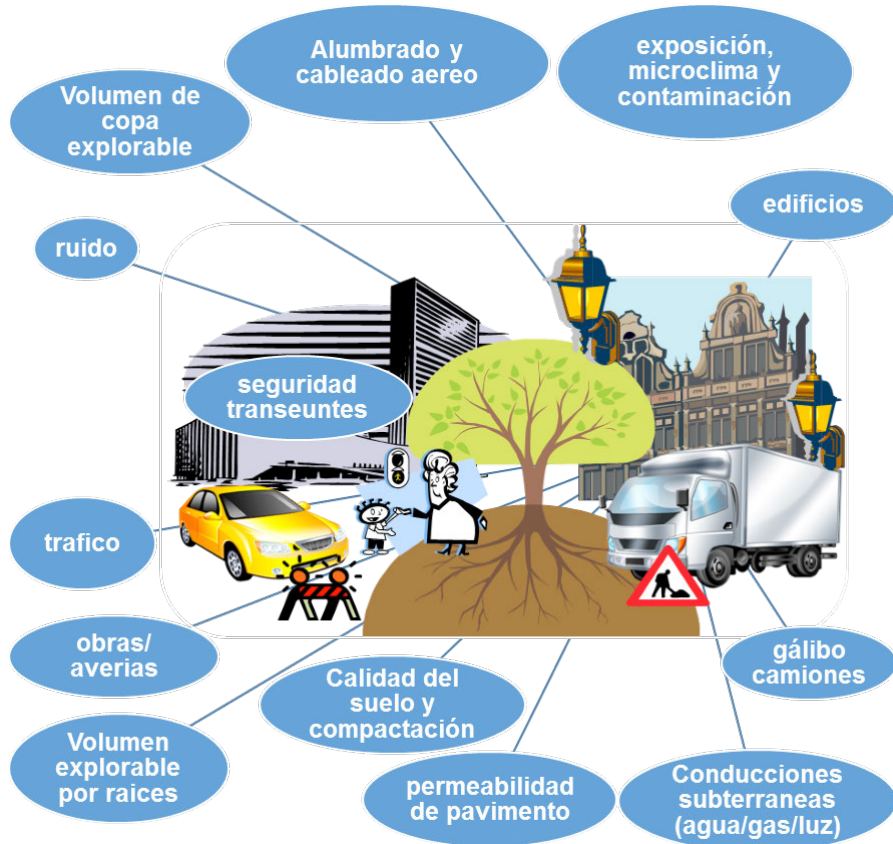


Figura 13.2: Problemas a los que se enfrenta el arbolado urbano de las ciudades.

El árbol urbano tipo tiene una serie de características que difieren de las de una masa forestal. En condiciones naturales, las limitaciones suelen venir dadas por las características de la estación forestal y la competencia intraespecífica por los nutrientes, la luz y el agua. Sin embargo en la ciudad, el problema está enfocado propiamente al lugar donde está plantado el árbol. La presencia de barreras arquitectónicas, así como otros elementos de la infraestructura de la ciudad, como los paramentos verticales, las farolas, la distancia a la red viaria (calle, carretera o paseo), las tuberías, etc. conforman un conjunto de limitaciones que restringen el desarrollo de las raíces y de la parte aérea del árbol. Por lo tanto, en el entorno urbano se suele modificar los parámetros típicos de los árboles con el fin de adaptarse a las condiciones y circunstancias de la ciudad. Estas limitaciones pueden causar una serie de lesiones que hacen a los árboles más propensos a enfermedades y plagas

que finalmente pueden conducir a la muerte prematura del árbol urbano. En el caso de los espacios degradados urbanos, las condiciones en las que se desarrollará el arbolado serán las descritas anteriormente y además se contará con una serie de limitaciones adicionales relacionadas con las características edáficas del espacio degradado que se pretende restaurar.

Entre los espacios verdes en las grandes ciudades (arbolado de alineación, bosques periurbanos, parques y jardines), normalmente los parques forestales son los que están en mejores condiciones fitopatológicas y fisiológicas, y por lo general, ofrecen la flora y fauna más rica. Como ya indicaron otros autores (Sukopp, Blume, y Kunick, 1979), el hábitat está menos modificado, ya que ofrece mejores suelos y un mayor drenaje que aquellos rodeados de calles y edificios. Estas mejores condiciones podrían verse afectadas en las zonas de los bordes de las masas periurbanas y obviamente, en la restauración de espacios degradados. Algunas de las mayores perturbaciones son las causadas por la elevada presión en el uso recreativo de peatones y familias durante los fines de semana, afectando especialmente a la regeneración natural de las especies y la compactación del suelo (Calderón Guerrero y Rodríguez Barreal, 2007). Para estos casos resulta especialmente importante establecer criterios que determinen las intensidades de uso y sus áreas de protección. Si es posible, siempre se recomienda establecer corredores verdes que permitan la interconexión de los diferentes espacios verdes que anteriormente han quedado aislados por algún tipo de actividad urbana (Palao Núñez Calderón y Guerrero, 2010).

### **2.1.1. Porcentaje actual de espacios verdes en Europa y la posibilidad de ampliación mediante la recuperación de espacios degradados**

En las grandes ciudades, donde la presión urbanística es alta, como es el caso de algunas ciudades de las Islas Canarias, es difícil crear nuevos espacios verdes de pequeño tamaño, ya que las superficies disponibles por lo general tienden a ser aprovechadas para construir nuevas edificaciones o infraestructuras, salvo que se evite por medio de normas urbanísticas o de planificación. La tendencia actual consiste en la obligatoriedad de establecer una serie de nuevas zonas verdes cerca de las nuevas zonas urbanizadas. Por lo tanto, otro tema importante en las últimas décadas ha sido el porcentaje de espacios verdes que debe existir en una gran ciudad. Como era de esperar, el porcentaje actual de zonas verdes existentes en las zonas urbanas es muy pobre y en particular, en las ciudades más densamente pobladas de Europa. Este porcentaje se fija de acuerdo con las normas y planes de desarrollo de cada ciudad. Los porcentajes actuales son variables dependiendo del país, encontrándose los mayores porcentajes de áreas verdes urbanas en Europa Central, donde los valores son superiores a 50% de la superficie verde. Estos países (por ej. Alemania) llevan varias décadas aplicado una serie de normas urbanísticas en donde

al menos el 50% de la superficie debe estar destinada a espacios verdes urbanos. De esta manera los valores críticos de edificabilidad no deben superar la mitad del terreno disponible. Por desgracia, el porcentaje promedio actual en el resto de Europa oscila entre el 10% y el 30% de espacio verde, que muestra un claro predominio de los círculos rojos y naranjas en Europa meridional y occidental (Figura 13.3). Los datos para las Islas Canarias no están disponibles, pero como puede observarse en el resto de islas mediterráneas, el porcentaje es muy bajo. La restauración de espacios degradados puede ser una excelente situación para poder mejorar estos porcentajes de zonas verdes urbanas.

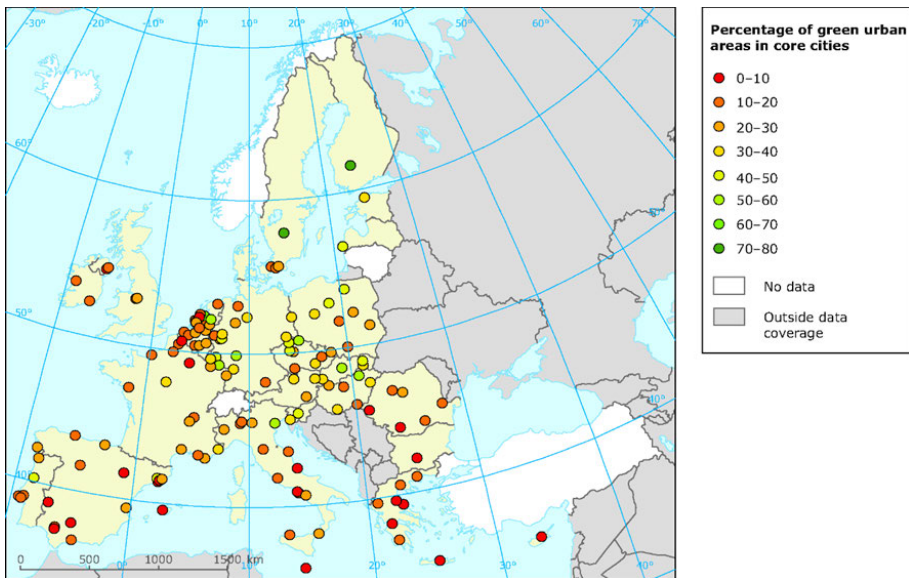


Figura 13.3: Porcentaje de zonas verdes urbanas en el interior de las ciudades.

Fuente: [EEA-AirBase v.8 (EEA, 2014)]

### 3. Principales características del arbolado urbano

El arbolado urbano está sometido a una serie de factores que hacen de él un elemento de gran valor dentro de la ciudad y en la restauración de espacios degradados. Dadas las condiciones y circunstancias en las que vivirán, la selección de las especies será uno de los principales puntos a tener en cuenta. En los siguientes subapartados hacemos un repaso de estos factores, así como de las características que deben ser verificadas.

### 3.1. Factores que pueden influir en la selección de especies arbóreas adecuadas para la restauración de espacios degradados por medio del arbolado urbano.

La salud y el desarrollo de las especies urbanas están condicionadas por una serie de factores relacionados con el mantenimiento, la selección de árboles y las condiciones ambientales que se pueden resumir en:

#### A) Mantenimiento:

- Las especies deben ser de fácil mantenimiento. En particular, se prestará especial atención a la cantidad y nivel de especialización de la mano de obra que realice estas tareas.
- Deberán ser especies de bajo requerimiento en cuanto a nutrientes. Además deben presentar cierta plasticidad en relación con las características del suelo, debido a las alteraciones que sufre éste y las posibles alteraciones que tenga la cubierta vegetal mediante el uso de compost y abonos. Es interesante recordar que el porcentaje de incorporación de materia orgánica por parte del arbolado urbano muchas veces es prácticamente nulo, debido a la eliminación de la vegetación espontánea y la eliminación de basura, restos vegetales o de poda.
- Asimismo, las especies arbustivas deberán asegurar su fácil mantenimiento y facilitar las tareas mecanizadas.

#### B) La selección de especies:

- Existe un alto porcentaje de especies exóticas que son elegidas por su forma, la floración o la apariencia. De tener que utilizarse estas especies candidatas, al menos deberían cumplir gran parte de los requisitos de punto anterior (A).
- Se recomienda la disposición de los árboles a marco real o tresbolillo. Siempre se deberá facilitar las labores mecanizadas y de poda, teniéndose en cuenta que dichas especies candidatas deberán adaptarse a estas condiciones.
- El césped ornamental y la flor de temporada deberán estar bien regados. En la medida de lo posible, se delimitarán bien estas zonas para que no coincidan espacialmente con otras especies arbustivas y subarbustivas que no soporten el riego excesivo.

#### C) Condiciones ambientales:

- Las especies candidatas deberán tolerar las situaciones que se puedan presentar por diversas circunstancias (mala calidad del suelo, presencia de metales pesados,

compactación, estrés ambiental y fisiológica, podas y trasplante, tareas de pavimentación y con frecuencia trabajos y obras típicas de las ciudades, etc.) (Figura 13.4). Estas características serán esenciales a la hora de elegir las especies que se vayan a emplear en zonas donde hubo gran alteración física de las propiedades del suelo o aporte de metales pesados.



Figura 13.4: Palmeras urbanas en la Villa de Teguisse (interior de Lanzarote).

- El porcentaje de superficie construida y pavimentada suele verse ampliado cada vez más en los núcleos urbanos, mientras que la superficie de las áreas verdes se reduce a medida que avanzamos hacia la zona central de la ciudad. En contraposición, el aislamiento de estas zonas verdes del interior de la ciudad suele aumentar en comparación con zonas verdes exteriores. Por lo general, la presión que sufren las especies de zonas verdes en el centro de la ciudad será más alta que la de especies en espacios verdes de los suburbios, pero como ya hemos citado anteriormente, la presión puede ser mayor en aquellos espacios degradados donde hubo actividades que hagan necesaria la restauración de esa zona.
- La proximidad a vías de circulación con alta intensidad diaria hará que las especies seleccionadas estén expuestas a una alta emisión de contaminantes del tráfico.

A menudo, tanto los criterios de mantenimiento, como de condiciones ambientales se ven supeditados a otros criterios relacionados con la estética y las tareas mecanizadas que las empresas de mantenimiento realizan. Con cierta frecuencia, se da la circunstancia de que las propias empresas que han seleccionado las especies a partir de las existencias de los viveros de su propiedad, son las mismas que se encargarán del mantenimiento.

La prevalencia de estos criterios de selección y este tipo de diseño de parques y jardines para la restauración de espacios degradados por medio del arbolado urbano ha sido la tendencia habitual desde la segunda mitad del siglo XX, donde las áreas verdes con abundante césped y una determinada variedad ornamental de especies exóticas era el procedimiento más habitual. Igualmente, ha sido bastante habitual en las labores de mantenimiento la eliminación del rebrote de especies autóctonas. Todas estas prácticas han afectado preferentemente a las plantas con una mayor demanda de requerimientos especiales (luz, agua, etc.), favoreciéndose, por otro lado, a un determinado número de especies invasoras como *Ailanthus altissima* (árbol de cielo o palo bobo) y *Cupressus arizonica* (arizonica) que tienden a propagarse con éxito en la competencia con especies nativas que son más sensibles a la presión de las condiciones antrópicas.

Por tanto, se recomienda seleccionar un grupo de especies candidatas que respondan positivamente a cada una de las posibles situaciones “estresantes” que puedan darse en la restauración de los espacio degradados, como la compactación de terrenos o la exposición a contaminantes, pesticidas o sales aplicada a las vías de circulación en invierno cuando nieva. Por otro lado, también es importante recomendar la necesaria variabilidad de especies, ya que si los árboles sufrieran una enfermedad transmitida por las herramientas de poda, es de esperar que las especies con mayor variabilidad genética podrían sobrevivir mejor que los que se propagaron por reproducción vegetativa.

### 3.2. Comprobación de las características que deben ser verificadas para el empleo de especies de arbolado urbano en la restauración de espacios degradados urbanos

Las siguientes características deben ser verificadas en relación con las especies más adecuadas para la restauración de espacios degradados en el medio urbano:

- Riesgo o peligrosidad del árbol: la fragilidad de la madera y la vulnerabilidad a la rotura en ciertas especies de árboles urbanos podrían afectar la estabilidad del fuste y las ramas, siendo un factor de riesgo para los peatones y vehículos.
- Longevidad: la esperanza de vida de los árboles urbanos empleados en la restauración de espacios degradados será más corta que la de otros individuos.



Sería conveniente realizar un estudio previo sobre los costes de mantenimiento y renovación de las especies seleccionadas antes de realizar la repoblación.

- Crecimiento: las especies de rápido crecimiento suelen ser más vulnerables a la rotura de ramas y a que su rápido desarrollo sea un problema. La presencia de este tipo de especies en áreas con poco espacio o con la presencia de líneas eléctricas o cualquier otro tipo de paramento vertical, garantizará en el futuro sucesivas operaciones de poda para evitar que las ramas intercepten con los obstáculos y los vehículos. A largo plazo, las podas terminarán por acortar la vida del árbol. En cambio, otras veces convendrá que las especies seleccionadas sean de crecimiento rápido para asegurar la estabilización de taludes y prevenir la erosión. Todas estas circunstancias deben ser analizadas antes de realizarse la selección de especies.
- La resistencia a plagas y enfermedades: las especies con mayor sensibilidad a estos agentes bióticos y abióticos deberán ser descartadas. En todo caso, si por algún motivo se decidiera emplear algunas de estas especies vulnerables, los costes de mantenimiento y de prevención de los efectos de los agentes infecciosos deberían ser considerados.
- Tamaño final a alcanzar por los árboles adultos: es importante saber el tamaño de la parte aérea y el sistema de raíces, así como el follaje y su adaptación a las condiciones de espacio físico (Figura 13.2).
- Persistencia y características del follaje: en el diseño de las zonas verdes dedicadas a la restauración de espacios degradados por medio del arbolado urbano se deben considerar aspectos como la sombra y la radiación, que podría ser beneficioso o perjudicial para las plantas elegidas en determinados periodos del año.
- Especies alergénicas: es una consideración clave en los criterios de selección de las especies de árboles urbanos y también debería ser considerada a la hora de afrontar la restauración de espacios degradados por medio del arbolado urbano. La naturaleza alergénica de muchos de ellos debe ser revisado para evitar problemas respiratorios con especies como el plátano de sombra (Gutiérrez, Sabariego, y Cervigón, 2008)

Además de las anteriores consideraciones técnicas sobre las características de las especies de árboles urbanos más favorables para cada sitio, es bastante recomendable el desarrollo de campañas educativas entre la población para integrar y valorar los beneficios que produce el arbolado empleado en estas tareas de restauración.

## 4. Gestión fitopatológica y mantenimiento del arbolado empleado para la restauración de espacios degradados

La vegetación está normalmente sometida a una serie de factores y agentes que interactúan con la planta (medio ambiente y patógenos), condicionando su evolución y supervivencia. Entre estos factores, no hay que olvidar el gran impacto que representa para el arbolado urbano la alteración de la calidad del suelo, la humedad edáfica, la disponibilidad de agua, el estado de la calidad del aire, etc. Además de estos factores, está el hecho del empleo abusivo de plantas exóticas o que normalmente no constituyen la vegetación habitual para las condiciones ambientales del lugar. Estas circunstancias implican una mayor vulnerabilidad a los ataques por parte de diferentes agentes, que en el medio ambiente urbano además se ve exacerbada por la exposición a la conjunción de condiciones ambientales ideales que concentran varios agentes bióticos y abióticos, lo cual suele ser bastante agresivo para la vegetación introducida.

Los agentes dañinos que afectan a la vegetación se clasifican en dos grupos, que son los agentes bióticos y abióticos. Entre los diversos agentes bióticos que causan el deterioro de la vegetación, las enfermedades y las plagas son los agentes más importantes.

- Las plagas son causadas generalmente por invertebrados y se caracterizan por el número de individuos, el momento del ataque y las partes afectadas de la planta.
- Los agentes causantes de enfermedades se distinguen por su naturaleza:

### 1) agentes bióticos

- i. virus y viroides
- ii. bacterias
- iii. fanerógamas parásitas
- iv. hongos patógenos o de pudrición
- v. hongos que producen alteraciones (cromáticas)

### 2) agentes abióticos

- a. De origen natural:
  - i. Las deficiencias nutricionales
  - ii. La falta o exceso de agua en el suelo
  - iii. temperaturas inadecuadas

iv. otros agentes meteorológicos (viento, nieve, rayos, etc.)

b. Origen humano:

i. fuego

ii. daños mecánicos antrópicos (poda inadecuada, roturas, etc.)

iii. productos químicos

iv. pesticidas o fertilizantes o dosis inadecuadas por una mala aplicación

v. contaminantes antropogénicos

Los mayores daños a la vegetación suelen estar causados por hongos (agente biótico) y contaminantes emitidos a la atmósfera como consecuencia de la actividad humana (factor abiótico) respectivamente. Una vez que los contaminantes se emiten a la atmósfera, producen un daño directo a la planta (por lo general sobre / en hojas) o bien un daño indirecto por la deposición en el suelo y que afecta posteriormente a los sistemas radicales.

Especial atención merece las acciones humanas negativas, como el vandalismo y las prácticas de mantenimiento con podas excesivas o inadecuadas. Entre otras causas, estos problemas de mantenimiento son consecuencia de:

- Una presión de poda excesiva, generalmente sobre ramas de más de 15 o 20 cm de diámetro. Este tipo de prácticas de poda están castigadas por la legislación de algunas comunidades autónomas, pero por motivos económicos las empresas de mantenimiento prefieren realizar una poda drástica que varias suaves.
- La práctica de “terciado” (poda de un tercio de la longitud total de la rama) es bastante común en los árboles urbanos de distintas regiones de España, pero se suelen aplicar de una manera incorrecta en muchos casos, ya que se mal interpreta el concepto de “terciado”, eliminándose dos terceras partes de la rama, en vez del tercio superior, lo cual conlleva un debilitamiento acusado del árbol podado. Este tipo de prácticas abusivas en relación con la poda no es un tema nuevo. Poda excesiva de árboles de sombra fueron denunciados por los de Tornos (1853) como una práctica antinatural y hay citas de una protesta por la poda de los árboles a lo largo del Paseo del Prado ya en 1927 (Winthuysen, 1927)
- Las obras de pavimentación o renovación de conducciones subterráneas, que causan la compactación del suelo y la mutilación de raíces.
- El vandalismo como causa de daños mecánicos que dan lugar a lesiones que son fuentes potenciales de la enfermedad en el árbol afectado. Desafortunadamente

el vandalismo está todavía presente en el mantenimiento de árboles, aunque la educación ambiental de los ciudadanos es cada vez mayor. La combinación de buenos procedimientos de mantenimiento y limpieza de la zona verde tiende a disminuir el deterioro por el vandalismo (Corraliza, 2001).

## 5. Beneficios del arbolado urbano empleado para la restauración de espacios degradados en zonas urbanas y periurbanas

En este apartado distinguiremos los beneficios directos que causa la restauración del lugar para el medio ambiente y por otro lado los beneficios sociales que dicha mejora producirá a la población próxima al espacio degradado restaurado.

### 5.1. Beneficio directo en la recuperación del espacio degradado

Como ejemplo de este tipo de beneficio directo expondremos el caso de los Jardines *Butchart* (Figura 13.5) que son el resultado de la restauración de una cantera en una zona periurbana de la ciudad de Victoria de la Isla de Vancouver en Canadá.



Figura 13.5: Jardines *Butchart*. Isla de Vancouver, Canadá.

En 1904, *Robert Pim Butchart*, un pionero en la próspera industria del cemento de la costa Oeste de América del Norte, desarrolló una cantera y construyó una planta de cemento en *Tod Inlet* (en la isla de Vancouver) para satisfacer la demanda de cemento Portland de San Francisco a Victoria. Años más tarde, tras agotarse la cantera se revistió el subsuelo de ésta con tierras de cultivo de las proximidades y se plantaron los primeros árboles. Poco a poco, la cantera se fue restaurando y ya en la década de 1920 más de cincuenta mil personas visitaron el jardín cada año. Finalmente, el Jardín fue designado Sitio Histórico Nacional de Canadá en 2004, un siglo después del inicio de las actividades en la cantera.

## 5.2. Beneficios sociales del arbolado urbano empleados para la restauración de espacios degradados en zonas urbanas y periurbanas

La recuperación de espacios verde garantiza una serie de beneficios indirectos, tales como beneficios económicos, psicológicos y físicos sobre la población que disfruta de estas zonas. Estos beneficios incluyen el incremento del valor de las propiedades próximas y el impacto social de las zonas verdes en el comercio y la economía de la ciudad (McPherson, 1992). El efecto beneficioso puede ser traducido a varios factores a considerar (Figura 13.6):

### a) Mejora de la calidad del aire

La acción de los espacios verdes en su conjunto y en particular de la vegetación leñosa introducida tras la restauración de los espacios degradados puede ser considerada bajo diferentes aspectos:

- La captación de una gran cantidad de  $\text{CO}_2$  por parte de los árboles urbano que se han plantado.
- El  $\text{CO}_2$  absorbido por la vegetación es procesado mediante la función fotosintética y, posteriormente, se libera  $\text{O}_2$  a la atmósfera.
- Los estomas de la hoja pueden absorber  $\text{SO}_2$  en pequeñas cantidades. Según algunos estudios realizados por Smith (1981) una atmósfera que contiene  $100 \text{ mg/m}^3$  de  $\text{SO}_2$  es purificada tras cruzar a través de una hectárea de bosque de frondosas. Free-Smith y Broadmeadow (1996) estimaron la reducción de la concentración de  $\text{O}_3$  y  $\text{SO}_2$  del aire en un 21 y 20 % respectivamente en relación con la cantidad de gases contaminantes absorbidos por las hojas de los árboles urbanos

- Además los árboles actúan como filtros eficientes de partículas en el aire mediante la eliminación de una gran cantidad de polvo atmosférico debido a su alta superficie foliar, la alta relación de superficie por unidad de volumen de follaje y la frecuente presencia de hojas tomentosas o rugosas que facilitan esta tarea. Asimismo, la superficie de la corteza (Chakre, 2006) también fueron un factor favorecedor en la captura de partículas. McPherson, Nowak y Rowntree (1994) estimaron que los árboles de Chicago eliminaron aproximadamente 234 toneladas de PM<sub>10</sub>, 17 toneladas de CO, 93 toneladas de SO<sub>2</sub>, 98 toneladas de NO<sub>2</sub> y 210 toneladas de O<sub>3</sub> en 1991.

#### b) Mejora del microclima

Se observan los beneficios en el microclima en los siguientes factores:

- **Temperatura.** Las especies arbóreas pueden reducir la temperatura ambiental. Esta capacidad varía debido a una serie de factores, tales como el tamaño del árbol, las características espaciales de la copa árbol o del relieve y topografía urbana específica del lugar (orientación y anchura de las calles), que afectan a la penetración de la radiación solar. En general, hay una mejora de las condiciones térmicas en zonas con abundantes espacios verdes en comparación con la temperatura en las zonas de la ciudad donde predominan los edificios construidos con ladrillo y las calles están pavimentadas con alquitrán. Ésta podría ser la razón por la que la temperatura promedio fue mayor en los distritos de Madrid, donde la cubierta verde es más baja, oscilando entre 0.5° C y 2.1° C la temperatura media anual entre las distintas zonas de la ciudad (Calderón Guerrero, 2005). Otros autores llegaron a citar un aumento de 5° C en ciudades como Tokio (Numata, 1977). En general, el promedio del descenso de la temperatura diurna debida a la cubierta arbórea en las ciudades según datos de varios parques de todo el mundo fue de 0,94° C (Bowler et al., 2010). La presencia de árboles en los estacionamientos puede afectar a las emisiones de evaporación de los vehículos. Scott, Simpson, y McPherson (1999) estimaron que el aumento de cubierta arbórea entre el 8% y el 50% en los aparcamientos al aire libre podría reducir las tasas de emisiones de evaporación de COV en un 2% y las emisiones de óxido de nitrógeno en un 1%. La temperatura también se reduce por el efecto de evaporación de las superficies de las hojas.

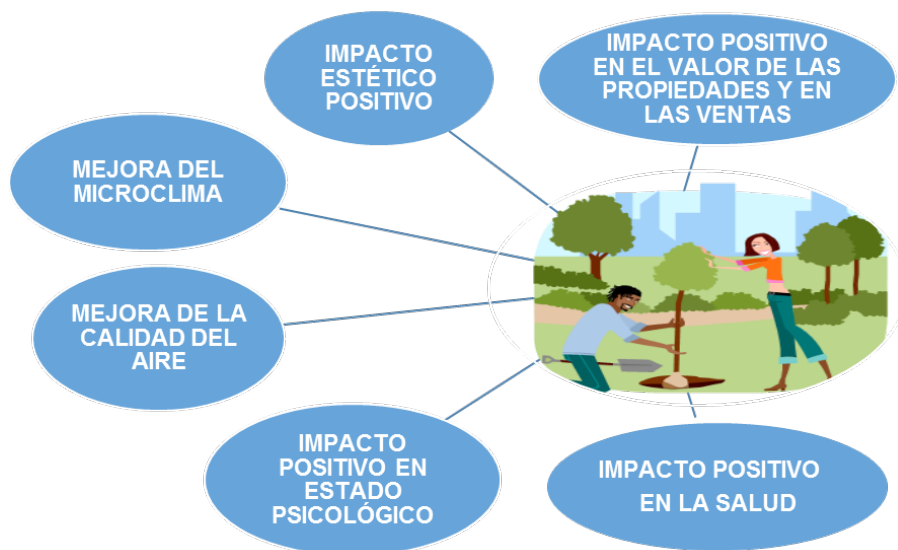


Figura 13.6: Beneficios del arbolado urbano.

- Precipitación. En algunas ciudades, la precipitación se asocia con una mayor cobertura verde. En Madrid, la precipitación más alta registrada por la red de estaciones de la contaminación del aire en determinadas zonas de la ciudad podría sugerir un aumento de las precipitaciones en los distritos que muestran densos espacios verdes. La precipitación media anual aumentó un 8% en algunas zonas con el mayor porcentaje de espacio verde (Fig. 41-b), aunque la diferencia no fue proporcional a la densidad de árboles. Además, la evapotranspiración provoca un aumento de la humedad relativa en el ambiente y libera una cantidad importante de vapor de agua en la atmósfera.

### c) Impacto positivo en la salud humana

La interacción de la salud y el medio ambiente es un hecho ya comprobado hace tiempo (Lee & Maheswaran, 2011). En el caso de las ciudades, está tomando una dimensión especial debido a la sinergia entre el estrés y la contaminación ambiental (humo, ruido, etc.), produciéndose un aumento de los efectos adversos sobre la salud física y mental de los ciudadanos. Frente a esta situación negativa, los espacios verdes representan un “oasis” de ocio y relajación mental en la ciudad, y al mismo tiempo implican una serie de ventajas para la salud de los ciudadanos, entre los que se pueden mencionar:

- Embarazo. La presencia de espacios verdes es beneficioso para las mujeres embarazadas y el curso correcto de embarazo (Dadvand et al., 2012).
- Infancia. Los bosques urbanos grandes son muy importantes para los niños pequeños, asumiendo un lugar ideal para el desarrollo temprano adecuada y actividad física en general (Taylor et al., 1998)
- Las diferentes especialidades médicas. Los espacios verdes urbanos actúan positivamente en diferentes especialidades clínicas:
  - Cardiología. En general, permanecer en espacios verdes funciona como medida terapéutica.
  - Endocrinología y todo tipo de trastornos hormonales, como la obesidad o la diabetes, mejoran con la práctica de ejercicio en espacios verdes (Lachowycz & Jones, 2011).
  - Traumatología, Neurología y movimiento. El ejercicio es importante para recuperar los músculos dañados. El ejercicio y el paseo diario en espacios verdes podría ser un lugar adecuado para prevenir estas enfermedades (Hartig, 2008).
  - Neumología. La atmósfera limpia o menos contaminado afecta positivamente a todos los tipos de trastornos respiratorios tales como: asma, bronquitis, etc., salvo los casos de alergia a ciertos elementos de la vegetación (polen, resinas, etc.).
  - Psiquiatría y enfermedades relacionadas con la geriatría. También necesitan de áreas de esparcimiento y de recreo, debido al efecto relajante del ejercicio en la mente de los pacientes. Los espacios verdes también proporcionan áreas de distracción para las personas de edad avanzada, asimismo actúan de puntos de encuentro y tranquilidad (Rosso, Auchincloss, y Michael, 2011).

#### d) Impacto sociológico

El bosque urbano ofrece la tranquilidad necesaria en los trastornos relacionados con el tráfico de la ciudad (Van den Berg et al., 2010). Los espacios verdes han asumido diversas funciones sociales que venían realizándose en las típicas plazas y bulevares de pequeñas poblaciones. Los parques y jardines urbanos actuales están considerados como los lugares habituales de reunión de los jóvenes, zonas de juegos para niños, zonas de relajación para adultos y para la tercera edad, y en general contribuyen al ejercicio y el mantenimiento de las personas de diferentes edades y condición social.



## e) Impacto estético y sostenibilidad de los recursos naturales

Los árboles urbanos embellecen el entorno, suavizan las formas, naturalizan los espacios monótonos, ofreciendo variedad de formas, volúmenes y colores durante todo el año. Al mismo tiempo que ocultan las visitas indeseables (Price, 2003). El uso de los árboles urbanos para mejorar ciertos elementos de edificios y monumentos se utiliza comúnmente en la arquitectura, lo que ayuda a centrar la atención en los elementos que deben ser resaltados (Smardon, 1988). La presencia de zonas verdes en los espacios degradados facilita la presencia de insectos y fauna en general, facilitando la sostenibilidad (Figura 13.7). Por otra parte, los fines estéticos nunca deben prevalecer en la selección de árboles en grandes espacios verdes, donde los propósitos funcionales deben ser priorizados.



Figura 13.7: Sostenibilidad de la fauna y flora autóctona canaria .

#### f) Impacto positivo en el valor residencial y en el consumo

Los árboles urbanos también tienen un efecto positivo en la actividad empresarial. Según Tyrväinen y Miettinen (2000), por cada kilómetro de incremento de la distancia a las zonas boscosas próximas, hay una disminución media del 5,9 % en el precio de mercado de la vivienda en el distrito de Salo en Finlandia. Mientras que las propiedades con vistas a los bosques aumentaron en promedio un 4,9 % su valor en comparación con las viviendas de características similares. Resultados similares (6%) fueron encontrados por Morales (1980) en relación con el valor de la propiedad en una muestra elevada de hogares estudiados en los Estados Unidos.

Los árboles urbanos pueden influir en otras respuestas de los consumidores, así como en los comportamientos de los clientes, la percepción positiva del distrito, el estado de ánimo para comprar cosas o en el precio final pagado por un producto (Wolf, 2005).

## 6. Bibliografía

- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), 147-155.
- Calderón Guerrero, C. (2005). *Análisis de algunas de las variables meteorológicas más importantes que inciden sobre el arbolado urbano de la ciudad de Madrid. Trabajo tutelado para optar a la suficiencia investigadora*. (DEA), Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Calderón Guerrero, C., & Rodríguez Barreal, J. (2007). Inventario fitopatológico de la Casa de Campo de Madrid (pp. 347). Madrid: Ayuntamiento de Madrid.
- Chakre, O. J. (2006). Choice of eco-friendly trees in urban environment to mitigate airborne particulate pollution. *Journal of Human Ecology*, 20(2), 135-138.
- Corraliza, J. A. (2001). El comportamiento humano y los problemas ambientales. *Estudios de Psicología*, 22(1), 3-9.
- Dadvand, P., de Nazelle, A., Figueras, F., Basagaña, X., Su, J., Amoly, E., . . . Nieuwenhuijsen, M. J. (2012). Green space, health inequality and pregnancy. *Environment International*, 40, 110-115.
- de Tornos, L. (1853). *Memoria presentada al Excmo. señor Alcalde Corregidor por la Dirección del Arbolado en 1853 siendo regidor comisario del ramo el Excmo. señor don José Cassani, Gentilhombre de S. M.; comprensiva de las economías y operaciones ejecutadas en el presente año y de algunas observaciones acerca de la poda de los árboles de sombra*. Madrid: Imprenta y Estereotipia de M. Rivadeneyra.
- EEA. (2014). AirBase - The European air quality database. from European Environment Agency <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/airbase-the-european-air-quality-database-8>

- Freer-Smith, P., & Broadmeadow, M. (1996). Urban woodland and the benefits for local air quality. *Arboriculture Advisory and Information Service Research Note, Farnham*.
- Gutiérrez, M., Sabariego, S., & Cervigón, P. (2008). Incidence of the *Platanus* pollen in the atmosphere of Madrid region (Spain). *Botanica Complutensis*, 32, 205-211.
- Hartig, T. (2008). Green space, psychological restoration, and health inequality. *The Lancet*, 372(9650), 1614-1615.
- Lachowycz, K., & Jones, A. (2011). Greenspace and obesity: a systematic review of the evidence. *Obesity reviews*, 12(5), e183-e189.
- Lee, A., & Maheswaran, R. (2011). The health benefits of urban green spaces: a review of the evidence. *Journal of Public Health*, 33(2), 212-222.
- McPherson, E., Nowak, D., & Rowntree, R. (1994). Chicago' s urban forest ecosystem: results of the Chicago Urban Forest Climate Project (pp. 201 p.). Radnor, PA: U.S.: United States. Department of Agriculture. Forest Service. Northeastern Forest Experiment Station
- McPherson, E. G. (1992). Accounting for benefits and costs of urban greenspace. *Landscape and Urban Planning*, 22(1), 41-51.
- Morales, D. J. (1980). The contribution of trees to residential property value. *Journal of Arboriculture*, 6(11), 305-308.
- Numata, M. (1977). *Tokyo Project: Interdisciplinary Studies of Urban Ecosystems in the Metropolis of Tokyo*: Chiba University.
- Palao Núñez, F., & Calderón Guerrero, C. (2010). *Sistema de ejes verdes de comunicacion urbana "red verde" : objetivos, estructura y trazado*. Paper presented at the Actas 7º Congreso Iberoamericano de Parques y Jardines Públicos, Lima (Peru).
- Price, C. (2003). Quantifying the aesthetic benefits of urban forestry. *Urban forestry & urban greening*, 1(3), 123-133.
- Rosso, A. L., Auchincloss, A. H., & Michael, Y. L. (2011). The urban built environment and mobility in older adults: a comprehensive review. *Journal of aging research*, 2011.
- Scott, K. I., Simpson, J. R., & McPherson, E. (1999). Effects of tree cover on parking lot microclimate and vehicle emissions. *Journal of Arboriculture*, 25(3), 129-142.
- Sepulveda González, F. (2006). [Personal communication].
- Smardon, R. C. (1988). Perception and aesthetics of the urban environment: Review of the role of vegetation. *Landscape and Urban Planning*, 15(1), 85-106.
- Smith, W. (1981). *Air pollution and forests. Interactions between air contaminants and forest ecosystems*: Springer-Verlag New York, Inc.
- Taylor, A. F., Wiley, A., Kuo, F. E., & Sullivan, W. C. (1998). Growing up in the inner city green spaces as places to grow. *Environment and Behavior*, 30(1), 3-27.
- Tyrväinen, L., & Miettinen, A. (2000). Property prices and urban forest amenities. *Journal of environmental economics and management*, 39(2), 205-223.
- Van den Berg, A. E., Maas, J., Verheij, R. A., & Groenewegen, P. P. (2010). Green space as a buffer between stressful life events and health. *Social science & medicine*, 70(8), 1203-1210.
- Winthuysen, J. (1927). La poda de los árboles del Prado. La Voz, 3-2-1927. In CSIC (Ed.), *Javier de Winthuysen, Jardinero*. Madrid: Ministerio de Cultura, Real Jardín Botánico & CSIC.
- Wolf, K. L. (2005). Business district streetscapes, trees, and consumer response. *Journal of Forestry*, 103(8), 396-400.

## CAPÍTULO 14

---

# Zonas costeras degradadas de la Macaronesia

González Pérez, Carlos Enrique

### 1. Aspectos generales

Las zonas costeras han sido siempre, pero hoy más que nunca, zonas de vital relevancia, ya que albergan a la mayoría de la población y de ellas depende un gran porcentaje de sus actividades económicas.

En el territorio nacional la costa representa uno de los espacios más valorados y apetecidos por la ciudadanía, de tal modo que se ha producido una auténtica "litoralización" en la ocupación del territorio: en los municipios litorales, que representan el 7% de la superficie del país, ya vive el 44% de la población, y la densidad de población en las zonas litorales se triplica en la época estival.

También se concentra en la costa una parte muy importante del inmovilizado, infraestructuras públicas, y de las inversiones asociadas a la primera industria nacional: el turismo.

En Canarias, por su configuración en islas, casi todos los municipios se extienden hasta el mar, y en la mayoría de ellos el núcleo principal del municipio, donde radica la sede del Ayuntamiento, se encontraba en el interior alejado de la costa. A partir del boom turístico de los años 60 y 70 se han ido constituyendo en el litoral importantes núcleos de población relacionados con el sector servicios, que han movido el centro de gravedad de la distribución de población claramente hacia el mar.

La enorme concentración de habitantes en la costa, la masiva afluencia de turistas que eligen estar cerca del mar para sus vacaciones, y las actividades económicas que genera el masivo uso y ocupación de esta estrecha franja, ha hecho que ricos e importantes ecosistemas y habitats en ella presentes, se hayan degradado a gran velocidad con la percepción generalizada de que asistimos al desbordamiento de la capacidad de carga de la costa.



Figura 14.1: Playa La Pinta.  
Las Américas.



Figura 14.2: Playa del Inglés con Maspalomas.

Es un hecho que en gran parte del litoral se ha ido produciendo de modo progresivo un fuerte proceso urbanizador, que ha originado una utilización mayoritariamente urbana de gran número de frentes marítimos.

Muchos usos y actividades del litoral son sin embargo fundamentales desde el punto de vista económico pero a su vez conllevan una degradación, que a largo plazo es negativa para la propia región litoral.

Es fundamental proteger la franja litoral de las fuertes demandas a las que se ve sometida, toda vez que se trata de un espacio caracterizado fundamentalmente por su alta sensibilidad y por presentar una difícil recuperación de su equilibrio físico. Por ello se hace preciso atender el borde costero o litoral, acondicionándolo de modo que sirva de barrera a la expansión urbanística, protegiendo los espacios públicos litorales y rehabilitando aquellos bordes especialmente degradados.

Al acometer la evaluación del estado de los valores o bienes de la franja contigua a la orilla del mar, se encuentran con frecuencia zonas litorales muy degradadas, si bien, afortunadamente, reversibles en alguna medida. La urbanización excesiva de los territorios litorales en primera línea, el reconocimiento de propiedad particular en ciertos enclaves otorgando determinadas concesiones, la existencia de accesos privados en muchas urbanizaciones y la inadecuación o inexistencia de accesos públicos al litoral, son aspectos que influyen, no sólo en el estado de conservación ambiental de esos lugares, sino también en la calidad de vida de sus usuarios, en tanto la calidad ambiental del medio influye de modo determinante en la salubridad de las personas.

Las actuaciones de transformación de la fachada marítima urbana, tratamiento de itinerarios y senderos litorales y las enfocadas a alcanzar el libre acceso, tránsito y uso público del

litoral, permitirán hacer más agradable la vida humana en el borde costero, satisfaciendo plenamente el esperado disfrute del mar y del territorio costero y potenciando además el futuro turístico de gran parte del litoral.

En nuestro país tenemos pendiente un gran debate nacional sobre el estado actual y el futuro de la costa, porque la problemática a la que se enfrenta (es decir, el “desbordamiento” de su capacidad de acogida, y los efectos previsibles del “cambio climático”), representa un auténtico “problema de Estado”, que afecta directamente a la calidad de vida de muchos ciudadanos, al patrimonio de muchas personas, y al principal sector de nuestra economía.

Ante estos problemas, todos los actores que intervienen en la costa, como pueden ser administraciones con competencias en el litoral, empresas de distintos sectores económicos como turístico, pesquero, construcción, etc., y asociaciones de profesionales y particulares con intereses en el litoral, deben participar en una gestión sostenible e integrada del litoral.

Esta gestión sostenible debe ser impulsada por la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y el Mar, a quien compete la gestión del dominio público marítimo-terrestre, con el compromiso de perseguir los siguientes objetivos fundamentales: la protección y conservación de la integridad de los sistemas litorales y marinos, la garantía del acceso y del uso público de la costa, y la recuperación y transformación del borde marítimo en los tramos urbanizados y degradados.

Pero la adopción de las medidas precisas para ir descargando de forma gradual y progresiva la presión sobre la costa, idea que debería constituir el objetivo de una política costera ambientalmente correcta, no depende sólo de la Administración del Estado. En efecto, también los Municipios y, sobre todo, las Comunidades Autónomas disponen de capacidades y ostentan competencias para reorientar sus políticas territoriales y de ocupación del litoral, capacidades y competencias que se ejercen libremente, en el ámbito del modelo que se haya preconcebido, por quienes las ostentan, como el más oportuno, que no necesariamente tiene que coincidir con el considerado óptimo por el Estado, y sin que éste pueda interferir más allá de la emisión de algunos informes relativos a cómo influye la política territorial en la integridad del DPMT y su uso público.

## 2. Marco Normativo

En 1988 se dio un paso trascendental para la conservación de los recursos naturales de la zona costera, con la entrada en vigor el 28 de Julio de la Ley 22/1988, de Costas.

Esta Ley supuso un freno muy importante en el proceso de degradación en que se encontraba el litoral español, pero a su pesar, ese proceso continúa por la excesiva presión que sobre los recursos naturales se ejercen desde múltiples sectores.

La ley de Costas define el dominio público marítimo terrestre introduciendo también como novedad, con respecto a leyes anteriores, a los acantilados. Y define también la denominada zona de servidumbre de protección, que recae sobre suelo privado sometido a restricciones de uso, en una banda de ancho de 20 ó 100 metros, en función de si los terrenos estaban clasificados como urbanos o no a la entrada en vigor de la Ley de Costas (1988).

Tanto en el dominio público como en la zona de protección se prohíbe el uso habitacional, si bien el régimen transitorio de la ley permite conservar las viviendas ya existentes en zona de servidumbre, en las que sólo se pueden realizar obras de mantenimiento quedando en situación de fuera de ordenación.

Este régimen transitorio tenía la intención clara de que el ordenamiento urbanístico (competencia de las CC AA y Ayuntamientos hasta la parte terrestre del dominio público marítimo-terrestre) fuera encontrando espacios y fórmulas donde poder reubicar estas viviendas que ya existían en zona de servidumbre en 1988, a la entrada en vigor de la ley.

Pero esto no ha sido así, ya que se han ido tramitando y aprobando planeamientos urbanísticos territoriales y municipales sin dar ninguna solución a medio o largo plazo a los núcleos costeros ubicados en la franja de servidumbre de protección.

La Ley de Costas ha demostrado su eficacia en aquellos aspectos que se propuso controlar, pero no ha sido suficiente. Ha llegado el momento, si se pretende preservar los recursos ambientales del litoral y mejorarlos para generaciones futuras, de poner en marcha el proceso de implantación de criterios de gestión integrada para conseguir la debida protección y la recuperación del patrimonio litoral, así como el mejor aprovechamiento de los recursos costeros con sujeción a los límites que obliga el principio de sostenibilidad.

Se hace evidente que el modelo de uso y gestión de la costa que hemos llevado a cabo en las últimas décadas no es sostenible. Y es también evidente que el reto no es posible afrontarlo desde un ministerio en concreto o desde una comunidad autónoma en particular. Es necesaria la colaboración de las diferentes administraciones y sectores

sociales para, entre todos, hallar la manera de gestionar la zona costera protegiendo sus valores naturales, sin renunciar al bienestar y a la prosperidad actual y futura.



Figura 14.3: Roques de Fasnía.



Figura 14.4: Roques de Fasnía.

En este contexto es en el que se ha impulsado la “Estrategia para la Sostenibilidad de la Costa”, que se ha propuesto como un instrumento avanzado, continuo, flexible, concertado, para la gestión integrada de las actuaciones en el litoral. Partiendo del convencimiento de la necesidad de un proceso de participación pública abierto a todos los actores, de tal manera que gracias al mismo, todas las administraciones, y en particular la Administración del Estado, pueda tener la oportunidad de elaborar, con esa información, la estrategia de intervención en el litoral más eficaz para las actuaciones de su competencia.

En ese sentido cabe resaltar que uno de los retos de la Estrategia, de acuerdo con los principios de Gestión Integrada de la Zona Costera, es la involucración de los agentes e instituciones interesadas, en el marco de un proceso de participación que se desarrollará de forma permanente. El cumplimiento de las normas y recomendaciones europeas en materia de planificación y gestión del medio costero representa también uno de los resultados esperados, con particular referencia a la Recomendación 413/2002 sobre la aplicación de la gestión integrada de las zonas costeras en Europa y a la Directiva 2001/42/CE de evaluación ambiental de planes y programas.

El fin último del proceso que se pretende llevar a cabo con la Estrategia para la Sostenibilidad de la Costa es, como ya se ha dicho, generar un cambio en el modelo de la gestión de la franja costera. Hacer cosas nuevas, crear un nuevo paradigma.

Dicho cambio puede materializarse, en algún caso, en un nuevo modelo de desarrollo económico de ciertas zonas del litoral, en otros, en un nuevo modelo de coordinación y colaboración entre los agentes e instituciones y, en otros, en un cambio en el modelo de actuaciones que se llevan a cabo en la franja costera.



La Administración del Estado asume el compromiso de impulsar una gestión sostenible, integrada y concertada del litoral cuyos objetivos fundamentales, como ya se dicho, serán:

- La protección, conservación y recuperación de la integridad de los sistemas litorales y marinos.
- La garantía del acceso y del uso público a la costa para los usos comunes acordes con su naturaleza.
- La recuperación y transformación del borde marítimo en los tramos urbanizados y degradados.

Esta gestión se debe llevar a cabo de acuerdo a unos criterios básicos que serán expuestos en el apartado siguiente.

### 3. Criterios de Actuación

Los criterios de actuación se enmarcan en un esquema que incluye la recuperación del espacio ocupado, su restauración ambiental y su devolución al público bajo criterios de mantenimiento de los ecosistemas y sostenibilidad de los usos.

La restauración ambiental del espacio costero se basa en el funcionamiento natural de sus ecosistemas aplicando las técnicas y tecnologías más apropiadas de ingeniería costera y naturalística.

La devolución al público implica la construcción de infraestructuras ligeras y de bajo impacto para garantizar la accesibilidad en aquellos entornos donde no existan o no se planteen figuras de protección especiales y donde exista demanda para el uso del litoral.

La recuperación del espacio ocupado es un proceso administrativo complejo para el cual es necesario llevar a cabo distintos procedimientos dependiendo de la situación legal-administrativa.

#### 3.1. Restauración de la integridad de los sistemas litorales

La restauración del espacio costero puede implicar la ejecución de actuaciones sobre las zonas recuperadas a través de técnicas para el control de la regresión de la costa o técnicas para la restauración de los ecosistemas litorales.

### 3.1.1. Control de la regresión de la costa

La regresión de la línea de costa es uno de los problemas más graves de nuestro litoral. Las actuaciones de esta clase deberán estar basadas en el análisis de la dinámica de los procesos erosivos comparando la posible intervención con el impacto previsible frente a la "no intervención". En las actuaciones de ingeniería de costas para el control o corrección de los procesos erosivos, se concederá especial peso a la evaluación ambiental. Algunas de estas actuaciones en la medida que pueden suponer un incremento en la rigidización de la costa o el deterioro de ecosistemas sumergidos, sólo se plantearán en el caso de que su balance ambiental global sea claramente positivo. Para actuaciones de alimentación artificial, desde fuentes exteriores al sistema litoral, se considera de modo especial la incidencia ambiental de la obtención de los áridos, tanto los procedentes de yacimientos marinos como continentales, analizando esta variable de forma conjunta con la evaluación económica y funcional de la alimentación. Las actuaciones de control de la regresión de la línea de costa pueden incluir:

- Desmantelamiento de estructuras marítimas perjudiciales para la sostenibilidad de la costa.
- Aportación al sistema dinámico sedimentario litoral de los áridos de la costa retenidos por elementos naturales, estructuras marítimas, o inmovilizados bajo las edificaciones, infraestructuras, plantaciones, o en las dársenas portuarias.
- La recirculación de los sedimentos presentes en el sistema litoral, antes de que salgan del mismo a través de sumideros marinos, o cuando sean retenidos por elementos naturales o estructuras artificiales en la costa.
- Aportaciones artificiales a las playas y cordones litorales de áridos, procedentes de yacimientos y depósitos terrestres o marinos.
- Estructuras de defensa de costa frente a la erosión.



Figura 14.5: Carpintería en SS Gomera.



Figura 14.6: Paseo Marítimo SS Gomera.

### 3.1.2. Protección y recuperación de los ecosistemas litorales

Las actuaciones de esta clase estarán dirigidas a la protección o la recuperación de zonas del litoral degradadas por factores naturales o artificiales, incluyendo humedales, sistemas dunares y playas, y acantilados. Especial mención merece el tratamiento de los humedales costeros: la fragilidad, grado de amenaza e importancia ambiental de las zonas húmedas litorales ha determinado que se otorgue una singular atención a estos ecosistemas dentro de los planes de mejora ambiental, en consonancia con la importancia concedida a los mismos, tanto a escala nacional como internacional.

Las acciones que se propongan para recobrar la integridad de los humedales estarán dirigidas a la recuperación de su funcionalidad hidráulica y ecológica mediante la restauración de la morfología original y las comunidades vegetales y animales que sobre ellos se asientan y asimismo su identidad cultural, teniendo en cuenta que el contexto social ha cambiado notablemente respecto de las condiciones de partida, con lo cual es necesario adaptar los objetivos finales que se pretenden en cada caso a la situación actual, para garantizar una mínima expectativa de éxito en la actuación.

Con respecto a la recuperación de los sistemas dunares, playas y acantilados, se prevén las siguientes actuaciones:

- Recuperación, estabilización y regeneración de dunas y declaración de Parques dunares.
- Restauración de espacios litorales afectados por el vertido de residuos: control y eliminación de vertidos.



Figura 14.7: Limpieza de la zona de Abades (antes).



Figura 14.8: Limpieza de la zona de Abades (después).

Es necesario un control de la expansión portuaria que pueda afectar a los sistemas litorales, sustituyéndola por una mejora en la eficacia de la utilización de los puertos, racionalización de las decisiones de ampliación y de nuevas localizaciones:

- Recuperación de zonas portuarias fuera de uso.
- Recuperación de efectos negativos producidos por las infraestructuras portuarias.
- Corrección de efectos producidos en playas adyacentes.

Otras actuaciones contempladas incluyen las siguientes:

- Recuperación del patrimonio cultural vinculado a la costa.
- Protección y restauración de yacimientos arqueológicos litorales.
- Acondicionamiento de espacios sometidos a usos tradicionales (salinas, esteros).
- Expropiaciones de áreas con valor ambiental significativo.
- Creación de parques submarinos.
- Recuperación de elementos del patrimonio histórico y cultural y construcciones tradicionales vinculadas con la costa como: faros, fortificaciones, murallas, torres de vigía, almenaras, molinos de marea, corrales de pesca.
- Miradores de interés paisajístico o geológico.

### 3.2. Garantía de acceso y uso público del espacio costero

Este grupo de actuaciones se dirige a hacer efectivo lo dispuesto en el artículo 31 de la ley 22/88 en lo referente a la utilización libre, pública y gratuita del dominio público marítimo-terrestre. Las actuaciones articuladas en este grupo se orientan además a incrementar el nivel de información del usuario respecto a los valores ambientales y culturales del litoral, así como a fomentar hábitos sostenibles de uso y disfrute del mismo, en las condiciones adecuadas de calidad y seguridad. Las actuaciones más comunes serán las siguientes:

- Senderos litorales y accesos peatonales a la ribera del mar.
- Instalaciones de educación ambiental e interpretación e la naturaleza (centros de interpretación, señalización informativa, etc.).
- Instalaciones para el fomento de usos recreativos sostenibles (áreas recreativas, zonas verdes extensivas, etc.).

- Construcción y remodelación de paseos marítimos mediante diseños adecuados y adaptados a la morfología y dinámica del lugar.
- Regulación de zonas de fondeo.
- Lucha contra la contaminación por vertidos desde buques. Limpieza de ensenadas.
- Mejora, creación y remodelación de accesos al litoral, área de solarium, puntos de embarque ocasional, fondeaderos, etc.
- Otras dotaciones de uso público en contextos urbanizados o áreas litorales no urbanas (áreas de servicios, zonas verdes, aparcamientos, etc.).



Figura 14.9: Acceso a San Lorenzo. Hermigüa.



Figura 14.10: Acceso a San Lorenzo. Hermigüa.

La planificación de nuevos paseos marítimos se supedita a un orden de prioridades en el que pueden destacarse los siguientes criterios generales:

- Retraso de la fachada marítima y eliminación de edificaciones e infraestructuras sobre la ribera del mar, en los tramos urbanizados.
- Mejora de la transitabilidad y accesibilidad de la costa.
- Rehabilitación del borde litoral en áreas urbanas degradadas y afectadas por impactos ambientales y paisajísticos.
- Control de los efectos de la presión urbanística en área de fuerte crecimiento, en las que el paseo marítimo actúa a modo de “frontera” que facilita la preservación de la costa.
- Integración ambiental tanto de los nuevos paseos marítimos como de los ya existentes, maximizando la superficie de zonas verdes, alternando soluciones “blandas” e integrando en los paseos todos aquellos elementos de interés natural o cultural intercalados en su trazado.



Figura 14.11: Paseo Playa de Güimar.



Figura 14.12: Retranqueo 20 mts para aumentar la playa.

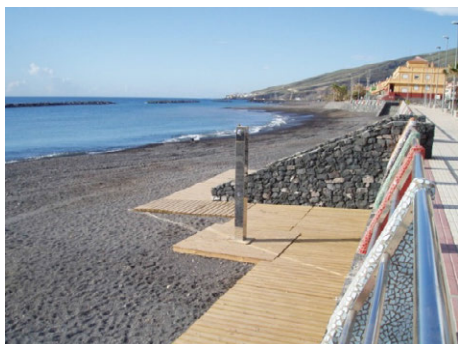


Figura 14.13: Paseo Playa de Güimar.

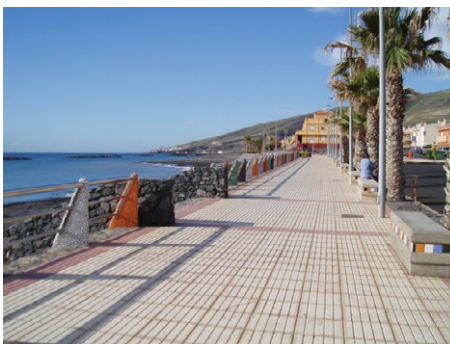


Figura 14.14: Paseo Playa de Güimar.

La asignación de recursos presupuestarios a la construcción de nuevos paseos marítimos se supedita en cualquier caso a que estos sean compatibles con la conservación de los valores ambientales del tramo considerado, y se otorga prioridad a los tramos en que la repercusión ambiental del paseo sea netamente positiva.

### 3.3. Recuperación y transformación del borde marítimo en los tramos urbanizados y degradados

No se pretende afectar directamente a las propiedades y al patrimonio existente en la costa de forma indiscriminada, sino actuar donde es necesario para recuperar espacios costeros importantes por sus características físico-naturales o socio-culturales, para

garantizar el uso público de la costa y para proteger la población costera de los riesgos existentes a través de soluciones sostenibles. Los distintos supuestos que se plantean en el marco de la Estrategia son los siguientes:

### 3.3.1. Infracciones actuales de la Ley de Costas sobre el DPMT

La persecución de estas infracciones es competencia directa de la Administración del Estado. Los Servicios Periféricos de Costas deben intervenir inmediatamente a través de la figura del expediente sancionador, y tomar medidas para detener las obras y evitar que la actividad infractora prosiga. Es preciso tener en este caso una actuación vigilante constante, porque la falta de acción en determinadas épocas puede llevar al convencimiento generalizado de que se puede construir libremente en la costa.

#### **Construcciones levantadas, sin título alguno, sobre el DPMT, antes de la entrada en vigor de la vigente Ley de Costas**

Cuando se trata de viviendas, no existe ninguna posibilidad de legalizarlas mediante un título concesional, pues es un uso expresamente prohibido por la Ley de Costas. Los titulares de este tipo de edificaciones y viviendas no tienen ningún derecho objetivo sobre ellas, por prolongado que haya sido el tiempo de su disfrute, pues ni tienen título de propiedad del terreno, ni cuentan con la autorización exigible en su día para levantarlas. Es decir, se trata de viviendas sin ninguna posibilidad de futuro, ni desde el punto de vista administrativo y legal, ni desde el punto de vista físico, pues normalmente se sitúan sobre playas en regresión y están crecientemente amenazadas por el mar.



Figura 14.15: Playa de Los Guirres. Situación previa.



Figura 14.16: Playa de Los Guirres. Situación actual.

### Construcciones sobre el DPMT con título anterior a la Ley de Costas

Se trata de inmuebles que se ajustan a la legalidad. Pueden existir casos cuyo uso resulta contradictorio con los usos admitidos por la Ley de Costas, y por tanto no están al servicio del interés general.

En este supuesto se encuentran antiguas concesiones administrativas que siguen en vigor al no haber vencido su plazo, y el procedimiento adecuado para recuperar el dominio público marítimo-terrestre es el de rescate de los derechos concesionales de sus titulares por razones de interés general, lo que comporta la correspondiente indemnización por la extinción anticipada de la concesión. Una variante de este supuesto la constituyen aquellos inmuebles que resultan incluidos en el dominio público marítimo-terrestre tras la realización de un nuevo deslinde ajustado a las definiciones de la vigente Ley de Costas.



Figura 14.17: Hotel El Médano.



Figura 14.18: Hotel El Médano.



### Construcciones sobre la zona de servidumbre de protección

La gestión disciplinaria de esta zona es competencia de las CCAA. En este apartado hay que hablar de edificaciones de todo tipo, desde líneas férreas, carreteras, paseos marítimos, edificios de altura, hoteles, et. No son, por lo general, construcciones de origen ilegal, sino perfectamente legales y acordes, en su momento, con el planeamiento: se trata de propiedades privadas o infraestructuras públicas. Las situadas sobre la zona de servidumbre de protección están actualmente en un régimen de fuera de ordenación urbanística, pero siguen siendo legales. La anchura de la servidumbre de protección se reduce a 20 metros para los núcleos con carácter urbano antes del año de entrada en vigor de la ley de costas ( 1988).

En el territorio nacional y en Canarias , existen muchos núcleos localizados entre los 20 y 100 metros del deslinde marítimo-terrestre que pretenden quedar excluidos de la servidumbre de protección, a pesar de que no habían adquirido la condición de urbanos a la entrada en vigor de la ley de Costas : bien porque no habían sido reconocido como tales por el planeamiento urbanístico en el año 1988 , o bien porque en ese momento no reunían las características que exige la ley del suelo para ser considerados como urbanos.

Como ya se ha dicho, la ley de Costas contemplaba la situación de fuera de ordenación para las ocupaciones en servidumbre de protección como un régimen transitorio, dando tiempo a que el ordenamiento urbanístico fuera encontrando espacios y fórmulas donde poder reubicar estas viviendas.

Pero esto no ha sido así, y no se ha dado ninguna solución ni a medio o largo plazo, por lo que se trata de gestionar este problema entre todos, con tiempo, con recursos económicos y con técnicas de intervención territorial. Una sola Administración apenas puede hacer nada efectivo y útil. Todas juntas sí.



Figura 14.19: El Tablado. Tenerife (Google Earth).

## 4. Aplicación a las Islas Canarias

Todo lo dicho hasta ahora a escala nacional sobre el análisis de la situación de la costa y criterios de actuación en el litoral son íntegramente aplicables al caso particular de Canarias.

El archipiélago de las Islas Canarias comprende una longitud de costa de 1.544,5 kms., de la que 246,6 kms. son playas. Su distribución por islas se recoge en el cuadro siguiente:

Tabla 14.1: Datos costeros de Canarias.

	LONGITUD DE COSTA (km)	LONGITUD DE PLAYA (km)	COSTA CON PROTECCIÓN 20 m.	COSTA CON PROTECCIÓN 100 m.
EL HIERRO	105,5	2,5	5,0	105,0
FUERTEVENTURA	341,0	80,0	25,0	316,0
GRAN CANARIA	237,0	57,0	53,0	184,0
LA GOMERA	97,5	14,6	15,0	83,0
LANZAROTE	250,0	30,0	41,0	209,0
LA PALMA	155,5	11,4	40,0	115,0
TENERIFE	358,0	51,1	125,0	233,0
TOTAL	1544,5	246,6	304,0	1245,0

### 4.1. Descripción del tramo de costa

El sistema insular costero canario tiene una gran complejidad debido a la fragmentación del territorio, la variedad y el valor de sus ecosistemas y las presiones que se ejercen sobre el mismo.

El archipiélago canario es de origen volcánico, el litoral es muy abrupto y rocoso siendo en general la plataforma litoral muy reducida. Los acantilados son las formas más extendidas, aunque en algunos tramos costeros existe una plataforma más amplia que favorece los procesos de acumulación.

Los barrancos son muy característicos de las islas Canarias, se trata del cauce esporádico por donde discurren las aguas corrientes presentes en las islas. Su recorrido es corto, y

generalmente tienen un perfil rectilíneo muy marcado, con un cauce tapizado de derrubios arrastrados por las aguas. Las islas más occidentales, por su morfología y altitud, presentan actualmente barrancos más significativos que las islas más orientales de Fuerteventura y Lanzarote.

Las particularidades del clima canario vienen condicionadas fundamentalmente por los vientos alisios, la corriente marina fría de Canarias, el relieve, la proximidad al continente africano y las perturbaciones procedentes de otras latitudes.

La componente noreste de los vientos alisios al chocar con la orografía de cada isla, es la causante de la existencia de microclimas, siendo generalmente la parte oeste de las islas la zona más resguardada del viento y de clima más suave, y donde precisamente se ha concentrado el desarrollo turístico.

También los vientos alisios generan oleajes reinantes que proceden del noreste, lo que condiciona en la mayor parte de los casos la orientación que toma el equilibrio en planta de las playas existentes.

En lo que se refiere al porcentaje de tipos de costa del archipiélago canario, véase figura 1, es reseñable el elevado porcentaje de costa artificial acantilada y rocosa, 73%. El porcentaje de costa baja arenosa, del orden del 17%, es menor que el existente en la franja litoral peninsular, pero sustancialmente mayor que el porcentaje presente en el archipiélago Balear que se limita al 7%. Llama también la atención que un 6% de la longitud de costa sea hoy en día costa artificial.

### Litoral de Canarias

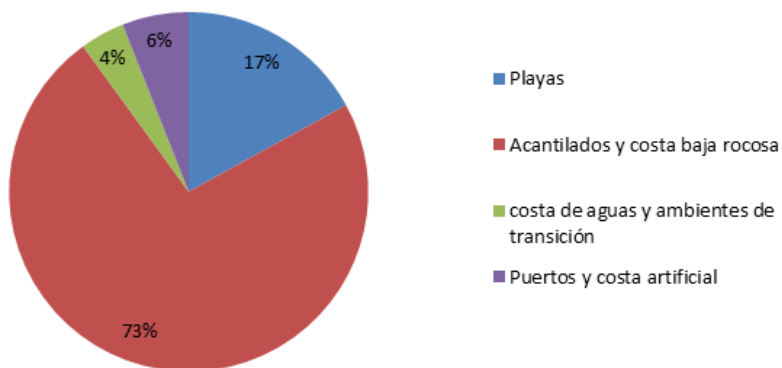


Figura 14.20: Tipos de costa del Archipiélago Canario.

## 4.2. Funcionalidad física y natural de la costa

La economía del archipiélago está basada en el sector terciario (74,6%), principalmente el turismo, lo que ha propiciado un alto desarrollo de la construcción. El modelo de desarrollo de los últimos años ha producido un importante deterioro de la funcionalidad física y natural de extensas zonas de las islas, pese a que por ejemplo Lanzarote y La Palma están declaradas Reserva Mundial de la Biosfera. Esta economía volcada hacia el turismo y al sector de la construcción ha llevado a un espectacular aumento demográfico con una alta ocupación de la franja litoral, aspecto este que será analizado en el punto siguiente.

Entre las alteraciones físicas cabe señalar, por su singularidad respecto a otras zonas el litoral peninsular, la relevancia de las actuaciones humanas, incluso tierra adentro, en lo que se podría denominar como "erosión humana". Ejemplos de esta situación se pueden encontrar en el transporte de sedimentos por vía eólica, como es la afección a los campos de dunas de las Playas de Jandía y Corralejo (Fuerteventura) y Maspalomas (Gran Canaria).



Figura 14.21: Dunas de Corralejo.



Figura 14.22: Dunas de Corralejo.

También se puede citar como ejemplo de "erosión humana" el caso de la playa de Vallehermoso en la Gomera, que en el pasado era una playa de arena, y donde la extracción indiscriminada de arena para la construcción junto con la supresión del transporte del sedimento por la construcción de una presa, aguas arriba del barranco que desemboca en la playa, han dado como resultado una playa de callaos y bolos de grandes dimensiones, donde ha desaparecido la arena haciendo impracticable el uso de la playa para el baño.



Figura 14.23: Playa de Vallehermoso.



Figura 14.24: Playa de Vallehermoso.

Por otro lado, el elevado porcentaje de costa acantilada da como resultado que la visión global del estado de la costa sea mayoritariamente buena. Este hecho puede ser observado en la figura 14.26 en la que se presenta el estado de la franja costera de Canarias y en la que se muestra que casi el 90% de la longitud de la costa recibe una calificación de “en buen estado”

### Litoral de Canarias

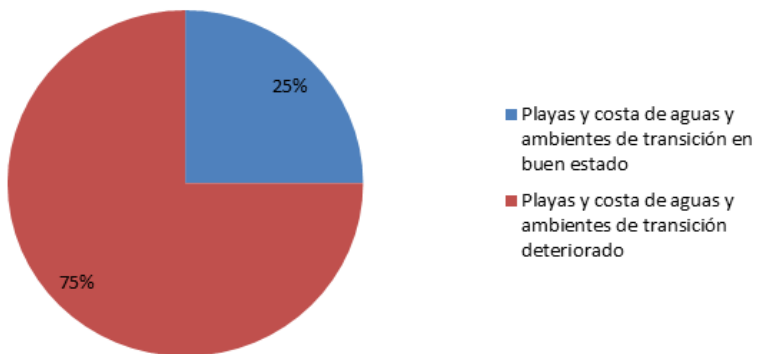


Figura 14.25: Estado de la costa.

Esta realidad global no debe ocultar el hecho de que una cuarta parte de las playas y gran parte de la costa de aguas y ambientes de transición requieran de actuación para recuperar un buen estado.

## Litoral de Canarias

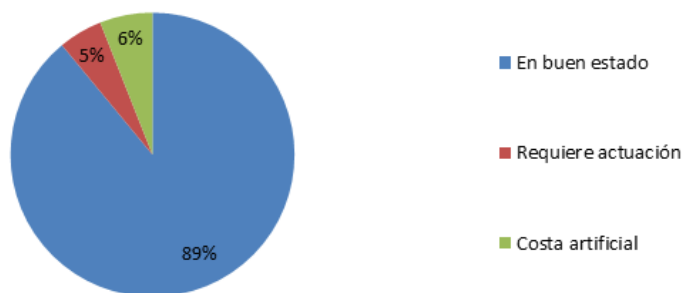


Figura 14.26: Estado de las playas y aguas de transición.

### 4.3.Ocupación de la franja costera

Actualmente las principales aglomeraciones urbanas de las islas se encuentran en el frente costero. La creciente demanda de suelo para satisfacer las necesidades ligadas a los servicios, principalmente el turismo, genera un importante aumento de la presión antrópica sobre el litoral.

Casi todas las islas cuentan con Plan de Ordenación Insular aprobado, que junto con los Planes Generales de cada municipio, y otros instrumentos de ordenación sectoriales, deberían ser suficientes para conseguir un desarrollo territorial coherente y equilibrado, pero todo este conjunto normativo falla en lo más básico que es la gestión de su desarrollo. En términos generales se puede concluir que el crecimiento descontrolado producido por la falta de una planificación integrada es la causa de muchas afecciones de la costa: ocupaciones del DPMT y de la ZSP (Infraestructuras turísticas, asentamientos de población, edificaciones aisladas), vertidos incontrolados de residuos sólidos, aguas residuales y salmueras, etc.

A la vista de los resultados agregados, figura 14.27, se observa que el suelo urbano representa el 15% de la franja costera. El litoral protegido alcanza el 40% del total, lo que da como resultado que la mayor parte de la costa, un 40% esté sin ninguna figura de protección y aparezca como suelo no urbanizado. Este porcentaje de este tipo de suelo, no urbanizado pero sin protección, es de los más elevados de todo el litoral español

## Litoral de Canarias

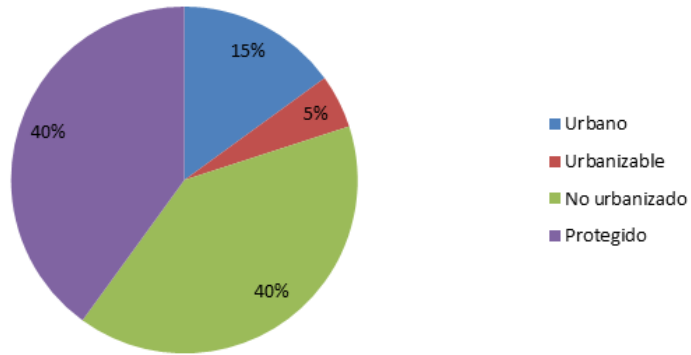
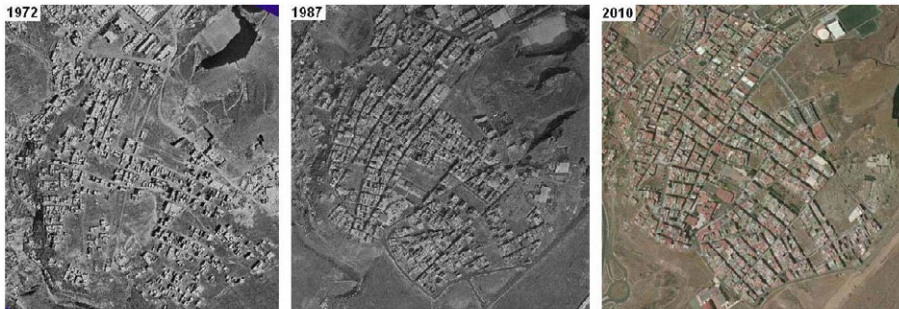


Figura 14.27: Presión urbanística.



Evolución de una "Urbanización Marginal". Taco, Tenerife.

Figura 14.28: Presión urbanística.

### 4.4. La Ocupación fuera del marco legal

En Canarias, durante los años sesenta y setenta, se produjo, un fenómeno de urbanización generalizada, que en parte se adaptó a las normas urbanísticas y al planeamiento vigente y en parte se desarrolló fuera de este marco general. Una cantidad significativa del suelo ocupado por la edificación durante estos años, fue producto de la parcelación clandestina de fincas rústicas y de la (auto)construcción de edificaciones y otras edificaciones ilegales. A estas formas de urbanización popular que se desarrollaron al margen de la legislación urbanística, se les llamó "urbanizaciones marginales". Este fenómeno, que en general se

localizó en la periferia de los centros más importantes de las islas (fundamentalmente Santa Cruz de Tenerife y Las Palmas de Gran Canaria), se explicaba por la incapacidad de la administración pública para responder a la demanda de viviendas que la concentración poblacional estaba generando, pero también por la tolerancia de la misma administración ante la dimensión y la vivacidad del fenómeno. Así se llevó a cabo buena parte de lo que hoy es (ya legalizada) la última fase del proceso de urbanización insular.

Pues bien, una modalidad particular de este fenómeno de “urbanización marginal” que afectó a la totalidad del territorio de las islas, son los “núcleos marginales de litoral”, y su particularidad consiste, como su nombre indica, en su localización justo sobre el borde marítimo. La mayor parte de las “urbanizaciones marginales” construidas durante esos años, fueron asumidas por la administración como un fenómeno irreversible, lo que se tradujo en su consolidación material tanto mediante la introducción de las infraestructuras y los equipamientos necesarios, como con su legalización al partir del planeamiento municipal. Hay que observar que las “urbanizaciones marginales” eran producto de la subdivisión de fincas privadas que normalmente no afectaban al espacio público.

Pero no ocurrió lo mismo con los “núcleos marginales de litoral”. Los “núcleos marginales de litoral”, si lo afectaban. No siempre en una primera fase, pero normalmente en algunas de ellas, su proceso de “llenado”, terminaba invadiendo la franja de contacto entre el mar y la tierra firme, alterando (y por tanto devaluando) uno de los recursos más valiosos con que cuenta cualquier archipiélago, es decir, su borde litoral. La invasión de ese borde, que en términos legales, se establece como el DPMT, y que la legislación española define como un espacio de “propiedad pública”, no ha impedido la construcción sucesiva de edificaciones en el entorno, así como la consolidación de los núcleos. Como en las “urbanizaciones marginales”, su condición de “ilegalidad”, no ha dificultado su desarrollo, y algunos núcleos han adquirido el status de una auténtica urbanización. Lo que no implica que la administración actuante, no se haya planteado, con todos los instrumentos legales a su alcance, recuperar aquel espacio que es legal e intrínsecamente de todos.

Un fenómeno que, finalmente, no debe confundirse con aquellas colonizaciones puntuales del borde marítimo insular que, por una variada casuística, pudieron llevarse a cabo en la primera parte del siglo XX, o incluso antes.

Los “núcleos marginales de litoral”, a que nos estamos refiriendo son, en su mayoría, actuaciones muy recientes, con no más de cincuenta años de antigüedad. Una modalidad que es fácilmente reconocible en el litoral de todas las islas y que se identifica con un arquitectura muy rudimentaria, a modo de casas rurales, casas-cueva, o mediante simples horadaciones del terreno natural.



No se trata de poblados marineros antiguos como puede ser San Andrés en Tenerife, sino que se trata de fenómenos de construcción habitacional generalizada en la costa, ligadas al momento del boom turístico y a la nueva manera de ver y usar la costa como lugar de ocio. Se trata en casi todos los casos de concentraciones de edificaciones que tienen que ver con segundas residencias para pasar fines de semana y períodos de vacaciones. Son construcciones, en general, de baja calidad que no reúne ninguna de las características de la construcción tradicional canaria, y menos aún se puede decir que las viviendas contienen valores protegidos etnográficos.



Figura 14.29: Playa de Cho Vito. 1.973.



Figura 14.30: Playa de Cho Vito. 2.000.

Se trata en definitiva, de viviendas sin ninguna posibilidad de futuro, ni desde el punto de vista administrativo y legal, ni desde el punto de vista físico, pues normalmente se sitúan sobre playas en regresión y están crecientemente amenazadas por el mar. Sin embargo, si estas situaciones se arrastran de hecho desde un cierto tiempo atrás, deben encontrarse fórmulas graduales y razonables para resolverlas, no porque la ilegalidad haya generado ningún derecho con el tiempo, sino porque el pragmatismo exige que las soluciones más eficaces y más rápidas para regularizar estos casos vienen por la vía de la negociación y del acuerdo, y en este proceso es imprescindible el concurso y la colaboración de la Administraciones Territoriales, pues en otro caso, la actuación en solitario de la Administración del Estado solo puede conducir a procedimientos complicados, largos y conflictivos desde todos los puntos de vista, muy difíciles de gestionar.



Figura 14.31: El Sauzal (Construcciones).



Figura 14.32: El Sauzal (Construcciones).



Figura 14.33: El Sauzal (Construcciones).



Figura 14.34: El Sauzal (Construcciones).

## 5. Vulnerabilidad frente al cambio climático

La magnitud del efecto del cambio climático en un tramo de costa está gobernada por tres factores: 1) la magnitud del cambio de las variables de la dinámica marina (nivel del mar, acción del oleaje...), 2) el tipo de costa (acantilada, arenosa, humedales...) y 3) la presencia de infraestructuras, usos humanos o valores naturales potencialmente afectables por dichos cambios.

Las condiciones existentes en la costa de las islas Canarias, mayoritariamente acantilada y con playas encajadas y de pequeña dimensión y fundamentalmente de bolos y gravas, hace que el efecto del cambio climático sea, en términos globales, bajo.

Esta afirmación de carácter global enmascara, no obstante problemas a los que se enfrenta el litoral de las islas por efecto del cambio climático. En ese sentido cabe reseñar los cambios en la intensidad y dirección de abordaje del oleaje en las costas norte de las islas, y las tendencias observadas en los regímenes de vientos.

### 5.1. Líneas estratégicas de actuación

A la luz del diagnóstico de detalle efectuado en los diferentes aspectos (físico, natural, urbanístico y socioeconómico) se han establecido, con carácter preliminar, un conjunto de líneas estratégicas de actuación encaminadas a mejorar el estado actual de la franja litoral de las Islas Canarias. El conjunto de líneas estratégicas de actuación se presentan, de forma agregada, en la figura 14.35.

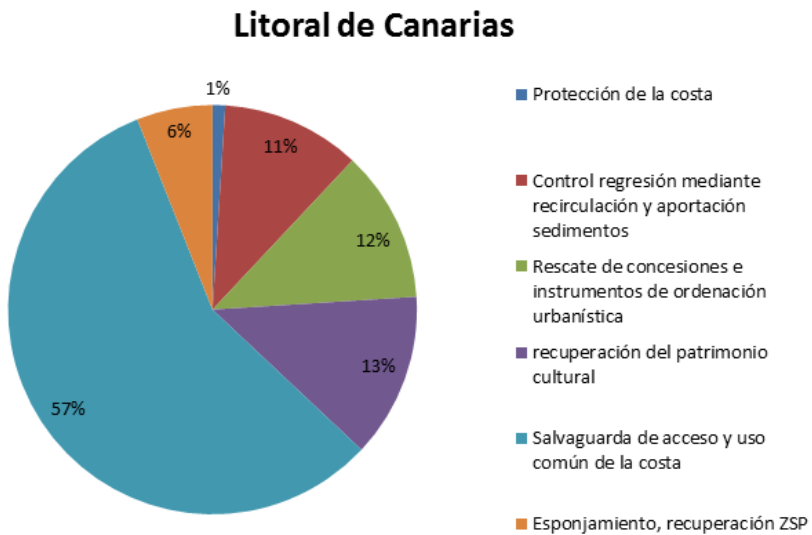


Figura 14.35: Líneas estratégicas de actuación.

Cabe destacar la relevancia que tienen las actuaciones orientadas a la salvaguarda del acceso y uso común del litoral, al rescate de concesiones, esponjamiento urbanístico y recuperación de la ZSP y actuaciones urbanísticas en zona de influencia. Este tipo de actuaciones representan el 75% de las actuaciones establecidas como necesarias para recuperar el buen estado de la costa y afectan a casi 300 km. de franja litoral. En este sentido se han identificado un importante número de terrenos con características adecuadas para ser adquiridos en aras a la conservación de los valores naturales y comunes de la costa.

No es desdeñable el conjunto de actuaciones de control de la regresión por medio de recirculación y aportación de sedimentos requeridas en 38 km. de costa para la mejora del estado ambiental de las playas del archipiélago.

<b>Líneas estratégicas de actuación</b>
<b>Actuaciones relevantes de la provincia de las Palmas de Gran Canaria</b>
Control de la acumulación de arena en la playa de Las Canteras en Gran Canaria
Remodelación el Anexo II de Playa del Inglés en Gran Canaria
Demolición de los hoteles: Hotel Las Costas en Tías, Hotel Papagayo Arena en Playa de Las Coloradas, Hotel Atlante del Sol en Yaiza
Demolición de viviendas ubicadas en el DPMT en San Cristobal, Tufia, Ojos de Garza y en Playa del Inglés.
Recuperación de las zonas de tránsito ocupadas por Hotel Los Fariones y Hotel Sol Meliá.
Recuperación de las dunas de Corralejo, mediante la limitación del crecimiento de Corralejo, la retirada de la carretera FV-1 y la eliminación del complejo Oliva Beach. Vigilancia del proceso erosivo que pudiera afectar a las Dunas de Maspalomas.
Eliminación de las barreras físicas que impiden el transporte de sedimento en el Istmo de La Pared a las playas de Sotavento, así como la adquisición del terreno no urbanizado en la península de Jandía, incluido el Istmo de La Pared
Corrección del impacto paisajístico en el Paisaje Protegido de La Isleta y control urbanístico alrededor del Monumento Natural de Los Ajaches.
Mejora de la accesibilidad longitudinal y transversal en Costa Ayala en Telde y en las playas de El Cabrón y Vargas El Veril, las playas de Meloneras y de Pasito Blanco y prácticamente todas las playas de Mogán

<b>Líneas estratégicas de actuación</b>
<b>Actuaciones relevantes de la provincia de Santa Cruz de Tenerife</b>
Recuperación del Espacio Natural de El Remo, La Palma
Reordenación del frente marítimo de Santa Cruz de La Palma
Reordenación del frente marítimo de Playa Santiago en la Gomera
Revisión del deslinde en la Ensenada de Las Playas y reubicación del Parador Nacional de El Hierro.
Seguimiento del cumplimiento de la legislación vigente por parte de las jaulas destinadas al cultivo de especies acuícolas.

Posibilitar la integración y apertura de la ciudad de Santa Cruz de Tenerife hacia el mar, liberando espacios para la acogida de usos dotacionales y recreativos.
Control de la actividad de la Refinería de Santa Cruz de Tenerife para evitar vertidos al mar.
Limpieza y control de las desembocaduras de los Barrancos de Santos, Tahodio y Bufadero en S/C de Tenerife y Bcos. de Piedra Gorda y Badajoz en Güimar.
Recuperación del DPMT en : Bajo Cuesta Las Tablas, Chorregino y Las Bajas, La Caleta, El Puertito, El Embarcadero de Puerto de Los Mozos, Punta Brava, Playa del Sargo, Playa del Apio, Punta de Los Gomeros, El Varadero, Bocacangrejo, La Resvalada, Playa de Lima y Viuda.

## 6. Bibliografía

Estrategia para la Sostenibilidad de la Costa. Autor: Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y el Mar.

Memoria de actuaciones 2009-2010 del Servicio Provincial de Costas de Tenerife.

## CAPÍTULO 15

---

# Restauración y estabilización de laderas en terrenos volcánicos

Hernández Gutiérrez, Luis E.  
Santamarta Cerezal, Juan Carlos  
Ramos Villar, Antonio  
Luque, Javier  
Hernández Durán, Germán  
Hernández Rodríguez, Israel  
Asensio, Carmelo  
Santana, Ana

## 1. Introducción

Los desprendimientos y otros movimientos de laderas son uno de los riesgos naturales que más afectan a la sociedad canaria y con frecuencia ocupan las portadas de los medios de comunicación, máxime cuando se producen pérdidas humanas o materiales de consideración o afectan a las comunicaciones y a los servicios básicos de la comunidad. En este artículo se establece la relación entre los tipos de inestabilidades más frecuentes y las unidades geotécnicas de las islas Canarias. Para algunas de estas inestabilidades se proponen soluciones a partir del estudio de varios casos prácticos.

## 2. Inestabilidades frecuentes en las unidades geotécnicas volcánicas de Canarias

En el Archipiélago Canario, de naturaleza volcánica, se ha configurado un paisaje con numerosos accidentes geográficos (grandes escarpes y profundos barrancos), que dificulta enormemente la implantación y el mantenimiento de las infraestructuras, debido a los fenómenos de inestabilidad de laderas que se generan como consecuencia de factores geológicos, meteorológicos y topográficos. La singularidad geológica de Canarias incrementa la complejidad de estos procesos naturales, por lo que es muy importante conocer la variedad de materiales volcánicos presentes en las islas, su distribución espacial y sus propiedades geotécnicas.

Las inestabilidades en las laderas volcánicas, al igual que con el resto de litologías, pueden clasificarse atendiendo a los materiales involucrados en los procesos, distinguiendo generalmente entre materiales rocosos o rocas, derrubios y suelos, y también por los mecanismos y tipos de rotura.

En la guía GETCAN-011 para la realización de estudios geotécnicos en las Islas Canarias (Hernández et al, 2012), se clasifican los terrenos volcánicos presentes en las mismas en distintas unidades geotécnicas (Tabla 15.1).

Tabla 15.1: Clasificación de inestabilidades de laderas y taludes en terrenos volcánicos.

Unidad	Subunidad
<b>I:</b> Complejos basales	
<b>II:</b> Coladas y macizos sálicos	
<b>III:</b> Macizos basálticos alterados	
<b>IV:</b> Coladas basálticas sanas	<b>IVa:</b> Coladas “aa” poco escoriáceas
	<b>IVb:</b> Coladas “pahoehoe” y “aa” muy escoriáceas
<b>V:</b> Materiales piroclásticos	<b>Va:</b> Ignimbritas y tobas
	<b>Vb:</b> Depósitos piroclásticos sueltos o débilmente cementados
<b>VI:</b> Materiales brechoides	
<b>VII:</b> Depósitos aluviales y coluviales	
<b>VIII:</b> Suelos arenosos	
<b>IX:</b> Suelos arcillosos y/o limosos	
<b>X:</b> Rellenos antrópicos	

En la Tabla 15.2 se relacionan los procesos de inestabilidad más frecuentes que afectan a las distintas unidades geotécnicas de macizos rocosos volcánicos, que han sido definidas en la guía GETCAN-011, atendiendo a las tipologías de movimientos, a las características de las unidades geotécnicas y a la experiencia en el estudio de inestabilidades de laderas en las Islas Canarias.

Tabla 15.2: Algunas inestabilidades de laderas y taludes en terrenos volcánicos.


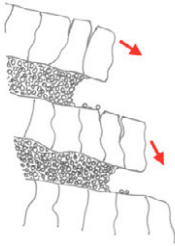
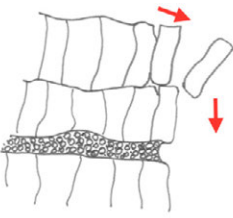
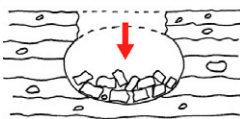
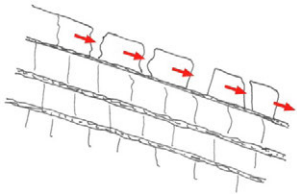
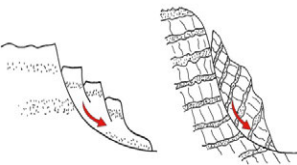
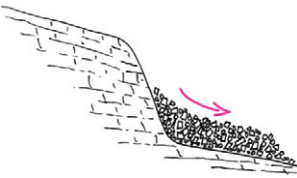
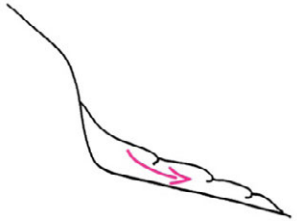
Tipo de movimiento	Descripción del movimiento	Unidades geotécnicas (GET-CAN-011)	Observaciones
Desprendimientos	<p>Caída de bloques y "chineos"</p> 	<p>I Vb VI VII</p>	<p>Desprendimientos de bloques de tamaño decimétrico a métrico por erosión de la matriz.  Caída de partículas de tamaño centimétrico a milimétrico (Chineo).</p>
	<p>Caídas por descalces</p> 	<p>IVa IVb</p>	<p>Erosión de los niveles piroclásticos o de niveles escoriáceos de coladas basálticas "aa", que provocan caída por descalce de prismas rocosos.</p>
	<p>Vuelcos</p> 	<p>II IVa IVb</p>	<p>Vuelco de prismas rocosos aislados por diaclasado de retracción.</p>
	<p>Colapsos</p> 	<p>IVb</p>	<p>Colapso de tubos o cavidades formadas en el seno de lavas "pahoehoe".</p>



Tabla 15.2: Algunas inestabilidades de laderas y taludes en terrenos volcánicos (cont.).

Tipo de movimiento	Descripción del movimiento	Unidades geotécnicas (GETCAN-011)	Observaciones
Deslizamientos traslacionales en rocas o suelos		I II III IV V VI VII VIII IX	Puede afectar a cualquier unidad geotécnica, que se moviliza a favor de una superficie plana de debilidad o de una discontinuidad.
Deslizamientos rotacionales		I III Vb VI VII IX	Son más frecuentes en suelos cohesivos.  También en macizos rocosos blandos o con alto grado de fracturación o alteración, donde las discontinuidades no constituyen superficies de debilidad preferentes.
Avalanchas rocosas		II III IVa IVb Va VI	Movimiento de grandes masas de roca, que forman depósitos caóticos y masivos, con megabloques de estructuras volcánicas originales y facies de matriz.
Flujos de barro		IX	Se dan en materiales predominantemente finos y homogéneos, ocasionados por la pérdida de resistencia del material por su saturación en agua.

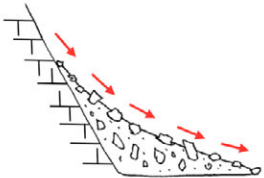
<p>Flujo de tierra y derrubios</p>		<p>VII X</p>	<p>Depósitos de granulometría diversa (finos y gruesos) que se movilizan por acción del agua.</p>
------------------------------------	---	------------------	---



Figura 15.1: Desprendimientos por vuelco de estratos en el frente de una colada basáltica con diaclasado de retracción preferentemente vertical, playa del Ancón, Tenerife.

## 3. Casos de aplicación

### 3.1. Caso práctico I: Diseño e instalación de medidas de protección contra desprendimientos en la Carretera Insular de Buenavista del Norte a Punta de Teno en la isla de Tenerife

#### 3.1.1. Introducción

La Carretera Insular TF-445 conecta el casco urbano de Buenavista del Norte con el Faro de la Punta de Teno atravesando el paraje protegido del Parque Rural de Teno. Entre los P.K. 2+700 y el P.K. 6+000, dicha carretera discurre a media ladera por una zona montañosa, con taludes de gran altura, verticales y subverticales, generados por coladas basálticas y traquibasálticas con intercalación de escorias y otros materiales volcánicos. La erosión constante de los materiales más blandos por la acción de la lluvia y el viento, unido a la antigüedad geológica del Macizo de Teno, ha dado como resultado múltiples desprendimientos. A causa de los mismos, desde el año 1996 el tráfico se limitó a vehículos y personas previamente autorizadas y, aún en ese caso, indicando que el acceso se realizaba bajo su propia responsabilidad.

En noviembre de 2013, tras la entrega por parte de las empresas de ingeniería Giur y Raymar 2005 del “Análisis de riesgos e instalación de medidas correctoras y de protección contra desprendimientos en la C.E. TF-445. T.M. Buenavista del Norte” (en adelante Informe Previo), realizado por encargo de Excmo. Cabildo Insular de Tenerife, y concluido el proceso de licitación, el Consejo de Gobierno de dicho Organismo acordó la adjudicación a Villar Trabajos Verticales Canarios, S.L. (v-traverca) de la “Redacción del proyecto y ejecución de las obras de instalación de medidas correctoras y de protección frente a desprendimientos en la C. I. TF-445. Zonas 14, 16 y 17”.

#### 3.1.2. Análisis y resultados del Proyecto

Como continuación al trabajo de campo realizado de forma conjunta para la oferta de licitación y del consiguiente análisis del Informe Previo ya mencionado, v-traverca encargó a INTERRA, Ingeniería y Recursos, S.L.U. (Interra) la redacción del Proyecto adjudicado.

Concluidos los levantamientos topográficos y las múltiples simulaciones informáticas realizadas mediante el uso de software en dos y tres dimensiones, y tras corroborar los resultados con un pormenorizado estudio de campo realizado por la Dirección de obras de v-traverca y el Equipo redactor de Interra, se determinó sustituir la instalación lineal de

Barreras Dinámicas en una cota constante de unos quince metros sobre la carretera –la habitualmente denominada instalación “efecto sombra”- por distintas líneas de Barreras Dinámicas dispuestas a diferente cota y algunas de ellas solapadas entre sí.

El efecto de dicha opción fue la instalación de un 30% más de metros lineales de Barreras Dinámicas, respecto a la propuesta del Informe Previo, con un aumento de la superficie realmente protegida y con una disminución de la energía de algunas de las Barreras Dinámicas proyectadas. Como resultado, la instalación se tornó mucho más compleja por efecto de la elevada altura e inaccesibilidad de la ubicación de las mismas y, en virtud de ello, muy exigente respecto a los requisitos de especialización de los profesionales implicados en la ejecución del proyecto. Sin embargo, dada la optimización de las capacidades de las Barreras Dinámicas utilizadas, el costo de ejecución se redujo desde un importe inicial de 822.935,46 €, previsto por el Informe Previo, hasta un importe de ejecución final de 665.612,66 €.

### **Medidas instaladas**

Además de diversas medidas de protección in situ –Mallas de Acero de Triple Torsión y Paneles HEA de Red de Cable- y de tres Barreras de Flujo, la ejecución de la obras supuso la instalación de las Barreras Dinámicas.

Los materiales instalados fueron suministrados por la empresa A. Bianchini Ingeniero, S.A. y contaron con certificado C.E. y todas las certificaciones exigibles para este tipo de instalaciones.

### **3.1.3. Conclusiones**

Del resultado final de la obra se puede inferir que la instalación lineal de Barreras Dinámicas, con el llamado efecto sombra, no siempre resulta la solución más adecuada, pues requiere de barreras de mayor capacidad, y no siempre la sombra sobre la calzada es completa. Por otro lado, queda de manifiesto que el trabajo conjunto de un equipo de ingeniería especializado en el tratamiento de riesgos geológicos y una empresa con alta especialización en la ejecución de obras de tratamiento de taludes y laderas, que ofrezca la posibilidad de acometer las mismas en emplazamientos de máxima dificultad, supone una garantía de éxito y un abaratamiento final de costes; en especial si ambas cuentan con un profundo conocimiento de la zona de actuación.

## 3.2.Caso práctico II: Metodología de investigación innovadora para el estudio de estabilización del acantilado del Parador de Turismo de La Gomera

### 3.2.1.Introducción

El Parador de Turismo de La Gomera está ubicado sobre una pequeña meseta de bordes acantilados que ha sido origen de numerosos desprendimientos. Además de los factores naturales que dan origen a las inestabilidades (fuerte pendiente, estructura geológica, propiedades geomecánicas, etc.), existen una serie de factores desencadenantes, todos ellos de origen antrópico, que agravan aún más la situación, como son: la explotación como antigua cantera con modificaciones del relieve dejando zonas en desplome, voladuras que han abierto las fracturas naturales del macizo rocoso, y plantación y riego de árboles que potencian las inestabilidades. El presente trabajo se realiza a raíz de una rotura global en el acantilado.



Figura 15.2: Imagen del deslizamiento en el acantilado del Parador de Turismo de La Gomera.



Figura 15.3: Auscultación digital de los sondeos horizontales. Se observa una grieta paralela al talud con apertura de 40 cm (Izda), y grietas con presencia de raíces (Dcha).

El deslizamiento de rocas se produjo a favor de una fractura paralela al talud y afectó a un potente nivel de basalto masivo que corona el acantilado, así como a un nivel más blando situado inmediatamente debajo, con una altura total de hasta 25 m. La rotura afectó a una superficie del talud de unos 1.200 m<sup>2</sup>, generando una avalancha de rocas de unos 1.500 m<sup>3</sup>.

### 3.2.2. Estudios realizados. Metodología de Trabajo

El análisis de estabilidad del acantilado, y la determinación de los diferentes modos de rotura que permitirán la posterior definición y valoración de las actuaciones necesarias para su estabilización, se ha apoyado en una serie de trabajos entre los que cabe destacar los siguientes:

- Estudio topográfico de alta precisión realizado mediante Láser Escáner, como base para el posterior estudio geológico-geotécnico.
- Estudio geotécnico superficial para establecer el grado de estabilidad del acantilado, y así poder determinar los riesgos derivados. Se realizó la cartografía geológico-geotécnica a escala 1:1.000, el estudio histórico de desprendimientos y el estudio de trayectorias de desprendimientos en 3D y 2D mediante software específico.
- Estudio geotécnico subsuperficial para determinar el nivel de estabilidad global del macizo frente a roturas globales. Para ello se desarrolló de una metodología innovadora de auscultación del talud mediante la ejecución de sondeos horizontales y su auscultación con microcámara.
- Cálculos de estabilidad y propuesta de soluciones.
- Proyecto de ejecución de las medidas de protección en base a la alternativa óptima.

### 3.2.3. Topografía de precisión

El Láser Escáner genera nubes de millones de puntos que reflejan la superficie de estudio con una precisión milimétrica. Al mismo tiempo toma fotografías georreferenciadas, de manera que se dispone de un modelo sólido en 3D con los colores del relieve, lo que es muy útil para identificar cualquier elemento del acantilado, como: niveles estratigráficos, cuevas, zonas en desplome, tamaño de posibles bloques inestables, rellenos, etc.

### 3.2.4. Inspección del interior del talud mediante sondeos horizontales

Para comprobar la existencia de grietas ocultas que pudiesen dar lugar a grandes roturas, se realizaron una serie de sondeos horizontales perpendiculares a la cara del talud para determinar si existían grietas de tracción que pudiesen suponer un riesgo a futuro.

Se llevó a cabo la auscultación de los 20 sondeos horizontales mediante la grabación directa de video de alta resolución, para lo que fue necesario el empleo de técnicas de trabajos verticales. Todos los sondeos fueron geolocalizados, e identificada la orientación y buzamiento de los mismos. Posteriormente se interpretaron los resultados de la inspección, determinando la orientación, apertura y otras características de los planos de fractura detectados.

Como resultado de la aplicación de esta técnica se identificaron una serie de planos de fractura subverticales, muy abiertos y con orientaciones paralelas al talud, que podrían dar lugar a roturas globales del mismo. La conexión de las líneas de fractura ocultas con otras visibles en el talud fue posible gracias a la combinación con el levantamiento topográfico de detalle realizado mediante el Láser Escáner.

Se identificaron tres sectores del talud donde han aparecido numerosas grietas abiertas, algunas de las cuales tienen una apertura próxima a los 40 cm. Éstas se representaron en 3D para llevar a cabo los cálculos de estabilidad de cada sector y el dimensionamiento de las soluciones.

### 3.2.5. Conclusiones

La aplicación de una metodología de investigación innovadora, consistente en la combinación de sondeos horizontales auscultados con una cámara de inspección, y combinado con una topografía de alta precisión levantada con un Láser Escáner; ha arrojado unos resultados sorprendentes que han resultado claves para garantizar la seguridad del talud.

Sin el empleo de éstas tecnologías no hubiese sido posible la detección de grandes grietas que ponen en riesgo la estabilidad global del talud, mostrándose ésta como un metodología eficaz para investigar problemas similares y que pasan desapercibidos cuando se usan técnicas de investigación geotécnicas convencionales. La aplicación de esta metodología redundo en una mayor garantía de seguridad, una importante reducción de los costes de ejecución, así como la consecución de un diseño optimizado de los sistemas de estabilización.



### 3.3.Caso práctico III: Actuaciones de estabilización y saneamiento del Bien de Interés Cultural “Ladera de Martíáñez”

Las especiales características geológicas del terreno, que propiciaban distintos tipos de riesgos, junto con diferentes condicionantes adicionales de tipo arqueológico, patrimonial, ambiental y humano, que provocaron que se hubiesen de tener en cuenta distintos niveles de peligrosidad, supusieron un reto para llevar a buen puerto las actuaciones de estabilización y saneamiento del bien de interés cultural “Ladera de Martíáñez”.

Se caracterizaron diferentes riesgos provocados por hasta 5 tipos distintos de inestabilidades

- Inestabilidad por formación de cornisas por erosión diferencial.
- Inestabilidad por desprendimiento de bloques.
- Inestabilidad por bloques sueltos a media ladera.
- Inestabilidad por chineo o caída de bloques menores.
- Inestabilidad por flujo de detritos.

Previo al inicio de los trabajos se estableció un plan de actuaciones valorando los riesgos existentes para las viviendas adyacentes así como los riesgos para los trabajadores en ejecución de los trabajos. Con este objeto, se zonificó la ladera de Martíáñez por actuaciones para el control de los riesgos de desprendimiento existentes derivados de los tipos de inestabilidades detectadas. De esta manera se definió una secuencia de trabajos ascendiendo desde pie a coronación de talud, priorizando las actuaciones que minimizasen el riesgo a las viviendas y garantizaran la seguridad de los trabajadores.

Debido a la especial y complicada orografía del terreno, y a las condiciones de trabajo, la totalidad de los trabajos se tuvieron que llevar a cabo por parte de operarios especializados en trabajos verticales. Además, se tuvo que contar con el apoyo de un helicóptero para el transporte del material hasta la ladera e incluso para la instalación específica de algunas de las soluciones proyectadas.

Las medidas correctoras que se aplicaron quedan recogidas en el siguiente cuadro.

Descripción	Medición
Perforación e instalación de anclaje de barra de acero tipo Gewi $\varnothing 25$ mm y hasta 5 m de profundidad	1.545 m
Barrera dinámica de 4 m de altura con una capacidad de absorción de energía de 1000 kJ	154 m

Malla metálica de triple torsión	10.120 m <sup>2</sup>
Malla de triple torsión reforzada con cables y anclajes	980 m <sup>2</sup>
Barrera estática de 2 m de altura para la intercepción de desprendimientos	129 m
Red de cable de acero Ø8 mm fijada con anclajes de barra de acero tipo Gewi Ø25 mm y hasta 5 m de profundidad	3.606 m <sup>2</sup>



Figura 15.4: Colocación de la malla mediante helicóptero.

### 3.4. Bibliografía

- Ayala Carcedo, F.J. et al. (1987). *Manual de taludes*. Madrid: IGME.
- Hernández Gutiérrez, L.E et al. (2012). Guía de estudios geotécnicos GETCAN-011. Gobierno de Canarias.
- López Jimeno, C. (editor) (1999). *Manual de estabilización y revegetación de taludes*. Madrid: Entorno Gráfico, S.L.
- López Vallejo, L.I. (coordinador) (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación.
- Santamarta J.C., Hernández-Gutiérrez, L.E., Arraiza, M.P. (editores), (2014). *Natural Hazards & Climate Change*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Montes.



# CASOS DE APLICACIÓN Y ESTRATEGIAS UTILIZADAS



## CASO 1

---

# Restauración forestal del bosque termófilo en San José del Álamo

Echevarría Chicoy, Jaime

### 1. Introducción, antecedentes y localización del espacio y/o proyecto

Los bosques termófilos en Canarias han sufrido un profundo deterioro desde la llegada de los primeros pobladores a las islas. La interacción del ser humano con el ecosistema termófilo, de donde extraía los principales productos necesarios para su subsistencia, ha llevado a una drástica reducción de su presencia. Su distribución actual se presenta escasa, fragmentada y degradada, constituyendo por tanto, debido a su deficiente estado de conservación, el ecosistema peor conocido.

Las actuaciones de restauración forestal que se describen tienen su raíz en el Plan Especial del Paisaje Protegido de Pino Santo, en la isla de Gran Canaria, que define como uno de sus objetivos fundamentales, la recuperación del bosque termófilo dentro del Paisaje, y propone el Parque Periurbano de San José del Álamo y los Altos de San Gregorio como zonas donde llevar a cabo las acciones de restauración. Parte del Paisaje Protegido es Zona Especial de Conservación denominado Pino Santo (ZEC 48\_GC) y declarado como tal por la presencia de los hábitats 9320 (Bosques de *Olea y Ceratonia*) y 5330 (Matorrales termomediterráneos y preestéticos)

El desarrollo de las actuaciones propuestas para el Paisaje Protegido de Pino Santo obtiene un inestimable apoyo en diciembre de 2007 mediante la firma de un convenio de colaboración entre la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación Territorial del Gobierno de Canarias y el Ministerio de Medio Ambiente, para la protección y mejora del medio natural del municipio de Las Palmas de Gran Canaria, por medio del cual se obtiene la financiación necesaria para su ejecución. Concretamente el proyecto de restauración se realiza en terrenos de titularidad pública, en el término municipal de Las Palmas de Gran Canaria, localizados en San José del Álamo y en los Altos de San Gregorio, siendo la superficie total de repoblación de 26,6 ha.

Cabe señalar que en los alrededores a las zonas escogidas para la restauración se han venido realizando desde 1997, con motivo del Día del Árbol, pequeñas reforestaciones con

especies del bosque termófilo. Debido al aprovechamiento de los pastos que se realiza en la zona por un numeroso rebaño de ganado ovino, estas plantaciones presentan en la actualidad un elevado porcentaje de marras mientras que los ejemplares supervivientes quedan sin desarrollo por efecto del intenso ramoneo.

## 2. Diagnóstico del problema

Como ya se ha indicado, la extensión del bosque termófilo en Canarias se vio drásticamente reducida hasta aparecer en la actualidad en reductos testimoniales. Su aprovechamiento directo mediante tala y quema y la ocupación de terrenos para la agricultura fueron las principales causas de la regresión sufrida, lo que ha ocasionado la sustitución de las especies más nobles mediante la intrusión de especies alóctonas más agresivas entre las que destacan las tuneras (*Opuntia maxima*, *Opuntia dillenii*) o la pita.

En el momento de acometer la restauración, el factor más determinante en la alteración de la vegetación en la zona que nos ocupa era el pastoreo extensivo del ganado ovino existente, impidiendo la regeneración natural de la vegetación potencial y dando lugar a la perpetuación de pastizales de cerrillo. Cuando una zona es aprovechada por el ganado de manera continua, la vegetación leñosa no es capaz de tolerar el pastoreo intenso, desapareciendo (San Miguel, 1994). Este problema se hace bien visible en las plantaciones pretéritas que, tras sufrir un mordisqueo reiterado e intenso, quedan reducidas a un pequeño número de ejemplares confinados en sus mallas protectoras, densamente ramificados, adquiriendo un porte en forma de bola o almohadilla compacta y de aspecto espinoso. Sin embargo, aunque no es habitual, se observa que cuando la guía principal logra escapar del alcance del ganado, la planta se desarrolla en altura y permite la formación y despliegue de la copa.

## 3. Plan de actuación

La planificación de la actuación trata de armonizar la consecución de los objetivos fijados en el proyecto con los condicionantes inherentes a la zona de actuación. El principal objetivo marcado por el proyecto de repoblación forestal es la recuperación del bosque termófilo como ecosistema. Por ello es primordial realizar una adecuada elección de las especies a utilizar. Los factores florísticos y climáticos determinan la vegetación potencial de la zona representada en los pisos bioclimáticos existentes en la zona de actuación, el piso inframediterráneo xerofítico árido, en la parte baja del espacio con presencia de las especies propias del piso basal canario representado por el cardonal-tabaibal, y

el piso inframediterráneo xerofítico semiárido, en la parte alta, que se corresponde con el ecosistema del bosque termófilo. Por tanto las especies a utilizar son las típicas del termófilo: acebuche acompañado del lentisco, el almácigo, la sabina, el drago o la palmera canaria

Por otra parte, debido a la presencia del ganado ovino anteriormente comentada, se optó, de manera consensuada con el pastor, por un diseño de la repoblación que permitiese compatibilizar la restauración con el uso ganadero, no utilizando la totalidad de la superficie disponible para actuar. Para ello se destinaron 26,6 ha, estableciéndose seis zonas o recintos de plantación separados entre sí (Figura 1.1), de 1 a 15 ha de superficie, con su correspondiente vallado perimetral de manera que por un lado se procuraba protección a las nuevas plantas facilitando su desarrollo, y por otro se permitía el paso del ganado y el mantenimiento del pastizal, hábitat de una serie de aves de espacios abiertos, entre las que destaca el alcaraván, el triguero, la codorniz y la perdiz roja.

No obstante para una de las zonas de actuación, en concreto el rodal 4, se sustituyó la opción de vallado perimetral por protecciones individuales de 1,45 m de altura y diámetro mínimo de 1 m.

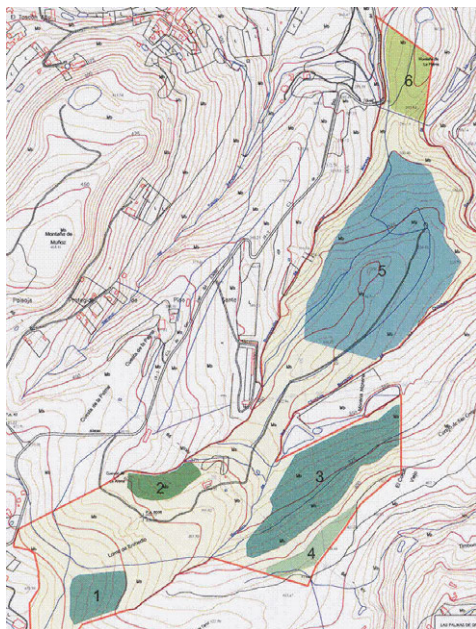


Figura 1.1: Zonas de repoblación aisladas del ganado mediante vallado perimetral.



## 4. Principales actuaciones

El proyecto contempla las siguientes actuaciones:

**Preparación del terreno.** Los trabajos para llevar a cabo la restauración se inician con el ahoyado del suelo en octubre del año 2008. Aunque inicialmente estaba previsto que el ahoyado se realizara principalmente de forma mecanizada, la dificultad para encontrar maquinaria adecuada a las condiciones de elevada pedregosidad del terreno, hizo que se recurriera al ahoyado manual en la mayor parte de la superficie. Los hoyos se realizan con unas dimensiones de 40 cm de diámetro y 50 cm de profundidad. Las cuantiosas lluvias registradas dificultaron y retrasaron la ejecución de los trabajos.

**Plantación.** Las labores de plantación comienzan en enero de 2009, con un cierto retraso debido a las numerosas lluvias habidas en la primera campaña de repoblación. El número total de plantas a utilizar en las 26,60 hectáreas de superficie es de 10.419 (Tabla 1.1) y las especies empleadas son las ya citadas: acebuche, almácigo, lentisco, sabina, palmera y drago. La plantación se realiza de forma manual con azada, al tresbolillo, siendo la densidad media de plantación de 400 p/ha en todos los recintos excepto en el número 4, de pies protegidos individualmente, en el que se establece una densidad de 200 p/ha. Dentro de algunos recintos existen áreas impracticables por afloramientos rocosos o exceso de pedregosidad, elevándose algo la densidad por tanto, en las zonas aptas para la plantación. Debido a la presencia de conejos y pequeños roedores en la zona, conjuntamente se realizan las labores de colocación de malla protectora individual con tutores de bambú, fotodegradable, de 50 cm de altura

En la primera campaña, hasta marzo de 2009, se completa la plantación de 7390 unidades de especies del bosque termófilo. El resto de la plantación se completa en la segunda campaña comprendida entre noviembre de 2009 y marzo de 2010. Son 3029 plantas, inicialmente almácigos, que dejaron de plantarse durante la primera campaña al no alcanzar un desarrollo suficiente en vivero. Finalmente, al no contar con suficiente número de almácigos en vivero, aproximadamente 1500 se sustituyen por acebuche y otras especies del termófilo. Debido a la declaración en el año 2007 de la existencia de la plaga de picudo rojo (*Rhynchophorus ferrugineus*) dejan de plantarse la mayoría de las 726 plántulas de palmera previstas que también se suplen con especies de termófilo.

Tabla 1.1: Resumen de planta utilizada según recintos.

Recinto	nº plantas
1	660
2	472
3	2.476
4	219
5	5.736
6	856
<b>Total</b>	<b>10.419</b>

Vallado. Paralelamente al ahoyado y previa a la plantación se lleva a cabo la instalación del vallado perimetral que va a proteger la repoblación del rebaño de 300 ovejas que aprovecha los pastos de la zona. Las labores consisten en el montaje de 4.512 metros lineales de los vallados de rodales así como sus puertas y otros accesorios. Los postes del vallado se anclan mediante un sistema de redondos de acero fijados al suelo y al propio poste con la aportación de cemento. El vallado se realiza con malla cinégetica de 1,45 m de altura, de alambre galvanizado formando malla de tamaño progresivo. Con el mismo tipo de malla, en la zona 4 se realizan las protecciones individuales de 1 m de diámetro.

Señalización de la repoblación. Debido a que las zonas de actuación se sitúan en un parque periurbano con gran afluencia de visitantes y al limitar las zonas de tránsito por el vallado en las áreas de plantación, se considera conveniente colocar una serie de paneles informativos donde se explique a los visitantes del espacio la intención de recuperar el bosque termófilo mediante repoblación forestal y la necesidad de protegerla mediante vallados temporales. Los paneles informativos se sitúan sobre la malla del vallado junto a las puertas, o bien sujetos mediante un único pie en lugares estratégicos cercanos al área recreativa para facilitar su visión y lectura. La instalación de la cartelería se lleva a cabo a la par que el vallado

Riego de asiento. Con la finalidad de conseguir un menor porcentaje de marras tras la plantación y dadas las difíciles condiciones climáticas de la zona se proyecta un riego de asiento en el mismo momento de la plantación. Se estima necesaria una cantidad de 25 litros de agua por planta. El riego se realiza a partir de depósitos de 12.000 l situados en la parte alta de la finca y mediante un tendido principal de mangueras fijas y otras flexibles distribuidas uniformemente. Debido a las copiosas lluvias caídas en la primera campaña de plantación se estima oportuno suprimir el riego de asiento e incorporarlo a futuros riegos de mantenimiento.

## Mantenimiento

Para apoyar el desarrollo de las plantas arraigadas y obtener un mayor índice de supervivencia se programan seis riegos de mantenimiento durante los dos primeros años desde la plantación. Los riegos de mantenimiento se centran en los meses previos y posteriores al verano.

Simultáneamente se realizan labores de desbroce sobre parte de la superficie reforestada debido a la densa presencia de cardo de 2 m de altura que hace imposible el acceso a los pies a regar (Tabla 1.2).

Así mismo en el primer y último trimestre de 2010 se llevan a cabo los trabajos de reposición de marras previstos en el proyecto.

Tabla 1.2: Resumen de labores de mantenimiento realizadas hasta junio de 2009.

Recinto	Plantas regadas	Riego (l/planta)	Desbroce (m <sup>2</sup> )
1	660	60	16.500
2	248	60	11.800
3	2888	60	31.000
4	219	60	0
5	2825	60	25.000
6	550	60	0
TOTAL	7.390	443.400	84.300

Por otra parte, durante los años 2012 y 2013 se han venido realizando labores de mantenimiento en el marco del convenio de colaboración entre la Consejería de Educación, Universidades y Sostenibilidad del Gobierno de Canarias y la Fundación "La Caixa" para actuaciones de recuperación y conservación del entorno natural de Canarias. Las labores de mantenimiento se centraron en desbroce, laboreos y escarda para combatir a la vegetación herbácea, repaso de alcorques y pocetas para la recolección de agua de lluvia, recalce o aporcado, poda de ramas bajas y formación de futuros árboles, adecuación de los protectores individuales con desperfectos o afectados por el viento y arreglo y reposición del vallado y sus puertas afectados por vandalismo.

## 5. Resultados y Seguimiento

Se puede afirmar que los trabajos de restauración concluyeron con éxito, alcanzándose un porcentaje de supervivencia en el año siguiente a la repoblación superior al 80%, con un grado de desarrollo de los pies de la nueva masa, desigual pero en general satisfactorio (Tabla 1.3). Sin embargo, el cambio de la persona encargada del rebaño de ovino ha supuesto una seria amenaza para el futuro de la restauración, pues al no respetar aquél el acuerdo alcanzado para que el ganado no entrase en los recintos vallados pastoreando únicamente las amplias zonas que se destinaron al efecto, en diferentes inspecciones realizadas se ha detectado una fuerte afección en determinados núcleos de la plantación. Para afrontar este problema que de no actuar podría llegar a ser irreversible, en la actualidad existen contactos entre los responsables de las distintas administraciones competentes.

Por otro lado, desde el año 2012, se viene realizando un seguimiento para estudiar el efecto de las podas en el crecimiento del acebuche y del almácigo mediante el establecimiento de 5 parcelas permanentes, obteniéndose datos de altura total, altura de la cruz, diámetro y perímetro basal y diámetro de copa.

Tabla 1.3: Porcentaje de supervivencia de la repoblación por recinto y años, así como estado de las plantas frente a la presencia de ganado.

Recinto	Supervivencia 2010	Supervivencia 2014	Estado de plantas
1		100%	sin ramoneo
2	84%	68%	con ramoneo
3	92%	75%	con ramoneo
4		62%	sin ramoneo
5	100%	82%	con ramoneo

## 6. Agradecimientos

A los técnicos de GESPLAN, S.A.U., Javier Pardo Gabriel, Benjamín Artiles Peña, Marco Diaz-Bertrana, Lidia Suárez Bueno y al resto de personal de GESPLAN, S.A.U. participante en el desarrollo de los trabajos.

A Jorge Naranjo Borges, Ingeniero de Montes del Servicio de Ordenación de Espacios Naturales Protegidos de la Dirección General de Ordenación del Territorio del Gobierno de Canarias.

## 7. Referencias y bibliografía

- Artiles Peña, B. y Pardo Gabriel. F.J. (2008). Proyecto de Repoblación del bosque termófilo en el lugar denominado "San José del Álamo y Altos de san Gregorio".
- Consejería de Medio Ambiente y Ordenación Territorial, Gobierno de Canarias. (2006). *"Plan Especial del Paisaje Protegido de Pino Santo"*. URL:<http://www.gobiernodecanarias.org/cmayot/espaciosnaturales/instrumentos/areadescarga/pinosanto/documentos/aprobaciondefinitiva/normativo.pdf> [07/23/14].
- Fernández Palacios, J.M. *et al.* (2008). *Los Bosques Termófilos de Canarias. Proyecto LIFE04/NAT/ES/000064*. Excmo. Cabildo de Tenerife. Santa Cruz de Tenerife. 192pp. 978-84-87340-51-2.
- Quinteiro Yáñez, Y. (2006). *Proyecto de Repoblación forestal en el espacio natural protegido de Pino Santo*. Proyecto Interreg III B Açores-Madeira-Canarias SOSTENP 03/MAC/1.2/c2. 201 pp.
- San Miguel Ayanz, A. (1994). *La Dehesa Española. Origen, tipología, características y gestión*. Fundación Conde del Valle de Salazar. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid.

## 8. Anexo fotográfico



Figura 1.2: Planta de acebuche.



Figura 1.3: Ganado ovino en el interior de recinto repoblado.



Figura 1.4: Vallado perimetral con puerta de acceso a recinto repoblado.



## CASO 2

---

# Finca Talavera, en Parque Rural de Teno. Tenerife

García Rodríguez, M<sup>a</sup> de las Mercedes

### 1. Introducción

La finca de Talavera, que debe su nombre a su antiguo propietario, el conquistador de Tenerife Pedro de Talavera, se encuentra situada en la vertiente norte de la isla, en el municipio de Los Silos, lindando con el Monte de Utilidad Pública Las Aguas y Pasos, nº 11 del Catálogo. Posee una extensión total de 204 ha, siendo objeto en el pasado de diversos aprovechamientos ganaderos, agrícolas y forestales.

La finca Talavera fue consorciada, contrato entre el Patrimonio Forestal del Estado, PFE, y los particulares Hnos. Trujillo Martínez, para su repoblación en su totalidad, en el año 1972. Los consorcios de repoblación se realizaron en terrenos desarbolados con el objetivo de evitar o frenar la erosión y mejorar el ciclo hidrológico. La finca de Talavera se encontraba cubierta fundamentalmente por brezo en el momento de dicho consorcio. Las especies utilizadas para la repoblación fueron *Pinus canariensis* y *P. radiata*, estableciéndose una duración del consorcio de 50 años, turno propio del pino radiata. Como curiosidad el PFE asignó el número de elenco TF-3092.

Es de destacar que la finca de Talavera se encuentra incluida en el Parque Rural de Teno (Figura 2.1). Los parques rurales son aquellos espacios naturales amplios, en los que coexisten actividades agrícolas y ganaderas o pesqueras, con otras de especial interés natural y ecológico, conformando un paisaje de gran interés ecocultural que precisa su conservación. Su declaración tiene por objeto la conservación de todo el conjunto y promover a su vez el desarrollo armónico de las poblaciones locales y mejoras en sus condiciones de vida, no siendo compatibles los nuevos usos ajenos a esta finalidad.

El Parque Rural de Teno engloba diversas figuras de protección, además de la propia categoría de Espacio Natural Protegido, es Espacio Red Natura 2000 al haber sido declarado Zona de Especial Protección para las Aves, ZEPA Teno (ES0000106) y Zona de Especial Conservación, ZEC Teno (95\_TF). Declaraciones que demuestran el valor ecológico de este territorio.



El Plan Rector de Uso y Gestión, PRUG, es la herramienta de planeamiento por el que se instrumentan los objetivos de conservación y desarrollo sostenible de acuerdo con lo que establece el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales que para la isla de Tenerife está incluido en su Plan Insular de Ordenación, PIOT. El PRUG del Parque Rural aprobado por el Decreto 309/1999, publicación BOC de 3 de junio de 2000, establece una zonificación del territorio contemplando un régimen general de usos para todo su ámbito y otro específico para cada una de las distintas zonas delimitadas, así como unas normas sectoriales. Las actuaciones realizadas objeto de esta comunicación se encuentran en terrenos adscritos a la zona de uso moderado, estando esta zona constituida por aquellas superficies que permiten la compatibilidad de su conservación con actividades educativo-ambientales y recreativas.



Figura 2.1: Situación de la finca Talavera en el P.R. de Teno en la isla de Tenerife.

Fue adquirida por el Cabildo de Tenerife en el año 2001 para su recuperación ambiental, al haber sido objeto en el pasado de diversos aprovechamientos ganaderos, agrícolas y forestales.

La oficina técnica del Parque Rural de Teno encarga a AGRESTA S. Coop. el proyecto de “Obra forestal en el Parque Rural de Teno: Finca Talavera, Las Moradas, Monte del Agua y otras actuaciones forestales, encontrándose el presente caso en dicho proyecto ,si bien se ejecuta separado como “FASE 1-Subproyecto Talavera”.

El objetivo perseguido es la restauración forestal de unas 27 ha repobladas por pino radiata (*Pinus radiata*) entre finales de los años 60 y principios de los 70 para su aprovechamiento maderero (Figura 2.2). Esta zona de actuación fue dividida en cuatro parcelas (Figura 2.3) en las que se acometieron diferentes intervenciones con el objetivo común de instalar una masa autóctona y/o favorecer la evolución de la masa nativa presente a estados más desarrollados y ecológicamente maduros.

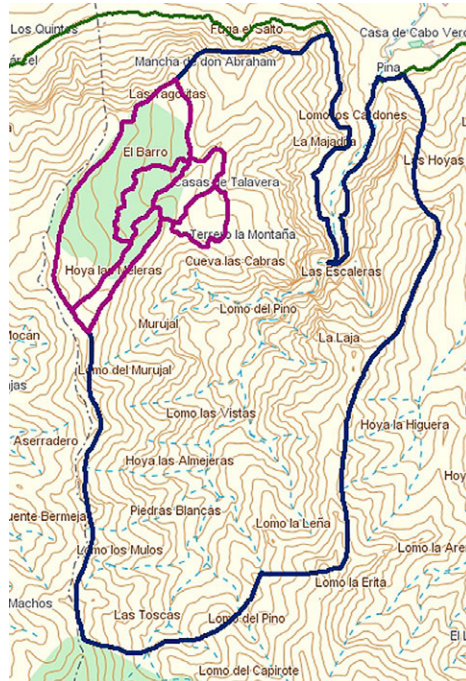


Figura 2.2: Ubicación de la zona de actuación en la finca Talavera.

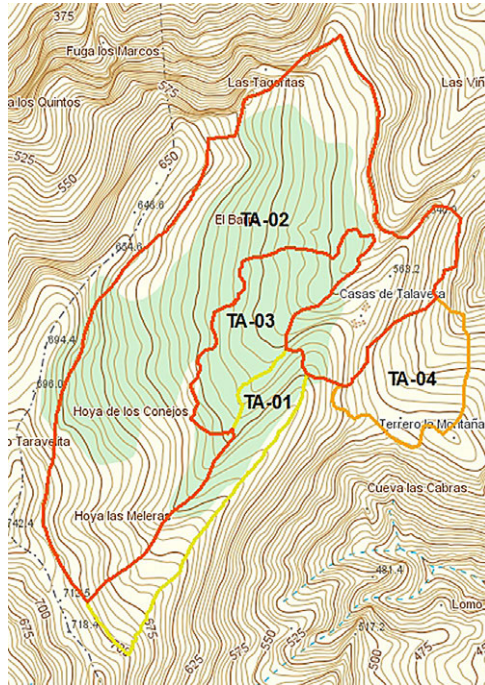


Figura 2.3: Ubicación de las parcelas de actuación.

Los trabajos, que fueron iniciados en marzo de 2007 y finalizados dos años después, tienen objetivos comunes a las diferentes unidades de actuación que se resumen en:

- Sustituir la masa de pino radiata por una formación autóctona de monteverde o monteverde-termófilo, según zona.
- Liberar el sotobosque presente bajo la cubierta de pinar, favoreciendo la evolución de la masa autóctona presente a estados más desarrollados y ecológicamente maduros.

Se destaca, por la dificultad que añade al trabajo, que existen dos accesos a la zona de actuación, uno de ellos por el sendero PR-TF 55 Talavera que parte cerca del núcleo de Los Silos y conlleva en torno a una hora de marcha a pie y de pendiente elevada. El otro acceso parte de El Palmar y discurre por vía asfaltada y por diversas pistas hasta llegar a sendero, siendo el tiempo estimado total en torno a una hora también desde El Palmar. Los operarios de la contrata utilizaban este acceso mientras que la dirección de obra utilizaba el PR-TF 55, ya que en el anterior sólo había sitio para virar un coche.

## 2. Trámites administrativos de la obra

En noviembre del 2005 se adjudica la obra por el precio de 155.391,89€ siendo el coeficiente de adjudicación de 0,884999982 y el plazo de ejecución de catorce meses, retrasándose la firma del contrato a febrero del 2006, pero no será hasta junio de ese año cuando se reciba la declaración de impacto ambiental que permite la continuación de los trámites. En septiembre de ese año se designa al Director Facultativo de la obra y coordinador de seguridad y salud a la ingeniera de montes Mercedes García Rodríguez, perteneciente al equipo de AGRESTA S. Coop. y como director técnico de la obra por parte oficina de gestión del Parque Rural de Teno, Cabildo de Tenerife, a D. J. Enrique Simó Pérez.

Tras seis meses se firma el acta de comprobación de replanteo, comenzándose los trabajos en la finca el 26/03/2007.

A lo largo de la obra se realizan varias modificaciones referidas a aspectos diferentes:

1. Incorporación de una serie de aspectos en materia de prevención de los riesgos laborales, lo que implica un incremento en el precio del contrato de 3.332,72 euros.
2. Uso de motoahoyadora por lo que se realiza adenda al plan de seguridad y salud. Esta máquina manual aumenta no sólo el rendimiento sino que también lo hace posible en zonas que debido a la naturaleza del terreno con herramientas manuales es prácticamente imposible.
3. Una vez comenzada la obra se observa que la vegetación existente en determinadas zonas ha cambiado desde la realización del inventario del proyecto, 2004, y la dirección facultativa entiende la necesidad de modificar el proyecto original incluyendo tres nuevas unidades de obra todas ellas de anillado en diferentes densidades de radiata (alta, baja y media), siendo la principal razón que lo justifica:

**No dañar el regenerado existente de plantas de especies de monteverde que han nacido de forma natural.**

Junto con ésta se añaden las siguientes:

- Los residuos generados con esta actuación se incorporarían progresivamente al medio con lo que la asimilación de nutrientes por parte del suelo sería mayor.
- Los residuos, al generarse de forma gradual, disminuyen el riesgo de incendios ya que la acumulación de materia seca en el medio es menor que si se apareara el total de los pies.

- La probabilidad de plagas es baja; de cualquier manera, en caso de producirse sólo afectaría a esta especie, y ayudaría a cumplirse el objeto del proyecto.

Se determinan las superficies de actuación por parcela:

- TA-01. Anillado del 100% de los pies, salvo los que están a pie de sendero.
- TA-02. Existen dos zonas, una por pendiente y otra por la regeneración de monte verde existente, en el que es mejor realizar anillado del 100% de los pies en esa zona.
- TA-04. Se añade anillar el 50% de los que quedan en pie, el 25% del origen.

Esta nueva modificación implica un incremento en el precio del contrato de 32,99 euros, que representa un aumento del 0,02 % sobre el presupuesto vigente en ese momento.

La evolución de la masa que se espera con este tratamiento se describe gráficamente en la figura 2.4:

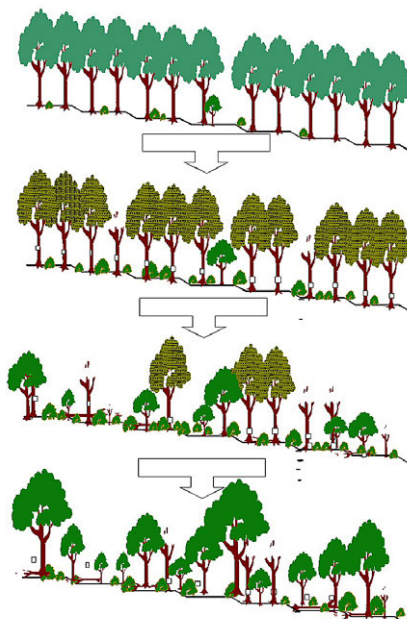


Figura 2.4: Evolución masa de pino radiata anillada con sotobosque de Monte Verde.

1. Ampliación de plazo solicitada por la empresa adjudicataria de ocho meses y medio, las razones aportadas fueron que en ese momento no se deban las condiciones adecuadas para la plantación y habría que esperar hasta la próxima estación lluviosa. Es una ampliación y no una suspensión ya que los trabajos necesarios para la plantación no están finalizados.
2. Segunda modificación respecto al proyecto, que reduce el presupuesto vigente en 2,92€, por una parte modificar las unidades de obra de repoblación; y por otra reducir el número de plantaciones originalmente previstas en proyecto. En ambos casos por causa sobrevenida, y por razones ajenas al contratista y a la dirección de obra:
  - a) En el proyecto de obra se contempló que el suministro de planta se realizara por el propio Cabildo Insular de Tenerife en bandejas alveolares. Sin embargo, la producción final de planta destinada al parque rural de Teno se ha realizado en su práctica totalidad en macetas de 1 litro, lo que supone una disminución notable del rendimiento contemplado en las partidas correspondientes a la repoblación. El rendimiento del ahoyado ha sido inferior al previsto en el proyecto como consecuencia de un terreno más pedregoso que el contemplado. Para compensar estas diferencias se ha propuesto modificar las unidades de obra de repoblación.
  - a) Por otra parte, se ha detectado que varias zonas en donde se tenía previsto efectuar labores de repoblación cuentan con una nacencia importante de plántulas de monteverde, proponiéndose la no intervención por razones de eficiencia y economía en aproximadamente unas 11,03 ha.
3. Segunda ampliación de plazo de un mes, hasta el 28 de febrero del 2009, debido a un ritmo inferior al previsto por condiciones atmosféricas adversas. El 10 de marzo se dan por finalizadas las obras firmando el acta de recepción.
4. Revisión de los precios debido al tiempo que transcurrió desde que se adjudicó la obra hasta que se firmó el acta de recepción del replanteo. Además en la medición final hubo un aumento en la medición en TA-01 y TA-03 de la unidad de obra denominada "repoblación de 600 plantas/ha acceso difícil" . Ambos hechos supusieron un exceso con respecto al presupuesto adjudicado vigente de 12.156,06 €, siendo el coste de ejecución final de la obra de 170.913,89 €.

## 2.1. Actuaciones proyectadas

Las actuaciones en todas las parcelas son las mismas, si bien varía el grado de intensidad. La declaración de impacto ambiental no permitió la eliminación de los residuos mediante quema por lo que en el siguiente cuadro resumen ya se recoge el tratamiento que se han dado a los residuos.

Tabla 2.1: Resumen de actuaciones proyectadas.

ACTUACIÓN	TRABAJOS
CORTA DE PINO RADIATA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corta de pino radiata</li> <li>- TA-01: Corta de fajas ocupadas por pino insigne, 100% del número de pies.</li> <li>- TA-02: Clara del 50% del número de pies</li> <li>- TA-03: Corta de fajas ocupadas por pino insigne, a razón de dos fajas sí, una no.</li> <li>- TA-04: Clara del 50% del número de pies</li> <li>• Desrame y tronzado de pies.</li> <li>• Apilado de madera gruesa.</li> <li>• Reducción de volumen de residuos con motodesbrozadora con disco astillador, y apilado de residuos.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ahoyado manual (40x40x40 cm)</li> <li>• Plantación manual 600 plantas/ha</li> <li>- Excepto TA-02 800 plantas/ha</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distribución al tresbolillo</li> <li>• Mezcla pie a pie</li> <li>• Especies de monteverde</li> <li>- Excepto TA-02: 10 ha monteverde+ 8 termófilo</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protección de la repoblación mediante mallas protectoras.</li> </ul>

En el caso de la TA-01 se añade como primera actuación la de resalveo del brezo y reducción de volumen de residuos con motodesbrozadora con disco astillador.

Se añade una aclaración respecto a la elección de especies de acuerdo al aporte de agua que reciben en esta zona, esta es la influencia de la precipitación horizontal que se encuentra desde la línea de cumbres hasta los 600 m. Esta zona de influencia tiene una importancia primordial, pues define un área dónde, por la frecuente presencia de nieblas y por la captación de precipitación horizontal por intercepción de la parte aérea de la vegetación, la humedad ambiental y edáfica es muy superior a la de las zonas circundantes. En consecuencia, a pesar del carácter más o menos xérico (mediterráneo, seco) que otorgan al parque la clasificación de los datos de las estaciones meteorológicas, en la zona afectada por el mar de nubes la precipitación horizontal supone un aporte tal que permite el desarrollo de formaciones vegetales características de climas más mesofíticos en la zona de actuaciones.

Las especies de monteverde varían en proporción según características de la parcela, siendo las incluidas faya (*Myrica faya*), acebiño (*Ilex canariensis*) y laurel (*Laurus novocanariensis*), palo blanco (*Picconia excelsa*), follao (*Viburnum rigidum*), viñatigo (*Persea indica*), barbuzano (*Apollonias barbujana*) y delfino (*Pleomeris canariensis*).

Las especies de bosque termófilo seleccionadas para la repoblación de 8 ha en la parcela TA-02 son sabina (*Juniperus phoenicea*), almácigo (*Pistacia atlántica*), madroño (*Arbutus canariensis*), mocán (*Visnea mocanera*), granadillo (*Hypericum canariense*), palmera (*Phoenix canariensis*), drago (*Dracaena draco*) y cornical, (*Periploca laevigata*).

### 3. Evolución de las parcelas

En este apartado se realiza el seguimiento de las parcelas comenzando en el proyecto, siguiendo por las actuaciones desarrolladas y finalizando con el resultado obtenido después de cinco años desde su finalización.

#### 3.1. Parcela TA-01

##### 3.1.1. Fase de proyecto

Se trata de un pinar de pino radiata procedente de repoblación en fajas de aproximadamente 4 metros de ancho y distancia media entre pies de 3 metros. Éstas fajas de pinar se alternan con otras de anchura variable ocupadas por fayal-brezal.



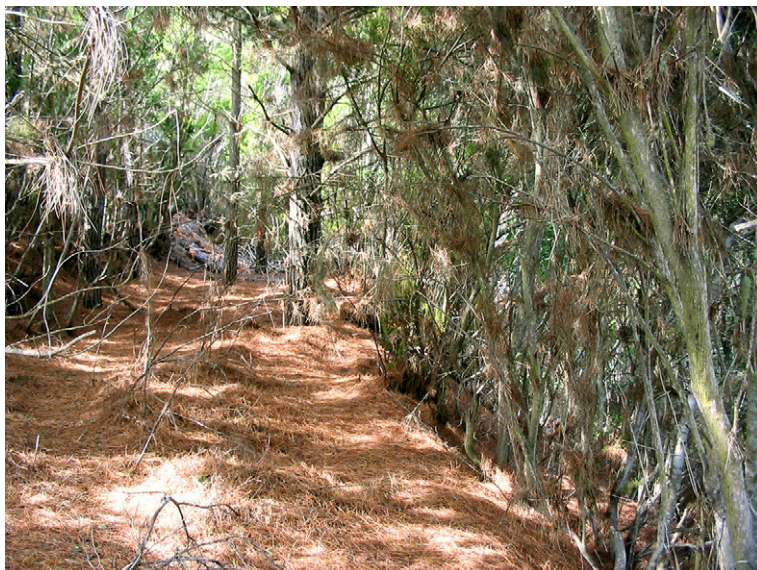


Figura 2.5: Unidad de actuación TA-01.

El diámetro medio de los pinos es de 30 cm. Muchos pies de radiata están abatidos, puntisecos o con síntomas de decrepitud. Los pinos presentan alturas de entre 12 y 15 metros, con una altura media de 12 metros.

Las fajas de fayal-brezal presentan una composición específica en la que destacan faya (*Myrica faya*), brezo (*Erica arborea*), acebiño (*Ilex canariensis*) y laurel (*Laurus azorica*), con una altura media comprendida entre los 5 y 6 metros y un estado de desarrollo defectivo, con multitud de rebrotes de cepa y biomasa seca.

Tabla 2.2: Características parcela TA-01.

Superficie	2,9 ha
Cotas	585 – 700 (630)
Pendiente media	20%

### 3.1.2. Fase de ejecución



Figura 2.6: Resalveo parcela TA-01.

El resalveo de brezo provoca gran volumen de residuos que es conveniente disminuir al máximo con la motodesbrozadora y dispersarlos por el terreno antes de que se sequen. Las ramas más gruesas que no se pueden reducir se apilan para su pudrición en las zonas más propicias.

Con el fin de no tener que subir todos los días a obra la motodesbrozadora, la contrata prefiere dejar la fase de reducción para el final del resalveo. Cuando se sube la motodesbrozadora están tan secos los residuos que su uso es peligroso y se decide realizar su triturado con motosierra.

Se comienza con ahoyado manual en la TA-01 hasta que se apruebe la adenda al plan de seguridad y salud que incluye el uso de motoahoyadora. El terreno es muy compacto y a una determinada profundidad, más o menos 40 cm, se llega a roca madre. Por lo que la utilización de la motoahoyadora implica que el rendimiento pueda llegar superior pero las características del hoyo respecto a profundidad serían las dadas por el proyecto, es decir, 40 cm.

Con el fin de que conserve más la humedad cuando se produzcan las lluvias se introduce la tierra en el hoyo.



Figura 2.7: Ahoyado con motoahoyadora.

El rendimiento con 3 operarios y una máquina es de 50 hoyos/día, es decir 10 más que manualmente. El terreno es muy duro y pedregoso por lo que lleva mucho tiempo la realización de cada hoyo. En algunas localizaciones, ni se completa el hoyo, ya que las paredes son como cemento y la planta sería de difícil arraigo.

El total de los hoyos realizados es de 813.



Figura 2.8: Prueba de anillado en TA-01.

Se realizaron pruebas con el descortezador y machete para el anillado antes del verano del 2007. En los pies en los que se realizó la prueba de anillado se observa la diferente evolución de los mismos, en los que uno tiene totalmente secas las acículas, otros está puntiseco y otro se encuentra verde, tras un par de meses desde la intervención.



Figura 2.9: Anillado en TA-01.



Figura 2.10: Transporte de planta.

Finalmente se opta por realizar el anillado mediante desbrozadora al dar rendimientos muy superiores y ejecutarse con gran limpieza. La altura del anillado es aquella que le permite al operario realizarlo cómodamente

El transporte de la planta es complejo y el rendimiento en cada viaje varía en función de las dimensiones de las plantas, por ejemplo, 300 plantas en 2 viajes realizados por 4 personas en una jornada, es decir, una persona al día puede subir en torno a 75 plantas

En noviembre se incorporan 3 trabajadores más a la obra, haciendo un total de 6, de los cuales 2 se dedican a plantación y 4 al transporte y plantación. Se realiza un total de 2 viajes al día y los rendimientos son para el caso de transporte de 500 plantas al día, si bien la plantación tiene un rendimiento menor. Otro factor determinante en la disminución del rendimiento es que la mayor parte de la plantación pendiente en ese momento es en maceta y mucha de la plantación se realizó en bandeja.

Se riegan las plantas antes de su transporte a obra, a pesar del aumento de peso que conlleva ya que no existe la posibilidad ni de riego de asiento ni de riego de mantenimiento.

Se finaliza con la plantación y la colocación del protector con tutores de bambú que se debe realizar antes de 5 días desde su plantación, según marca el pliego, pero se determina que sea el mismo día o al día siguiente para evitar daños a las plantas.



Figura 2.11: Plantación TA-01.

Como puede observarse en la fotografía la altura de determinados ejemplares supera lo deseable, tanto para su transporte como por comprometer su arraigo.

### 3.1.3. Tras cinco años



Figura 2.12: TA-01. 20/09/2014.



Figura 2.13: Unidad de actuación TA-02.



Figura 2.14: Brezo en el que no queda señal del resalveo.

Se observa todavía gran cantidad de pies secos de radiata en pie pero un gran número ya se encuentran tronchados o descalzados en suelo.

Esta parcela es la que mayor nacencia de especies de monteverde presentaba y se observa una gran variabilidad en la evolución de los ejemplares presentes.

## 3.2.Parcela TA-02

### 3.2.1. Fase de proyecto

Se trata de un pinar de radiata procedente de repoblación en ladera.

La densidad del pinar es muy variable aunque en todos los casos es defectiva, encontrándose una densidad media aproximada de 120 pies por hectárea. Es sotobosque está formado por fayal -brezal con altura media de 2 metros y con una cobertura también escasa.

Tabla 2.3: Características parcela TA-02.

Superficie	18,5 ha
Cotas	505 – 710 (605 m)
Pendiente media	30%



Figura 2.15: Unidad de actuación TA-02.

### 3.2.2. Fase de ejecución



Figura 2.16: TA-02.





Figura 2.17: TA-02 Zona con faya y brezo.

Corta de radiata. En la ladera próxima al sendero y situado tras las Casas de Talavera se respetan los pies de radiata que se encuentran próximos al sendero ya que el apilado de estos se vería desde él. Además la caída de muchos de ellos se realizaría sobre el barranco, dañando especies que allí se encuentran junto con el hecho de que es muy difícil su apilado. En aquellos casos que se puede tirar y apilar sin que se vea desde el sendero y sin que caiga el pie al barranco se hace.

En un barranquillo se respetan los pies de radiata que lindan con éste para que sus raíces sujeten el suelo. Los pies que se abatan de zonas interiores del monte se tirarán hacia el barranco para apilar a lo largo de curvas de nivel de éste y de esta forma ayudar a que se fije terreno y no continúe con el proceso erosivo que se está produciendo en él.

Son pinos con gran volumen de rama por lo que los residuos generados son abundantes y el rendimiento es bajo.

La densidad de esta parcela es muy variable y en algunas zonas se decide trabajar por fajas debido a la densidad del pinar.

Existen zonas donde el desbroce del matorral resulta adecuado para la posterior plantación, despejándose aquellas zonas en las que el sustrato es adecuado, ya que las zonas más pedregosas en las que el hoyado no tendría sentido se respetan.

En esta parcela comienzan trabajando dos operarios forestales y un capataz con una motoahoyadora y dos brocas y para aumentar el rendimiento hasta 150 hoyos/8 horas. Se incorpora un peón más y otra máquina. Si no se realiza el empocetado se aumenta hasta 200 hoyos/ 8 horas de trabajo efectivo, este aumento de rendimiento es debido a que se concentran en menos días el uso de la motoahoyadora y con ello su transporte. Una vez ejecutados todos los hoyos se realizará su remate. La profundidad en general es de 40 cm, y la anchura en la parte final es el diámetro de la máquina, algo más de 20 cm, la anchura en la parte superior puede llegar a ser más de 40 cm.

6.855 hoyos abiertos en esta parcela.

El anillado en esta parcela se concentra en dos superficies y requiere una senda de unos 200 m de longitud y 1 m de anchura para acceder a la que está más al sur que posteriormente se planta.

Esta parcela presenta dos pisos bioclimáticos diferentes por lo que es fundamental la realización correcta de la distribución de las especies y por ello antes de comenzar esta tarea se entrega un croquis determinando las especies por zonas y se comunican las siguientes directrices:

- No se pueden plantar las especies de diferentes pisos bioclimáticos en la misma zona, se debe seguir el plano entregado por la D.O. para su disposición.
- Los protectores deben ser colocados el mismo día o como tarde al día siguiente de la plantación, dando la vuelta a los 10 cm aprox. superiores y se aporcará tierra por la parte inferior.
- Plantar por pequeños rodales de la misma especie.
- Los dragos no requieren profundidad de suelo, por lo que se dispondrán mayoritariamente en estas localizaciones.
- No se plantarán dragos y palmeras contiguos, ya que en su desarrollo se estorbarían, por lo que serán mezclados con almácigos, sabinas, adernos, y granadillos, plantando éstos en las peores localizaciones y cuando no haya de forma natural.



Figura 2.18: Plantación TA-02.

El vivero se queda sin stock de planta por lo que Parque Rural resuelve este imprevisto recogiendo en maceta plantas de una o dos savias germinadas de forma natural en zonas cercanas donde se encuentran en altas densidades.

Para poder cumplir con plazos se llega al acuerdo de subir las plantas recogidas por el Parque con maceta hasta donde se estaciona el coche y ahí dejarlas a raíz desnuda. Para evitar el estrés de la planta por agua y evitar daños se rodearán de periódicos húmedos, aumentando con ello el rendimiento del transporte. Ese mismo día toda la planta deberá quedar plantada y con el protector completamente colocado.

### 3.2.3. Tras cinco años



Figura 2.19: 20/09/2014 Unidad de actuación TA-02.



Figura 2.20: Plantas entre zarzal.



Figura 2.21: Zona repoblada y con residuos secos.

### 3.3. Parcela TA-03

#### 3.3.1. Fase de proyecto

Nos encontramos con un pinar de radiata en fajas procedente de repoblación, con ausencia de sotobosque, con alturas comprendidas entre 8 y 10 metros y con un diámetro medio de 20 cm. Resulta una masa densa y cerrada, con elevada cantidad de biomasa seca en pie.

El estrato arbustivo resulta muy pobre con presencia puntual de jaras secas, brezo, codeso y cerrajas.

Tabla 2.4: Características parcela TA-03.

Superficie	3 ha
Cotas	540 – 610 (575 m)
Pendiente media	15%



Figura 2.22: Unidad de actuación TA-03.

### 3.3.2. Fase de ejecución



Figura 2.23: Corta por fajas en TA-03.

TA-03 se corta de 1 de cada 2 fajas y se completa esta superficie a falta de un rodal de pequeñas dimensiones en el que se ve la presencia de nido de gavilán común (*Accipiter nisus granti*) con un ejemplar y en el que se ha decidido no actuar (su puesta tiene lugar en abril, pero puede retrasarse de manera excepcional hasta mayo e incluso principios de junio). Se vieron las cabezas de dos polluelos.

Para llegar a la proporción del proyecto se corta 1 pie de cada 3 en los 4 metros exteriores, 2 m a cada lado.

El ahoyado en la TA-03 se realiza entre fajas. Existen zonas donde es más fácil ahoyar y en otras en las que incluso se desestima por la alta pedregosidad. Se trabaja con una motoahoyadora con dos brocas, una de mayor diámetro que la otra y se modifica la punta, haciéndola más cortante para que mejore la entrada en el terreno. Aun así los rendimientos son de 50-60 hoyos/día.

Con los tres trabajadores se trabaja una hora más al día y se están obteniendo rendimientos de 90 hoyos/día, siendo insuficiente para alcanzar el plazo de ejecución por lo que se comienza a trabajar dos horas más al día, siendo efectivas en el trabajo las 8 horas, de lunes a jueves, estimando rendimientos de 110 hoyos/día, según las circunstancias de suelo el cual se encuentra húmedo y facilita el ahoyado. Tras el secado se compacta fuertemente.

Se realizan un total de 1.356 hoyos.

La plantación en esta parcela se realiza en toda superficie apta incluso fuera de faja.



Figura 2.24: Plantación TA-03.

### 3.3.3. Tras cinco años



Figura 2.25: TA-03. 20/09/2014.

En la unidad de actuación TA-03, a pesar de que el pino ha sido eliminado en sus dos terceras partes, desde el sendero tiene un aspecto de masa.



Figura 2.26: Evolución del monteverde entre fajas.





Figura 2.27: Crecimiento mucho mayor de la faya frente a otras especies.

### 3.4. Parcela TA-04

#### 3.4.1. Fase de proyecto

Nos encontramos con un pinar de radiata en fajas procedente de repoblación, localizado sobre una ladera de orientación norte, maduro y con la presencia de un sotobosque de fayal brezal. La masa presenta un estado sanitario deficiente, con numerosos pies secos o puntisecos. El diámetro medio de los pies es de 30 cm y cuentan con una altura media de unos 10 metros.

Tabla 2.5: Características parcela TA-04.

Superficie	2,7 ha
Cotas	540 – 610 (575 m)
Pendiente media	30%



Figura 2.28: Unidad de actuación TA-04.

### 3.4.2. Fase de ejecución



Figura 2.29: Corta, apilado y tronzado de pino radiata. TA-04.

Parcela TA-04 se corta hasta el 50% como describe el proyecto y se apilan los restos de los residuos a lo largo de las curvas de nivel.

Debido a las características de la parcela de elevada pendiente la selección de los pies se realiza de forma que sean los que muestren condiciones más seguras para su abatimiento. El apeo dirigido, para evitar que caiga ladera abajo, no es posible en la mayoría de los casos, ya que al tirarlos hacia arriba caerían por su propio peso deslizándose con peligro para el motoserrista.



Figura 2.30: Detalle de anillado con motodesbrozadora. TA-04.

El anillado se realiza mediante desbrozadora sobre el 25% del total, es decir, sólo el 25% de los pies iniciales quedan en pie.

El ahoyado se realiza trabajando 4 operarios con 2 máquinas y 8 horas de trabajo efectivo, resultado un total para esta parcela de 1.356 hoyos.

Se finaliza la actuación con la plantación de las superficies óptimas.

### 3.4.3. Tras cinco años

En la parcela TA-04 apenas quedan pies secos en pie y puede observarse que en gran medida el monteverde está recuperando espacio, si bien también hay gran cantidad de jaras.



Figura 2.31: TA-04. 20/09/2014.



Figura 2.32: Evolución de la masa.

## 4. Conclusiones

Los trabajos contenidos en la presente obra han sido complejos siendo los más críticos el transporte de planta a pie mediante mochila y bandeja por un sendero de fuertes pendientes y en segundo lugar la imposibilidad de riego, por lo que las lluvias y la precipitación horizontal son determinantes para el éxito de la repoblación.

Mientras que los dos puntos anteriores eran asumidos como retos en la obra, inconvenientes con los que no se contaban y supusieron disminución en el rendimiento y que hicieran pensar en un elevado porcentaje de marras, fueron los aspectos relativos a la dureza del terreno y la calidad del suelo en ciertas zonas, incluso su inexistencia. Otro punto desfavorable en la repoblación fue la entrega en maceta de las plántulas y las grandes dimensiones de algunas de ellas, tanto para su transporte como por su arraigo.

La modificación de corta a anillado al ser unidades de obra con una diferencia de precio grande permitió realizar la eliminación del pino radiata en una mayor superficie a la par que se protege el regenerado natural.

En un conteo realizado por el Parque Rural de Teno en febrero del 2010, tras un año de finalización de la obra se registraba una supervivencia superior al 70% y en algunas parcelas al 80%, con lo que la primera fase crítica fue superada

En sucesivas visitas se ha comprobado que el número de marras aparentemente era mayor, sin embargo en septiembre de 2014 se observó que existían números brotes nuevos con brotes secos, por lo que la planta si tiene condiciones climáticas buenas vuelve a crecer, y este año ha sido favorable.

Los siguientes pasos deseables, aunque no fundamentales, se dividen en dos periodos, el primero en un futuro próximo, de reposición de marras y desbroce para eliminar competencia y favorecer la evolución de las plántulas que en muchos casos se encuentran en su interior esperando su momento. El segundo, tras un periodo de varios años se aconseja realizar la eliminación completa del pino radiata mediante anillado de los pies que están en pie en las parcelas TA-02 y TA-04 y su corta por fajas de aquellas que quedaron en la parcela TA-03, así como su plantación y con ello se completaría la restauración de la finca Talavera.

Por todo lo expuesto se considera que la actuación ha sido un éxito y si de manera natural en muchas zonas ya se estaba produciendo un regenerado esta actuación la ha reforzado, acelerado y ampliado superficialmente.

## 5. Agradecimientos

A Pedro Pablo Ranz Vega por la revisión y aportación de mejoras en la primera fase del texto, y José Rubio por ayudarme con el formato de las imágenes y su mejora, y especialmente por poder contar con ellos en todo momento.

## 6. Bibliografía

Trassierra Villa, Adela. Memoria del proyecto "Obra forestal en el Parque Rural de Teno: Finca Talavera, Las Moradas, Monte del Agua y otras actuaciones forestales", Parque Rural de Teno. Tenerife. Cabildo de Tenerife: 29-40

Gobierno de Canarias. Parques Rurales.

URL:[http://www.gobiernodecanarias.org/cmayot/espaciosnaturales/categorias/parques/parq\\_rurales.html](http://www.gobiernodecanarias.org/cmayot/espaciosnaturales/categorias/parques/parq_rurales.html) [23/09/2014]

Gobierno de Canarias. Zonificación de los espacios naturales protegidos.

URL:<http://www.gobiernodecanarias.org/cmayot/espaciosnaturales/instrumentos/plan6.html> [23/09/2014]



## CASO 3

# Restauración Hidrológico-Forestal de la Hoya de Jaranita

Barranco Reyes, Jesús

## 1. Introducción, antecedentes y localización del espacio y/o proyecto

En agosto de 2003 se produjo en la isla de El Hierro un incendio de gran importancia, que afectó a casi el 10 % de la masa forestal de la isla. Este incendio, originado en el pinar de la vertiente sur de la isla, alcanzó la cumbre y la línea de separación de las vertientes (llamada *etime* en la isla), trasladándose a la vertiente sur a través de la continuidad del combustible que ofrecía la masa de *Pinus radiata* de la Hoya de Jaranita. El fuego alcanzó este pinar de alta densidad eludiendo la separación natural que la cumbre y sus pistas forestales representaban. El fuego descendió por la ladera norte de la isla hacia las masas de monteverde que, a menor altura, se desarrollan en la correspondiente vertiente septentrional.

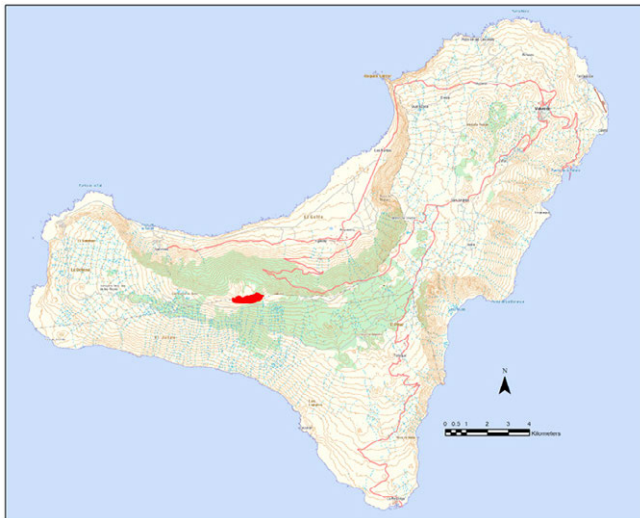


Figura 3.1: Mapa de situación de la zona afectada en la Hoya de Jaranita, año 2003.



El incendio fue controlado por los servicios de extinción de Incendios del Cabildo Insular de El Hierro, pero previamente calcinó 450 ha de monte, 26 de ellas de pinar de *Pinus radiata* (pino insigne o pino americano) y fayal-brezal en la Hoya de Jaranita. Se trataba de una ladera de fuertes pendientes, con un pinar de alta densidad (entre 500 y 1.400 pies/ha) pero diámetros medios superiores a los 30 cm.

Esta superficie calcinada fue fiel reflejo de toda la problemática post-incendio habitual: pérdidas de la materia orgánica en el suelo, erosión laminar y por regueros, con generación de cárcavas, empobrecimiento faunístico y floral, etc. No se planificó ni ejecutó tratamiento alguno en los años posteriores al incidente, lo cual no solo permitió el desarrollo de fenómenos erosivos, sino que el proceso de degeneración de la masa muerta en pie favoreció que se produjeran fracturas y descalces esporádicos.

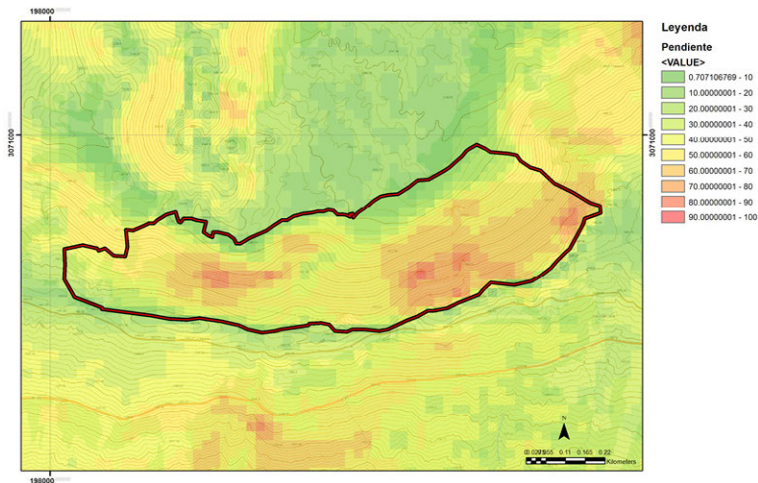


Figura 3.2: Mapa de pendientes de la zona afectada.

4 años después del incendio, no sólo había escasos indicios de regeneración en la masa sino que, además, las precipitaciones comenzaban a causar graves daños e importantes pérdidas de suelo, y la caída de árboles en estado de descomposición impedía el tránsito seguro por y alrededor de la masa. En estas circunstancias, el Cabildo Insular de El Hierro encargó a la empresa Tragsa la elaboración y ejecución del correspondiente proyecto de restauración. El objetivo fue la restauración hidrológico-forestal parcial de la zona afectada en la Hoya de Jaranita, actuando con la mayor rapidez para prevenir daños mayores.

Si bien el fuego había afectado a cerca de 58 ha en esta zona, la restauración afectó tan solo a 18.34 de las mismas, las de carácter más forestal. El proyecto se redactó en el año 2006, y se ejecutó en 2007, lo cual permite obtener hoy, 7 años más tarde, una visión relativamente certera de la evolución de la zona tras la ejecución de los trabajos.

## 2. Diagnóstico del problema, tipo de espacio degradado

La Hoya de Jaranita se encuentra ubicada dentro del Parque Rural de Frontera, y Monte de Utilidad Pública perteneciente al Ayuntamiento de La Frontera.

Su vegetación potencial correspondería al Monteverde de fayal-brezal, *Myrico fayae-Ericion arboreae* (Orberdorfer, 1965), idéntico a las superficies que lo circundan, con la salvedad de la zona de pinar insigne maduro que ocupaba la zona afectada por el incendio. Ocasionalmente enriquecida con acebiño (*Ilex canariensis*) o laurel (*Laurus novocanariensis*), no llega no obstante a la diversidad de la laurisilva (*Ixantho viscosae-Lauro azoricae sigmion*), escasa en la isla.

Los problemas generados por este incendio podrían agruparse en dos tipologías fundamentales: los asociados a cuestiones florísticas, y las consecuencias erosivas derivadas de los primeros.



Figura 3.3: Situación en el fayal-brezal 1 año después del incendio.

En términos florísticos, el fuego avanzó integralmente por la masa de pinar y su continuación de Monteverde, eliminando prácticamente un 100% de las copas vivas que encontró a su paso. En el caso del Monteverde, esto implicaba la necesidad de evaluar la capacidad

de rebrote de los pies afectados, para identificar aquellos ejemplares con porvenir, que pudieran requerir un resalveo de apoyo, o incluso cero intervención. El tiempo transcurrido desde el incendio hasta la intervención permitió diagnosticar de forma clara la situación de esta masa, con un gran grupo de individuos en plena regeneración, que requerían tan solo una poda selectiva de ramas quemadas que amenazaban la estabilidad y el equilibrio de los nuevos chirpiales.



Figura 3.4: Situación del pinar 1 año después del incendio.



Figura 3.5: Cárcavas en la zona de mayor pendiente, 1 año tras el incendio.

La situación en el pinar era, no obstante, muy diferente. El 100% de la masa había perecido durante el incendio, sin muestras de regeneración natural, que en el caso de esta especie en la isla es muy escasa. Además, estos pies, introducidos en esta zona concreta con fines protectores a mediados del siglo pasado, correspondían a una especie alóctona, cuya sustitución está recomendada en el Plan Forestal de Canarias. Bajo ellos no se había desarrollado ningún tipo de vegetación autóctona que pudiera verse dañada por el tratamiento.

En términos erosivos, las zonas de máxima pendiente se encontraban surcadas por cárcavas intermitentes, de hasta 1 metro de profundidad. Se apreciaban movimientos en masa y fenómenos de reptación incipientes. Las pérdidas de suelo resultaban especialmente relevantes en la zona superior de la parcela, mientras que la inferior se reducían a leve erosión laminar y el esbozo de regueros superficiales.

### 3. Plan de actuación

El diseño de la restauración de esta zona estaba muy condicionada por el tiempo transcurrido desde el incendio, que generó un conjunto de afecciones diferente al inicialmente diagnosticado tras el incendio, y a adecuar las intervenciones viables.

Tras analizar la posible evolución de la zona afectada y las particulares condiciones de trabajo, se elaboró un listado de posibles actuaciones, agrupadas según el tipo de actividad. Una vez evaluada la idoneidad de las diferentes alternativas, se diseñó una restauración específica que incluyó tres líneas de trabajo fundamentales:

- Paliar los efectos erosivos resultantes de la pérdida de la cubierta vegetal.
- Recuperar las zonas de fayal-brezal afectadas pero con capacidad de regeneración.
- Eliminar la masa quemada de *Pinus radiata*, y sustituirla con fayal-brezal.

El objetivo de la actuación fue lograr cumplimentar las líneas de trabajo de forma conjunta y simultánea, teniendo en cuenta varias particularidades, que condicionaban el diseño de las actuaciones.

Por un lado, existía un problema importante con la gestión de los restos de corta. La totalidad de la masa de pino insigne iba a ser objeto de sustitución, gran parte de los pies se encontraban en estado de avanzada descomposición, incluso en pie, por lo que quedaba descartada cualquier alternativa maderera. Si bien se confiaba en la propia

descomposición de gran parte de los mismos durante el proceso de apeo, era necesario incorporar medidas adicionales para asegurar que la necromasa no superara umbrales tolerables. Había que considerar para ello las existencias calculadas para la masa a tratar:

Tabla 3.1: Existencias de madera calculadas:

<i>Existencias</i>	<i>m<sup>3</sup></i>	<i>Tn</i>
Hoya de Jaranita	3.737	4.022

Para ello, se planteó la utilización de medios mecánicos de triturado en la zona baja de la parcela, la única mecanizable por su pendiente. Para la zona alta, se consideró la posibilidad de sobredimensionar las actuaciones hidrológicas más allá de lo necesario según el diseño de la restauración, y aceptar la presencia de abundante necromasa estabilizada sobre el suelo si fuera necesario. En conjunto, se planteaba alcanzar una solución pragmática, a mínimo coste, que facilitara la integración de la madera muerta en el entorno hasta su descomposición final, sin que representara un menoscabo para los demás objetivos de la restauración.

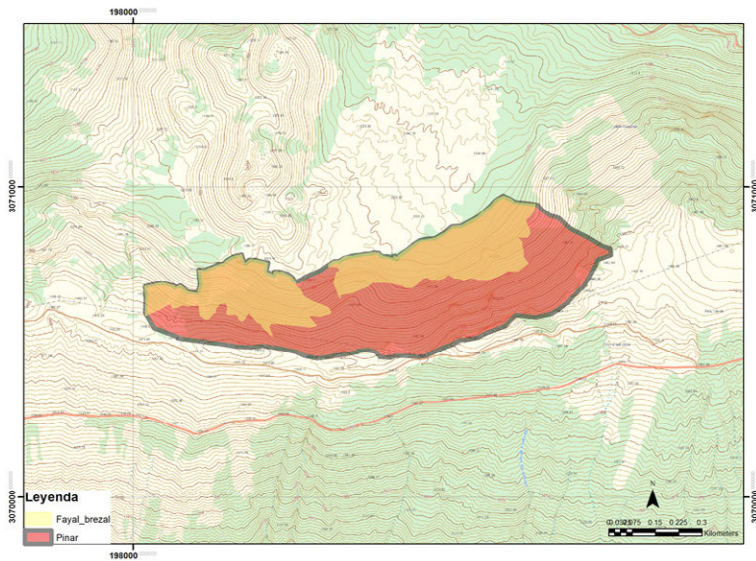


Figura 3.6: Composición de la masa original, con pino insigne (rojo) y fayal-brezal (naranja).

En lo referente a las actuaciones correctoras frente a la erosión hídrica, las características del terreno invitaban desde un primer momento a aprovechar cualquier solución que asegurara la estabilidad de dichas infraestructuras. Lo deleznable del terreno, y las

dimensiones de las cárcavas, requerían incorporar soluciones mixtas para poder lograr paliar los efectos de la escorrentía sin tener que realizar movimientos de tierras, un elemento que se descartó tanto por motivos económicos, como por la falta de seguridad resultante de la inestabilidad del terreno y la debilidad de la masa en pie.

Además, como se ha comentado, se consideró desde un primer momento la posibilidad de dimensionar las estructuras hidráulicas por encima del umbral determinado por las necesidades hidrológicas, aproximándose a las exigencias derivadas de la necesidad de gestión de los restos de corta.

Por último, se planteaba como objetivo fitosociológico la recuperación y ampliación del fayal-brezal preexistente, a costa de la masa perdida de pinar, y apoyándose en la franja de Monteverde superviviente. Esta reforestación podría cumplir también un importante papel hidrológico, especialmente a medio y largo plazo. Se valoró para esta actuación la existencia de regenerado natural en algunas zonas, la capacidad de rebrote de los pies supervivientes, y el potencial colonizador del brezo de forma anemócora, comprobada en otros emplazamientos similares.

Como condicionante adicional, se tuvo en cuenta la ausencia de maquinaria autopropulsada especializada en la isla, que permitiera mecanizar con facilidad alguno de los procesos, tales como el apeo y procesado, o el triturado. Esto obligaba a desplazar al territorio insular cualquiera de los medios forestales específicos de esta índole que fueran necesarios. Esta situación contrastaba con la disponibilidad de mano de obra forestal, abundante y curtida tras un largo periodo de trabajo silvícola continuado. El empleo de la misma favorecía la continuidad laboral de dicho personal, un elemento de interés tanto social como profesional, pues facilitaba la disponibilidad futura de este recurso forestal tan importante: la mano de obra cualificada.

Todos estos elementos se introdujeron en el proceso de toma de decisiones, iterando hasta alcanzar un equilibrio entre las necesidades establecidas, y el coste económico de las medidas. El resultado fue un plan de actuación que permitía alcanzar un máximo de resultados con los medios disponibles más accesibles, y con un coste ajustado al desarrollo de los mismos. El esquema resultante fue el siguiente:

- Actuación para todo el monte.
  - Mejora de accesos, para facilitar el acceso de personal y maquinaria. Esto implicó la adaptación de la trocha que se realizara para facilitar la aproximación de los medios de extinción durante 2003, evitando así la nueva apertura de vías y pistas, que pudiera desencadenar efectos erosivos indeseados.

- Actuación para las zonas de mayor pendiente.
  - Cortas a hecho no mecanizadas del pinar, con apeo dirigido, para facilitar la ubicación de los fustes íntegros como empalizadas, apoyados en los tocones circundantes, según curvas de nivel. La superficie total ascendía a 7 ha.
  - Despunte y desrame, acopiando los restos en el trasdós de las empalizadas, y rellenando las cárcavas someras.
  - Elaboración de empalizadas con los fustes apeados que conservaran su integridad, afianzados sobre tocones existentes siguiendo las curvas de nivel (masa de insigne había sido objeto de una repoblación por curvas previamente), rellenando el intradós con los restos finos de corta.
  - Resalveo de los ejemplares adultos de *Myrica faya* y *Erica arborea* presentes en la masa, en todos los casos en que se hubieran visto afectados por el fuego (100% en esta zona de la parcela).
  - Reforestación posterior con *Myrica faya*, en marco variable, según la cantidad de restos en el suelo, aprovechando las zonas libres de restos y el trasdós de las empalizadas, fundamentalmente, así como cursos superficiales incipientes.
- Actuación para las zonas de menor pendiente.
  - Cortas a hecho no mecanizadas de pinar. Incluían el aprovechamiento de los fustes más cilíndricos y de tamaño medio para la realización de empalizadas, de forma más selectiva que en la zona de máxima pendiente: se realizó una distribución al tresbolillo interrumpiendo las principales líneas de escorrentía. Cuando fue posible, también se afianzaron a los tocones existentes. La superficie total ascendía a 11.34 ha.
  - Triturado de los restos de corta. Tanto los fustes en estado de descomposición parcial, como aquellos que no fueron empleados para la construcción de empalizadas, fueron triturados mediante un tractor agrícola con desbrozadora de martillos, que aprovechó el estado de la madera para procesar el total de los restos y facilitar su incorporación al suelo. De esta forma solo se desramaron los pies destinados a estructuras.
  - Resalveo de los ejemplares adultos de *Myrica faya* y *Erica arborea* presentes en la masa, en todos los casos en que se hubieran visto afectados por el fuego (50% en esta zona de la parcela).

- Reforestación con *Myrica faya* al tresbolillo, con una separación media de 2.5 m, condicionada por las estructuras hidrológicas establecidas, y por la presencia de pies resalveados.

## 4. Principales actuaciones

Resumimos a continuación las principales actuaciones que se llevaron a cabo en la parcela, en cumplimiento del plan de actuación reseñado.

### 4.1. Adecuación de accesos

La creación de vías de acceso y saca durante la ejecución de una restauración genera, en ocasiones, efectos erosivos equiparables a los que se pretende paliar. Por ello, durante esta restauración se trató de minimizar los derivados de estas actuaciones. Con este fin, se aprovechó como vía de acceso la trocha creada durante el propio incendio para acceder a la zona de trabajo, 2.1 km de vial que enlazaban una pista agrícola cercana con la masa quemada.

La trocha fue perfilada con medios mecánicos para permitir el tránsito de vehículos todo terreno. A partir de la zona de parque, se establecieron viales de acceso a pie señalizados para limitar el efecto de los desplazamientos sobre la superficie de arenas volcánica (picón).

Estos viales fueron cancelados tras la finalización de la restauración, desapareciendo completamente en el transcurso de estos años. La pista, por el contrario, vio su acceso cortado pero no ha llegado a regenerarse por completo. La erosión ha afectado al firme y la vegetación circundante ha comenzado a ocuparla, pero el proceso es lento y aún no se puede dar por restaurado.

### 4.2. Corta, saca, desembosque y tratamiento de residuos

Se realizó una corta a hecho no mecanizada, mediante motoserristas, sobre un total de 16 ha. La inestabilidad y difícil topografía del terreno obligaron a realizar esta corta con extremo cuidado y reducido rendimiento. La saca generalizada de los fustes apeados estaba desaconsejada, por las gravísimas consecuencias que podría tener sobre la ya erosionada ladera, así como por las dificultades técnicas que conllevaba. Alternativamente, se decidió lo siguiente: emplear los fustes finos y cilíndricos para la construcción de empalizadas en toda superficie lo suficientemente regular como para y utilizar las trozas de mayor



diámetro y las ramas y ramillas como relleno para las cárcavas. De esta forma, se logró actuar sobre toda la ladera sin requerir saca de los productos de la corta.

El estado de calcinación de la madera, así como el soterramiento al que quedó sometida en parte al procederse al relleno de cárcavas (esta alteración de su estructura provocará la rápida acumulación de sedimentos sobre los restos apilados, favoreciendo además su incorporación al terreno) son factores que eliminaron el peligro que representaba como combustible en el monte, así como en lo relativo a la aparición de focos de plagas forestales. Además, la desaparición del mantillo orgánico por el incendio, y el lavado superficial de nutrientes posterior, convertirán la permanencia de la madera en el monte en un importantísimo aporte de materia orgánica a medio plazo, fundamental para favorecer la regeneración y recuperar la estructura original del suelo. La inexistencia de regeneración natural bajo

Las cortas se realizaron siguiendo todos los procedimientos de eficiencia y seguridad definidos para esta labor. Se cortó a una altura de tocón que osciló entre los 20 y 30 cm, en función de la pendiente del terreno. En aquellos casos que el tocón se pretendía utilizar como pilares para una empalizada de madera, la corta se realizó a una altura no menor a 60 cm, para asegurar la suficiente superficie de apoyo. Se desramaron y despuntaron los pies apeados en la zona de máxima pendiente, mientras que los de la porción llana quedaron disponibles para su triturado. Todo el proceso se desarrolló desde la parte superior de la parcela hacia abajo, para evitar los múltiples riesgos existentes, principalmente los de caída accidental de los árboles por su mal estado. De esta forma, se fue realizando el apeo dirigido por curvas de nivel descendentes, y cuando se producía algún fallo estructural previo al establecimiento de las empalizadas, estos fustes rodaban por una ladera sin personal presente.

Para la realización de las cortas en la zona de pendiente, es de destacar la red de senderos señalizados que debió establecerse, con vistas a permitir el tránsito seguro de los trabajadores, especialmente debido a las condiciones de escasa visibilidad que la bruma generaba con frecuencia.

### 4.3.Hidrotecnicas

Las estructuras hidráulicas se establecieron en una superficie de 16 ha, para controlar la capacidad tractiva de la escorrentía, incidiendo en la modificación de la microtopografía de la ladera. Por ello, y debido a ausencia de grandes abarrancamientos, se realizaron principalmente empalizadas. Se emplearon para ello los propios fustes desramados de los pinos apeados, apoyados en tocones que, intencionadamente, se dejaron con 60-90 cm. de altura. Previamente, se realizó una labor manual sobre el terreno, para adecuar

la base de la estructura (es fundamental que los troncos apoyen en su totalidad sobre el suelo). Se trató de emplear los fustes íntegros, discontinuamente según curvas de nivel y al tresbolillo, para lograr su efecto sobre el total de la superficie. En los casos necesarios, se tronaron los fustes para establecer empalizadas de menor longitud.



Figura 3.7: Disposición de las empalizadas 9 meses después de su construcción. Apréciase el cordón de monteverde central, con las líneas de empalizadas en la zona superior, y las dispuestas al tresbolillo en la inferior.

Debido a la dificultad de establecer de forma manual una corrección adecuada para las manifestaciones erosivas, y no siendo este el objetivo de la actuación, sino favorecer la retención de sedimentos y limitar las pérdidas de suelo hasta que la vegetación permitiera recuperar la dinámica habitual de la vertiente, se aprovecharon los estrechamientos de las cárcavas y abarrancamientos para aproximarnos de la pendiente natural del terreno con el mínimo esfuerzo.

También se rellenaron, aguas arriba de estas estructuras, aquellas socavaciones o ensanchamiento de las cárcavas, con los propios restos de la corta (finos y gruesos), lo cual cumplió una triple función: de estructura hidrológica, disminuyendo la erosión y facilitando la sedimentación; de futuro aporte de materia orgánica al suelo, tras las intensas pérdidas de nutrientes minerales y materia orgánica; y, por último pero no menos importante, tratar de reducir a cero el volumen de madera que debe ser extraído de la ladera.

Si bien la eficacia de estas estructuras ha sido puesta en duda recientemente, y sin lugar a duda la densidad de estas correcciones en la ladera supera ampliamente el umbral de rentabilidad hidrológica de la misma, el proyecto se basó en los cálculos de Miles *et al* (1989) que estimaban en 17 Tm/ha su capacidad máxima de retención de sedimentos.

Las obras tuvieron una altura de 50 cm en promedio, con una longitud variable de 3 a 10 metros, obligando al agua a realizar un recorrido bastante más largo, disminuyendo la velocidad de escorrentía y favoreciendo que su infiltración. El efecto total depende de la densidad de troncos. Estos troncos también proporcionan diversidad estructural a la masa, dan cobijo a la fauna, son una fuente de nutrientes, actúan como dispersores de micorrizas y facilitan la regeneración natural del monte. Debido a su estado (semicarbonizados) y su alta humedad, no resultaba un combustible peligroso.



Figura 3.8: parte superior de una empalizada, colmatada aguas arriba y abajo tras 7 años (2014).

La instalación fue muy importante, ya que si no se nivelan o presentan huecos pueden dar lugar a erosión en regueros. Siendo el objetivo la regulación hídrica, muchas de las zonas idóneas para su construcción presentaban grandes irregularidades, por lo que el personal adecuó la base sobre la que irá depositado el primer tronco mediante herramientas manuales.

El tronco del *Pinus radiata* es muy cilíndrico, por lo que no es necesario trocearlo para que no se pierda eficacia por la presencia de huecos entre el tronco y el suelo, como sucede en otras especies (alcornoque, etc). Se emplearon los fustes más gruesos para las bases, y el resultado fue muy satisfactorio, alcanzándose un grado de colmatación notable y comprobándose la desaparición de la totalidad de las cárcavas y regueros en la zona tratada. Hay que señalar que, además, la densidad de hidrotecnias fue muy superior a la diseñada con fines erosivos, debido a la abundancia de material ya señalada.

#### 4.4. Triturado



Ilustración 3.9: Trituración realizada en 2008.

Se trituraron los restos de madera y rama resultantes de las cortas en la parte inferior de la parcela, la de menor pendiente, mediante el empleo de un tractor agrícola con desbrozadora de martillos. La ubicación de las empalizadas al tresbolillo por curvas de nivel facilitaba el tránsito de la máquina sin afectar los elementos elaborados. El resultado la obtención de una astilla de gran tamaño pero fácil descomposición, en un proceso más sencillo y rápido de lo esperado, puesto que el nivel de descomposición de la madera superaba lo estimado durante la fase de redacción. Como resultado, la totalidad del producto fino obtenido ha desaparecido ya de la zona tratada, mientras que las piezas de mayor diámetro, o aquellas que quedaron formando parte de montones de mayor tamaño, no dispersados, permanecen aún sin descomponer.



Figura 3.10: restos de trituración de mayor tamaño, aún presentes sobre el suelo en la actualidad.

## 5. Reforestación

### 5.1. Cortas de regeneración del matorral

Se realizaron cortas del material aéreo muerto de las plantas que estaban rebrotando o eran susceptibles de rebrotar como son la faya y el brezo. Estas plantas, al tener el sistema radical ya establecido, sirvieron para adelantar la regeneración del monte y para sujetar parte del suelo. Con la corta de estos pies se estimuló el crecimiento de las yemas durmientes que brotan de cepa o de raíz. Además, estas partes aéreas son también camino de entrada de ciertos hongos que pueden afectar a estos brotes de regenerado. En aquellos casos en que se habían desarrollado brotes, se realizó un resalveo selectivo para asegurar la pervivencia de los chirpiales más prometedores, hasta llegar a los 3-4 chirpiales por cepa una vez superado los 1.5 m.

Los pies resalveados han mostrado un comportamiento excepcional, y aquellos que conservaron parte de la copa han florecido de forma profusa este año.

## 5.2.Reforestación sensu strictu

Las repoblaciones forestales, sobre todo si se realizan con fines hidrológicos, es recomendable realizarlas de forma que las especies repobladas puedan integrarse en la serie de vegetación como una etapa de su propia evolución. Es decir, hay que entenderlas como una fase de la restauración de la vegetación en la estación.

La distribución de las especies, su densidad y estructura se diseñó de manera que, una vez realizada la repoblación, se precisara de la menor intervención del hombre, una de las carencias estructurales de los procesos de reforestación que se han realizado en la isla. Los tratamientos selvícolas y demás actuaciones de mejora se encaminarán siempre a favorecer la progresión de la vegetación, en su evolución natural hacia las formaciones más estables y considerando que estas actuaciones suponen una inversión económica que encarece los trabajos de restauración y un aporte de energía que debe tener una rentabilidad ecológica.

Se emplearon por ello ejemplares de *Myrica faya* de 2 savias producidos en el vivero insular, propiedad del Cabildo Insular de El Hierro, que se plantaron siguiendo diferentes marcos en función de la situación del suelo y la ubicación de los restos, como se ha señalado. En la ladera, se plantó sobre taludes de apoyo a las empalizadas, sobre la colmatación producida por los diques, y el resto de la superficie al tresbolillo, con una separación de 2.5 m.

El resultado ha sido más que satisfactorio, puesto que las fayas han alcanzado ya alturas de hasta 2.5 metros, y una cobertura superior al 50% en toda la parcela. Existe un jaspeado presente de brezo, con densidades variables, pero suficiente para asegurar su importante presencia en la masa. Además, el dosel desarrollado desempeña ya la función protectora para la que se establecieron las empalizadas, cuya vida útil ha sido suficiente para permitir que el Monteverde se desarrolle sobre un sustrato estable.

En todos los casos, se realizó un hoyo de 40x40x30, siempre con tempero en el suelo (tras las primeras lluvias). En la zona llana se colocaron protectores en todas las plantas, ante la posible presencia de ganado ovino, que preda sobre los brotes más tiernos de la faya. Con el espíritu de minimizar la necesidad de intervención posterior, como se ha señalado, se emplearon protectores fotodegradables. Sin embargo, el resultado de los mismos fue variable.

Si bien resultaron efectivos para proteger los plantones en sus primeros años, el rápido desarrollo de las copas de la faya provocó que quedaran bajo cubierta con rapidez, por lo que el proceso de degradación del producto ha sido extremadamente lento.



Figura 3.11: Estado actual de la reforestación de faya, con brezo espontáneo, y un ejemplar aislado de pino radiata.

En ocasiones han permanecido adheridos al fuste de los pies, condicionando ligeramente el desarrollo de sus troncos, pero en general parten ante la presión ejercida por el crecimiento de la planta, quedando anejos pero sin afectar negativamente a la planta.



Ilustración 3.12: Protector adherido al tronco, comenzando a quebrarse.

A pesar de este condicionante, el efecto de los protectores fue también beneficioso para la repoblación, puesto que evitó el efecto del pastoreo puntual sobre la masa, sin que apenas se contabilizaran marras.

## 6. Anexo fotográfico

### 6.1. Previo a la restauración



Figura 3.13: Zona de fayal-brezal y pinar tras el incendio.



Figura 3.14: fenómenos erosivos y de sedimentación sobre el terreno.





Figura 3.15: Cárcavas en superficie tras el incendio.



Figura 3.16: Pinar adyacente, similar a la masa previa al paso del fuego.

## 6.2. Durante los trabajos



Figura 3.17: Zona de trabajo a mitad de la actuación; se aprecia el resto de madera triturada debajo, las líneas de empalizadas, y la masa muerta aún en pie al fondo.



Figura 3.18: Detalle de la zona triturada, rebrote de la franja intermedia de fayal-brezal.

### 6.3. En la actualidad



Figura 3.19: Aspecto de la ladera tras 7 años, con la regeneración en proceso.



Figura 3.20: Aspecto de la ladera tras 7 años, con la regeneración en proceso.



Figura 3.21: Evolución del fayal actual.



Figura 3.22: Estado de descomposición de los tocones restantes.



Figura 3.23: Restos de triturado sin descomponer.



Figura 3.24: Protector adherido al tronco, comenzando a quebrarse.



Figura 3.25: Regenerado de faya recubriendo empalizadas colmatadas y en descomposición.



Figura 3.26: Fayal-brezal, sobre empalizadas aún en pie.



Figura 3.27: Una de los ejemplares maduros de faya que sobrevivieron al incendio.



Figura 3.28: Fenómenos erosivos microscópicos, en este caso erosión diferencial con formación de microtormos.



Figura 3.29: Perspectiva de las dos zonas de la masa, llana y ladera.



Figura 3.30: Protector adherido al tronco de una de las escasas marras.





Figura 3.31: Desde el extremo oriental de la parcela, vista al este sobre la zona NO tratada.



Figura 3.32: Vista al oeste, sobre la zona SI tratada.

## 7. Agradecimientos

Queremos mostrar nuestro agradecimiento a la empresa Tragsa, que a través de su Coordinador de Obras de Canarias, Cesáreo Espino, proporcionó acceso al proyecto original.

Igualmente, a Cristina Ferro, fotógrafa de excepción en la revisión de la situación actual de la masa.

## 8. Referencias y bibliografía

- Aguilera, M<sup>a</sup> J., Borderías, M<sup>a</sup> P., González, M<sup>a</sup> P., Santos, J.M. (2009) *Geografía General: Geografía Física*. Madrid. UNED.
- Domingo, J. (2009). "Brezales Macaronésicos" en *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino.
- Mora, J.B., Barranco, J. (2007) *Proyecto de Restauración Hidrológico-Forestal de la Hoya de Jaranita, El Hierro*. Valverde: Cabildo Insular de El Hierro.
- Oberdorfer, E. (1965). Pflanzensoziologische Studien auf Teneriffa und Gomera (Kanarische Inseln). en *Beitr. Naturk. Forsch. SW-Deutschland*. Ed XXIV.1. Karlsruhe.



## CASO 4

---

# El Jardín Botánico del Palmentum de Santa Cruz

Morici, Carlo

### 1. Introducción, antecedentes y localización

El Palmentum se abrió al público en Enero de 2014 para ser el jardín botánico de la ciudad de Santa Cruz de Tenerife. Se estableció sobre un antiguo vertedero clausurado en 1984 y desde 1996 se ha trabajado para convertir un espacio inhóspito en un paraíso para los amantes de la naturaleza, que además sirve de atractivo para el turismo y de centro cultural y educativo. Hoy se siguen realizando mejoras y aún quedan partes incompletas.

En la década de los 70, el vertido de escombros y todo tipo de residuos cerca del mar llegó a crear una montaña de unos 40 metros de altura y 12 hectáreas de superficie a la que el viento barría de un lado a otro, transportando polvo, salitre y olores sumamente desagradables que procedían de la fermentación en el subsuelo. El vertedero quedó cerrado a finales de los 70, se reabrió en 1983 a raíz de la "crisis" del vertedero de Montaña del Aire y se clausuró definitivamente en 1984. Se pensó inicialmente en "pintar de verde" la montaña, es decir situar algo de vegetación para mejorar su aspecto y nada más.

Toda la actuación en este espacio estaba enmarcada en el entorno del llamado Parque Marítimo de Santa Cruz de Tenerife, que pretendía recuperar el espacio de la zona de Cabo Llanos en contacto con el mar. En un primer momento, los gestores municipales contactan con el artista César Manrique, que ejecuta sus ideas en colaboración con los ingenieros Juan Alfredo Amigó y José Luis Olcina, como en otras obras que han llevado a cabo en las islas. Los gestores no llevan adelante la propuesta, y acaban convenciéndose de que esa solución no es buena, pues lo convertiría en un espacio potencialmente peligroso y demasiado cercano a un espacio lúdico.

Entonces se consulta al ingeniero agrónomo Manuel Caballero si es posible plantear su idea de un "Palmentum" en la montaña. Caballero, tras una gran duda inicial, consulta colegas de su confianza y acepta el reto. Remite en Febrero de 1990 una propuesta y antes de acabar el año es encargado de sumarse al proyecto que redactan Amigó y

Olcina para el Parque Marítimo, realizando la separata "Palmetum en el Lazareto". Para ello conforma un equipo entre los que están José Timón y Antonio Gonzalez, también ingenieros agrónomos, y Agustín Moreno, biólogo. La obra de protección marítima mediante una escollera perimetral es redactada por Amigó y Olcina junto a las piscinas y el acondicionamiento del entorno del "Castillo Negro" y la "Casa de la Pólvora".

Los proyectos fueron aprobados en 1991 por el Ayuntamiento y la primera fase se ejecutó en 1993. Estas primeras obras constituyen el actual parque marítimo y la plaza del Castillo Negro, pero también incluyeron la instalación de una escollera para calzar y proteger la base de la montaña del Palmetum, que se veía afectada por la erosión del mar. La gran obra que comenzó Palmetum se sacó a concurso en 1995 y las obras comenzaron a principios de 1996. (Flores González-Moro, 2000). Ese mismo año se firmó un convenio de colaboración entre el Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA) y el Ayuntamiento de Santa Cruz de Tenerife (Fernández-Galván, Zerolo Aguár , 1996).

La incorporación al proyecto de Carlo Morici, que suscribe este texto, fue en la primavera de 1996 con el fin de constituir la colección botánica, crear una red de contactos y asesorar a los directores del proyecto. En los años siguientes, Morici llegó a realizar tareas muy variadas e incluso pudo diseñar una gran parte de los jardines, miradores y viarios y reorganizar todo el Palmetum en función de las secciones biogeográficas actuales. Incluso actuó de "portavoz" del proyecto, defendiendo sus valores en los años más duros, cuando el presupuesto era insuficiente para avanzar (Morici, 2001).

## 2. Diagnóstico del problema, tipo de espacio degradado

El vertedero había crecido con poca planificación, de manera descontrolada y carecía de medidas para evitar la salida de lixiviados. Emitía gases de olor indeseable y presumiblemente tóxicos y se intuía una temperatura excesiva del suelo. También la base de la montaña se había visto afectada por la erosión del mar pero ya había sido calzada con éxito en la obra precedente.

Durante la primera visita, a comienzos de ese año, el lugar carecía casi por completo de vegetación. Había cierta abundancia de *Mesembryanthemum nodiflorum* creciendo en los taludes expuestos al mar y sólo se encontró un "árbol" en toda la exploración: una *Parkinsonia aculeata* de unos 2 m de altura, que crecía en una cárcava producida por la erosión.

Los problemas principales que el proyecto debía resolver eran la aridez, la brisa fuerte con posible salitre, la emisión de gases por la fermentación, los asentamientos del suelo, la pendiente y la ausencia de suelo apto para cultivar (Flores González-Moro, 2000).

### 3. Plan de actuación

Una vez adoptada la idea de Manuel Caballero de constituir un parque botánico visitable, se seguirían criterios paisajísticos de estilo natural y se dotaría de instalaciones y espacios de ambientación como invernaderos y museo y de un sistema de lagos y cascadas ornamentales.

Se pretendía crear la colección a partir de semillas o plantas pequeñas, que se aclimatarían en invernadero. Así fue, pero también se acordó, a instancias de la propiedad, comprar palmeras adultas importadas de países lejanos. Estos ejemplares grandes no dieron buenos resultados, ya que sufrieron mucho en la montaña aún inmadura y algo más de la mitad murieron en los años siguientes.

### 4. Principales estrategias y actuaciones

Los problemas más importantes fueron abordados de las siguientes maneras:

Para resolver ventosidad, escasa pluviometría y spray marino: Creación de "pantallas vegetales" en las zonas más expuestas. Puede decirse que en líneas generales funcionó bien. También funcionó bien la propuesta de crear un gran umbráculo semienterrado, el "octógono", para generar un ambiente de temperatura, humedad y luz más estable para plantas de sotobosque.

Para desgasificar: Instalación de un extenso sistema de extracción de gases, con pozos, bombas para succionarlos y una antorcha para quemarlos. La propuesta del proyecto inicial fueron 14 chimeneas que se construían realizando zanjas con chimeneas. Tras los ensayos iniciales hubo que modificar la idea. Se encargó un estudio diagnóstico a una consultora internacional (Heidemij BV) y se optó por una de las soluciones propuestas, la construcción de 19 pozos de desgasificación conectados para extraer y quemar los gases. La producción irregular de gases debido a la variabilidad de residuos por edad y contenido obliga a calibrar continuamente.

Dotación de suelo: En la configuración inicial de la montaña se intentó dejar el mayor espacio posible en la explanada superior, dejando para taludes lo estrictamente necesario

para la estabilidad de los mismos, ubicando en los taludes unas “bermas” para permitir tareas de mantenimiento. Se extendió una capa de tierra fértil de entre 30 y 100 cm de grosor sobre toda la montaña que por lo general era cubierta de una capa de escombros que ocultaba los residuos subyacentes. También se consideraron los asentamientos diferenciales, que dificultarían y encarecerían enormemente las obras de fábrica, por lo que hizo falta limitar al mínimo las estructuras y montarlas sobre grandes losas-balsas o sobre micropilotes.

A la vez se empieza a crear la colección botánica del Palmetum. La mayor parte de las especies se producen en invernadero, a partir de semillas importadas desde diversos países y que frecuentemente proceden de instituciones botánicas que aportan datos documentados sobre cada planta.

Mientras se construyen los edificios y otras estructuras, se plantan las primeras palmeras (Caballero, Morici, 1996). Entre ellas hay grandes ejemplares importados, especialmente y más de cien especies de tamaño mediano. También se plantan algunos de los *Ficus* que hoy lucen inmensos en distintas secciones geográficas, algunos árboles del octógono y la corona de árboles cortaviento en los bordes Norte y Nordeste de la meseta. Las plantas tienen comienzos difíciles. Tras el estrés del trasplante a la montaña aún desierta el proceso de recuperación se alarga meses o años.

En esas fechas, entre semillas y plantas la colección crece hasta superar las 400 especies de palmeras. Se colabora con otros jardines botánicos del mundo y se organizan viajes a países tropicales con la finalidad de obtener especies únicas para la colección y estudiar poblaciones de palmeras locales (Morici, 2001). También se organizó la adquisición de piezas de interés etnográfico para el museo (Johnson, Mejía, 1998).

El haber tardado más de lo previsto, permitió conseguir especies realmente raras o de crecimiento lento, que hubiese sido imposible obtener en tiempos más breves. Sin embargo los descuidos fueron abundantes durante los años en los que estuvo cerrado y la colección quedó mermada varias veces.

## 5. Dificultades encontradas

La mayor dificultad ha sido que el Palmetum quedó cerrado como obra incompleta y la discontinuidad presupuestaria ha acompañado su historia, desde el fin de la primera obra en 1999 hasta su apertura en 2014, lo que ha dificultado el desarrollo del proyecto de forma óptima.

La emisión de gases y la temperatura del subsuelo ha ido menguando con los años. Sin embargo, desde las primeras plantaciones de 1996 quedó claro que quedaban lugares aún demasiado calientes para las plantas. Durante los primeros años varios ejemplares plantados morían después de un tiempo, debido a las altas temperaturas que mataban las raíces, "cociéndolas" directamente o secando el suelo. Las plantas a veces empezaban a morir a los pocos días, pero otras lo hacían después de meses o incluso años, ya que algunos "puntos" calientes se desplazaban. Con los años todo mejoraba espontáneamente y con la intervención de 2007, con la que se instalaron tres pozos más, quedaron cada vez menos puntos con temperatura elevada. Hoy en día quedan aún unos pocos lugares donde no es posible plantar, destinados a menguar y desaparecer con el tiempo.

## 6. El resultado actual y la llegada espontánea de aves y mariposas autóctonas

Hoy el Palmetum es un parque visitable, que se presenta al mundo como ejemplo de "sostenibilidad" y lucha lograda por reconvertir un infierno en paraíso. La belleza de los jardines oculta sus orígenes y tanto, que en 2014 decidimos crear un lugar, hoy llamado "rincón sostenible"; con un corte en el talud donde los usuarios pueden observar capas del subsuelo con escombros y restos de basura. En ese lugar los guías explican la existencia del sistema de desgasificación y cuentan anécdotas sobre la reconversión del vertedero.

La fauna actual del Palmetum tiene relevancia y lo ha convertido en el mejor lugar de la ciudad para observar aves, que han ido colonizando de manera espontánea la montaña. En 1996 era difícil ver algo distinto de gaviotas y palomas y hoy el parque es habitado o visitado por una gran diversidad de especies que se ha visto favorecida por la presencia de los lagos, por la diversidad de hábitats y por la ausencia casi absoluta de pesticidas.

En cuanto a las mariposas autóctonas, en diciembre de 2014 se ha observado un ejemplar adulto de *Gonepteryx cleobule* y en Enero de 2015 se han visto orugas de *Hyles tithymali* sobre las *Euphorbia lamarckii* plantadas un año antes. La llegada de la fauna autóctona por medios propios es sin duda un galardón para todo el esfuerzo realizado.

Otro galardón llegó desde las naciones unidas a finales de 2014, con el "Premio internacional de Dubai a las Mejores Prácticas" en su X ciclo. El palmetum ha recibido la calificación de "best" y con ello es parte del X Catálogo Español de Buenas Prácticas, editado por el Ministerio de Fomento del Gobierno de España.

El Palmetum promete crecer y mejorar en los años venideros. Hoy la vegetación es aún joven y todavía quedan superficies aún sin plantar. Llevamos unos 18 años tratando de



arreglar lo que se estropeó en tan sólo 12, que es lo que se tardó en crear una montaña *horrible* terrible sin pensar en el futuro.

## 7. Agradecimientos

Agradezco por la ayuda prestada para completar y mejorar este manuscrito a tres ingenieros que vieron nacer y crecer el Palmetum: María Flores González Moro, Manuel Caballero Ruano y José Timón Hernández Abad.

## 8. Referencias y bibliografía

Caballero, M., Morici, C. (1996). From a landfill to a garden: proposal for a Palmetum in Santa Cruz, Tenerife. *Mooreana* vol. 6 (2): 51-53.

Fernández-Galván, M., Zerolo Aguiar, M. (1996) Convenio entre el instituto canario de investigaciones agrarias y el ayuntamiento de Santa Cruz de Tenerife para el establecimiento de un invernadero de cuarentena y crecimiento de palmeras y creación del palmetum del parque marítimo. Área de infraestructura y servicios del Ayuntamiento de Santa Cruz.

Johnson D. V., Mejia K. (1998). The Making of a Dugout Canoe from the Trunk of the Palm *Iriartea deltoidea*. *Principes* Vol. 42 No. 1

Flores González-Moro, M. (2000) Informe sobre el estado del palmetum. Negociado de Parques y Jardines, Ayuntamiento de Santa Cruz.

Morici C. (2001). The Palmetum of Santa Cruz de Tenerife. *Palms*. 45 (4): 161-167

## CASO 5

---

# Restauración hidrológica del barranco de la Orchilla y la pista de Madre del Agua (Tenerife)

Agulló Pérez, Juan  
Gutiérrez García, Bernabé Ángel

## 1. Introducción, antecedentes y localización del espacio y/o proyecto

La pista Madre del Agua transcurre entre los términos municipales de Vilaflor y Granadilla Abona, en la isla de Tenerife, presenta una especial importancia por ser una de las vías de comunicación principales del sur de la isla, así como por ser el único acceso al Campamento de Madre del Agua y al Paisaje Lunar, una de las formaciones geológica más visitadas de la isla. Asimismo, desde ella se accede a múltiples fincas agrícolas particulares.

La pista es muy transitada tanto por senderistas (ya que los senderos GR-131, PR-TF 72 y el PR-TF 83, pasan por alguno de los puntos de la pista), por bicicletas y vehículos a motor, debido al espectacular entorno en el que se encuentra, incluido dentro del Parque Natural de la Corona Forestal.

Se encuentra situada entre las cotas comprendidas entre 1625-1675 metros y, debido a su localización en el sur de la isla de Tenerife, está sometida a un régimen torrencial, que se caracteriza por fuertes precipitaciones en intervalos de tiempo pequeños, con lo que conlleva el efecto de avenidas extraordinarias.

Como consecuencia de este régimen torrencial, parte de la pista y de los taludes sobre el que transcurre el trazado de la misma, además del tramo coincidente con el Barranco de la Orchilla, fueron afectados de tal forma, que el cruce entre la pista y el barranco desapareció por completo, arrastrado por el agua y los acarreo, con lo que el paso y circulación en ese punto de la pista no se podía realizar, al existir una altura infranqueable para todo tipo de vehículos. Asimismo, muchos de los taludes que soportan la pista fueron afectados debido a los acarreo y la escorrentía que se producía en el cauce del barranco, que conllevaron a desestabilizaciones en los mismos, movimientos en masa con caídas importantes de talud y el desmoronamiento de los propios muros de contención de la pista. Con todo esto, la

circulación y el paso por la pista se consideraron altamente peligrosos por la posibilidad del hundimiento de toda la ladera afectada por el curso del barranco de La Orquilla, por lo que se prohibió el acceso a la pista.

Este caso práctico fue proyectado y ejecutado y a día de hoy se puede observar como parte integrante de la pista.

## 2. Diagnóstico del problema, tipo de espacio degradado

El primer problema es consecuencia del trazado de la propia pista, ya que ésta en su paso por el barranco discurre por el lecho del mismo. Debido a las lluvias extraordinarias, este tramo de pista desapareció produciendo un importante corte en la misma al descender la cota en el eje del barranco, como consecuencia de la energía de la corriente y de los grandes acarrees que contenía la avenida, que fueron quedando repartidos a lo largo del cauce del barranco y en el propio tramo interrumpido.

El segundo problema, mucho más importante fue el descalce de las laderas que sustentan la pista y que constituyen los márgenes del cauce. Su naturaleza disgregable, al estar formadas por piroclastos, acrecienta el problema. En caso de socavarse y deslizar, habría que desviar el eje de la pista hacia el talud de desmonte, realizando nuevas excavaciones en una ladera que supera los diez metros de altura, lo que supondría un importante volumen de movimiento de tierras, un elevado coste económico y un impacto apreciable.

Parte de los muros de contención construidos en el talud del terraplén de la pista, se descalzaron y desmoronaron como consecuencia de la erosión remontante producida en los regueros y cárcavas que se formaron en la propia ladera del cauce del barranco, y también a la escorrentía canalizada en la propia pista. Destaca un movimiento en masa que hace que se desplome una parte importante de uno de los taludes en la ladera del barranco.

## 3. Plan de actuación

El plan de actuación aborda tres objetivos. Por un lado había que llevar a cabo actuaciones en el cauce del barranco de La Orquilla (Restauraciones Hidrológicas), controlando la corriente a través de la reducción de la velocidad del agua y de los acarrees, así como protegiendo las laderas que habrían sufrido erosión en su pie con el riesgo de descalce. Por otro lado, y restaurando los tramos afectados se debía trabajar en el paso de la pista por el barranco. Por último, se debía trabajar en la propia pista mejorando el drenaje, tanto en la plataforma como en las laderas que vierten sobre ella.

## 4. Principales estrategias y actuaciones

### 4.1 Condicionantes

Todas las soluciones deberían ser duraderas en el tiempo, por lo que se debería considerar actuaciones para periodos de retorno de al menos 100 años.

Asimismo, se deberá tener en cuenta la integración de las medidas tomadas con el Espacio Natural Protegido, por lo que entre otras medidas todas las actuaciones deberán estar acabadas en piedra del lugar para evitar alteraciones paisajísticas.

### 4.2 Actuaciones

#### 4.2.1 Actuaciones en el barranco

Se dividirán en dos tramos diferenciados, aguas arriba del cruce con la pista y aguas abajo del mismo.

La construcción de las hidrotecnias aguas arriba del pontón, tendrá como objetivo principal la reducción de la velocidad y de la turbulencia de la corriente, la retención de los acarrees de mayor diámetro, para impedir los impactos contra los estribos del pontón, que podrían llegar a comprometer la estabilidad del mismo.

La altura y ubicación de la hidrotecnia, se establece considerando la pendiente de compensación aguas arriba de la misma, y su influencia en el calado en la obra de paso que será necesario construir, para el periodo de retorno establecido ( $T=100$  años).

Se ubica 60 metros aguas arriba del pontón, aprovechando una cerrada del cauce del barranco, se proyecta como dique de retenida, que detendrá los sólidos de mayor tamaño que pudieran afectar a la estructura del pontón.

En la elección de la mampostería del dique se opta por la gavionada, aprovechando la cantidad de piedras resultantes de las excavaciones en el lecho del barranco con motivo de su encauzamiento.

Tras el dique se produce resalto hidráulico al pie del mismo, lo que podría producir socavaciones en el terreno. Este salto hidráulico produce una disipación de energía al golpear el fluido sobre el suelo, que genera una sobreelevación del calado, en este caso hasta los 3,67 m, para la anchura del cauce establecida.

Hace necesaria la construcción de un zampeado y la elevación de los muros cajeros en el tramo de transición hasta que se alcanza el calado definitivo, en torno a los 0,7 m de altura,

y que con el diseño de la pendiente longitudinal asegura que para avenidas de  $T=100$  años, el calado que circularía por el barranco no pueda sobrepasar el gálibo.

En cuanto a las hidrotecnias construidas aguas abajo del cruce de la pista con el barranco, tendrán como finalidad la protección de la ladera afectada por el golpeteo de los acarreos y la energía cinética del agua, que transcurren por el cauce del barranco.

De esta forma y en primer lugar, se construye un dique en piedra seca a 40 metros aguas abajo del pontón. Al igual que en el caso anterior, este segundo dique tiene la función de retener los materiales sólidos que pudieran haber pasado del dique de gaviones situado aguas arriba y de los materiales procedentes de la ladera. Los fenómenos hidráulicos que se producen aguas abajo del dique son los mismos que en el caso anterior, es decir, resalto hidráulico y erosión por el golpeo de la energía del agua contra el suelo, por lo que se dispone de las mismas mediadas adoptadas, es decir, muros cajeros para evitar erosión en la ladera y zampeados para anular las pérdidas de terreno en el lecho del barranco con la posibilidad de descalce del dique.

La longitud de la pendiente de compensación del cauce debe ser calculada, de tal forma que no obstruya el ojo del pontón que se construirá en el paso de la pista con el barranco, por lo que la altura del dique de piedra seca diseñado dependerá de esta longitud al ser directamente proporcional a la misma.

La pendiente de compensación es muy interesante en esta restauración hidrológica ya que con la misma se consiguen los siguientes objetivos:

1. Equilibrar la tensión tractiva del agua y la tensión límite de arrastre de los materiales.
2. Al elevar el cauce, se produce un aterramiento aguas arriba del dique, que da lugar a un nuevo lecho elevado y asentado de acarreos retenidos, con secciones de mayor anchura, que posibilitan la circulación de caudales por perfiles de amplia base, con disminución del radio hidráulico.
3. La cuña de aterramiento adosada aguas arriba del dique, ejerce sobre los taludes o laderas que conforman los márgenes del barranco una función consolidadora, debido a que tal cuña sirve de apoyo fijo, no erosionable por debajo del plano del aterramiento estabilizado y debido además a que los materiales propios procedente del derribo de la ladera se irá quedando al pie de las mismas, remontándose sobre ellas hasta alcanzar el nuevo plano de terraplén natural del equilibrio, con lo que se habrá anulado en parte, la aportación lateral más directa de sólidos al cauce.

El resto de hidrotecnias construidas aguas abajo del segundo dique estaban destinadas a proteger de forma directa o indirecta el talud más afectado por la erosión. Para ello se construyeron umbrales de fondo: a modo de grandes piedras (sobre dos metros de diámetro), colocadas transversalmente al cauce del barranco y semienterradas. Su objetivo era disminuir aún más la velocidad del agua, antes de la curva natural que acometía el cauce del barranco y que golpeaba directamente en el talud, llegando a provocar movimientos en masas del mismo.

Escolleras de protección. Se diseñó una escollera de hasta 3,5 metros de altura y con piedras de grandes dimensiones en el margen izquierdo del barranco, aguas abajo de los umbrales de fondo, para que el agua y posibles acarreos, una vez pasado estos umbrales de fondo impactara directamente sobre ella y no sobre la ladera.

Muros de mampostería gavionada. Para evitar una mayor pérdida de talud, se sitúan en aquellos puntos de la ladera más erosionados, creando una cuña ascendente que estabiliza la propia ladera.

#### 4.2.2 Actuación en el paso del barranco con la pista

La infraestructura a construir debería ser aquella que permitiera salvar la diferencia de cotas entre la pista y el barranco, además de que el calado del agua del barranco a su paso por dicha infraestructura no se viera interrumpida, así como permitir que para lluvias moderadas, ésta permaneciera en el tiempo sin verse afectada y que en caso de lluvias extraordinarias, fuera una estructura consolidada sin peligro de roturas. La única solución que cumpliera todos estos requisitos fue la construcción de un pontón.

Para cumplir con estos condicionantes, se debe considerar entre las características del pontón; luz del pontón. Que será como mínimo la distancia a salvar del ancho del cauce del barranco, más la longitud añadida para conectar cada extremo de la pista antes y después del cauce.

Anchura, deberá ser como mínimo el ancho de un camión cuba de 10.000 litros, considerando los radios de giro de la misma a la entrada y salida del pontón, más una distancia de seguridad y un pequeño arcén para el paso de peatones.

Número de ojos del pontón; para el ancho del cauce del barranco se determina que debe estar constituido de un único ojo, con la altura suficiente para dejar pasar el calado del agua en caso de avenidas extraordinarias (para periodos de retorno de 100 años), pero sin que su altura sobrepase la cota de los dos extremos de la pista a conectar, ya que esto conllevaría un exagerado terraplenado de la pista, con construcción de grandes muros de contención, algo no deseable desde el punto de vista presupuestario y de condicionantes ambientales.

### 4.2.3 Actuaciones en la pista

El objetivo de estas actuaciones es el de canalizar el agua procedente de lluvia que cae directamente en la pista, junto con la acumulada en la ladera, de mucha mayor cuantía. Para ello es necesario, la construcción de cunetas de fábrica, que la evacuarán hacia el barranco de La Orchilla desde el talud de terraplén menos afectado y previamente seleccionado, evitando mayor daño al talud deteriorado por la erosión y los movimientos en masa. Asimismo, se restaurarán los muros de mampostería de los que parte han caído desde la ladera por efecto de la erosión remontante y, por último, se restaura y protege los taludes afectados y que presentan cárcavas de dimensiones considerables.

A continuación se describe las infraestructuras planificadas para la defensa de la pista.

- Las cunetas de hormigón con terminación en piedra, conducirán el agua hacia dos pasos de agua que atraviesan la pista desde el talud de desmonte al de terraplén.
- Los pasos de agua, se situarán en la desembocadura de dos barrancos secundarios, evitando que sigan acumulando agua en la propia pista. Los pasos de agua, desaguarán tanto el agua de la pista a través de la cuneta, como la de los taludes y del barranco, vertiéndola en puntos concretos del talud de terraplén, es decir, sobre formaciones rocosas y/o vegetación.
- En las laderas donde se evacua el agua por los pasos de agua y aquellas que se encuentran deterioradas con la presencia de grandes cárcavas, se colocan pequeños diques de gaviones ubicados a ser posible en pequeñas cerradas de tal forma que el material disgregable que pudiera seguir perdiéndose por la ladera, quede retenido y a su vez se permita la evacuación del agua por el vertedero de la infraestructura.
- Por último los muros de contención de la pista que se desequilibraron y se cayeron ladera abajo hasta el cauce del barranco de forma completa o parcial, son sustituidos por muros de hormigón armado, con terminación en piedra vista.

### 4.2.4 Revegetación de taludes

Por último para ayudar a la estabilización de los taludes que se han modificado por los trabajos y en general, todos aquellos que habían sufrido algún efecto de la escorrentía, son repoblados con especies representativas de la zona. La especie más utilizada para esta restauración y de la que hoy se puede observar una buena regeneración es el *Echium wildpretii* o tajinaste rojo.

## 5. Anexo fotográfico

ANTES



Figura 5.1: Cauce del barranco aguas arriba del pontón.

DESPUÉS



Figura 5.2: Cauce del barranco tras actuación, con pontón, muros cajeros en escollera y zampeados.





Figura 5.3: Vista parcial del cauce aguas arriba del pontón.

#### ANTES



Figura 5.4: Acarreos en el cauce del barranco aguas abajo de la pista.

DESPUÉS



Figura 5.5: Vista parcial del pontón, tras actuación.

**ANTES**



Figura 5.6: Ladera altamente erosiona por el impacto de acarreo y escorrentía.

**DESPUÉS**



Figura 5.7: Protección de ladera mediante escollera y diques de gaviones



Figura 5.8:Detalle de escollera, umbrales de fondo y pequeño dique de gaviones

ANTES



Figura 5.9:Desembocadura del barranco en la pista.

**DESPUÉS**



Figura 5.10:Paso de agua en el barranco.

**ANTES**



Figura 5.11:Detalle de pista sin peralte, ni infraestructuras para recogida de agua.

DESPUÉS

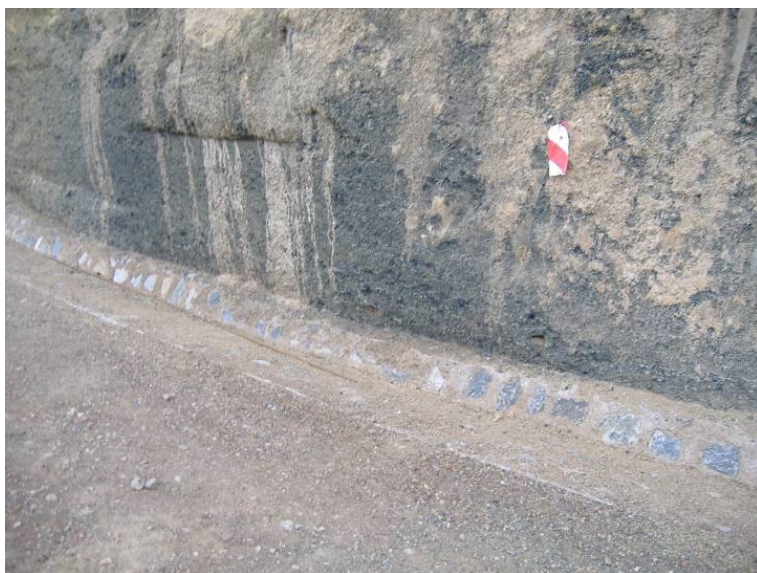


Figura 5.12: Detalle de cuneta acabada en piedra.



Figura 5.13: El detalle de barandas de protección en pontón.

## Referencias y bibliografía

- Agulló Pérez, A., García Villegas, P. y Gutiérrez García, B. (2005). Mejora y construcción de hidrotecnias en la pista Madre del Agua. Excelentísimo Cabildo Insular de Tenerife.
- López Cadenas de Llano, F. (1998). Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión. Ministerio de Medio Ambiente
- Obras transversales de corrección en cauces y laderas (2008). Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

## CASO 6

---

# Recuperación del dominio público en el Cho Vito

Sánchez Clavero, Teresa

## 1. Introducción

El presente documento tiene como objetivo analizar la problemática de barrios construidos en el litoral de las Islas Canarias que en aplicación de la Ley de Costas, presentan problemas en sus frentes, ejemplarizado con el caso del barrio de Cho Vito, situado en el litoral de municipio de Candelaria con la finalidad de describir el procedimiento empleado para la recuperación del dominio público marítimo terrestre ocupado indebidamente.

## 2. Contexto general. Núcleos marginales

En Canarias, durante los años sesenta y setenta del pasado siglo, se produjo, un fenómeno de urbanización generalizada, que en parte se adaptó a las normas urbanísticas y al planeamiento vigente y en parte se desarrolló fuera de este marco general. Una cantidad significativa del suelo ocupado por la edificación durante estos años, fue producto de la parcelación clandestina de fincas rústicas y de la autoconstrucción de edificaciones y otras edificaciones ilegales.

A estas formas de urbanización popular que se desarrollaron al margen de la legislación urbanística, se les llamó “urbanizaciones marginales”.

Este fenómeno, que en general se localizó en la periferia de los centros más importantes de las islas (fundamentalmente Santa Cruz de Tenerife y Las Palmas de Gran Canaria), se explicaba por la incapacidad de la administración pública para responder a la demanda de viviendas que la concentración poblacional estaba generando, pero también por la tolerancia de la misma administración ante la dimensión y la vivacidad del fenómeno.

La mayor parte de las “urbanizaciones marginales” construidas durante esos años, fueron asumidas por la administración como un fenómeno irreversible, lo que se tradujo en su consolidación material tanto mediante la introducción de las infraestructuras y los equipamientos necesarios, como con su legalización al partir del planeamiento municipal.



Pues bien, una modalidad particular de este fenómeno de “urbanización marginal” que afectó a la totalidad del territorio de las islas, son los “núcleos marginales de litoral”, y una de sus particularidad consiste, como su nombre indica, es su localización justo sobre el borde marítimo.

Hay que observar que las “urbanizaciones marginales” eran producto de la subdivisión de fincas privadas que normalmente no afectaban al espacio público. Pero no ocurrió lo mismo con los “núcleos marginales de litoral, que si lo afectaban. No siempre en una primera fase, pero normalmente en algunas de ellas, su proceso de “llenado”, terminaba invadiendo la franja de contacto entre el mar y la tierra firme, alterando (y por tanto devaluando) uno de los recursos más valiosos con que cuenta cualquier archipiélago, es decir, es su borde litoral.

La invasión de ese borde, que en términos legales, se establece como el dominio público marítimo terrestre (DPMT), y que la legislación española define como un espacio de “propiedad pública”, no ha impedido la construcción sucesiva de edificaciones en el entorno, así como la consolidación de los núcleos allí generados.

Un fenómeno que, no debe confundirse con aquellas colonizaciones puntuales del borde marítimo insular que, por una variada casuística, pudieron llevarse a cabo en la primera parte del siglo XX, o incluso antes. Una modalidad que es fácilmente reconocible en el litoral de todas las islas y que se identifica con un arquitectura muy rudimentaria, a modo de casas rurales, casas-cueva, o mediante simples horadaciones del terreno natural. O en el extremo, aquella arquitectura desarrollada por los antiguos pobladores de las islas, previos a la Conquista.

Los “núcleos marginales de litoral”, a que nos estamos refiriendo y que se desarrollará para el caso concreto del que se genera en la Playa de Cho Vito, son en su mayoría, actuaciones muy recientes, ubicadas en suelo público, con no más de cincuenta años de antigüedad, que se consolidan como consecuencia del boom turístico y por la atracción que genera la nueva forma de entender la costa como un espacio de ocio y disfrute con sus consiguientes aprovechamientos, convirtiéndose en la mayoría de los casos en segunda residencias para ser ocupadas los periodos estivales y fines de semana.

### 3. Cho Vito. Características generales

Cho Vito es una playa situada en la costa de Las Caletillas, en el municipio de Candelaria.

El litoral correspondiente al municipio de Candelaria, fue una de las zonas que con más rapidez se ocupó durante los años de expansión desmesurada, ya que se encontraba

muy próximo a la capital insular, Santa Cruz de Tenerife. La presión sobre ese borde fue realmente fuerte y ciertamente descontrolada.

Las Caletillas, como urbanización turístico-residencial, no tardó mucho en tomar cuerpo, y así como las primeras filas de casas habían quedado establecidas en los primeros años de la década de los sesenta, durante la década siguiente aparecen las viviendas en torno a la playa de Cho Vito, manteniendo un ritmo menor de crecimiento pero continuado hasta su consolidación total. Una consolidación que si en términos generales, se alcanza al final del siglo, en términos edificatorios continuó cambiando, mediante el incremento permanente de su edificabilidad y la altura de las casas.

La zona donde se ubicó el asentamiento de Cho Vito tiene unas condiciones naturales extraordinarias, ya que un saliente rocoso de dimensiones importantes genera una ensenada de fuerte pendiente para albergar una serie de playas de aguas muy tranquilas, al encontrarse orientada al sur-este y protegida de los vientos dominantes. Una playa formada en parte por arena oscura y en parte por antiguas coladas volcánicas solidificadas, que le aportan una gran belleza y un uso muy versátil para los usuarios, es decir, unas condiciones que le han permitido un uso mesurado y limitado de las aguas y una urbanización de acceso visual inmejorable. Estas condiciones tan ventajosas constituyen el foco de atracción del asentamiento en el cual todas las edificaciones han podido desarrollarse con una presencia directa del mar y con un fácil acceso a la playa.



Figura 6.1: Núcleo de Cho Vito. Año 2000.

En las últimas décadas, cuando se inicia el proceso de legalización urbanística del municipio de Candelaria, en el entorno de la playa de Cho Vito es clasificado en el planeamiento municipal como "suelo urbano", iniciando paralelamente una incipiente y tímida urbanización por parte del Ayuntamiento.

La estructura general del núcleo estaba configurada longitudinalmente mediante una cadena de edificaciones situadas en paralelo al borde litoral, con una hilera doble en el lado sur y una sólo hilera en la parte norte, divididas por un acceso transversal de gran pendiente, que las separa radicalmente. La doble hilera más vinculada a la playa principal y la hilera simple ligada a las playas secundarias situadas más al norte.



Figura 6.2: Núcleo de Cho Vito.

Las edificaciones eran todas de una, dos o tres plantas, con una proporción mayoritaria de dos plantas, un número significativo de tres plantas y un número menor de una planta.

Aunque sí se muestra una tendencia, la forma y el tamaño de las parcelas, tampoco responden a una pauta clara y repetitiva. El inquilino se ha sido adecuando a las particularidades topográficas de cada caso. El hecho de que muchas edificaciones contuvieran una sola fachada (ya sea por la distribución parcelaria, ya sea por el exceso de pendiente entre las dos calles), no obligaba a resolver su distribución interna con patios de luz, lo que habla de las precarias condiciones de ventilación e iluminación de las piezas internas, y de las condiciones de salubridad del núcleo.

El volumen de las casas respondía siempre a un aprovechamiento máximo del espacio disponible y el diseño de las fachadas mostraba, normalmente, una intervención muy alta de los propietarios en su solución, con un alto grado de clandestinidad, con una profusión de piezas superpuestas y elementos decorativos

El proceso de urbanización del barrio se produce muy lenta y precariamente, sólo estimulado por la presión vecinal, en la cual, la ilegalidad actúa como aglutinante. Las edificaciones construidas en el barrio, que en su totalidad invaden el DPMT, no son fáciles de identificar con una tipología concreta, puesto que sus características en cuanto a tipo de suelo, requerimientos y disponibilidad de los usuarios, varía de una a otra. El modelo de estructura es muy variable y, en cualquier caso, de factura muy frágil y modesta.

El crecimiento de las ocupaciones es sucesivo y progresivo, careciendo de ordenación o planificación urbanística. La pauta es ir ocupando el frente marítimo para situarse en primera línea y obtener una visual directa del mar y un inmediato acceso a la playa.

La calidad de la urbanización es muy precaria. Las redes de infraestructura que existían obedecen a una tipología muy rudimentaria, con un alto grado de provisionalidad.

Si bien la red de energía eléctrica es aérea y se encontraba materialmente colgada de las fachadas de las viviendas, es la inexistencia de una red de saneamiento el factor determinante en cuanto a las condiciones de salubridad e higiene del asentamiento. La recogida de las aguas sanitarias se realiza individualmente a pozos, sin ningún tipo de control o tratamiento y con vertido directo al mar, con la consiguiente contaminación y degradación de una zona de baño usada por múltiples ciudadanos.



Figura 6.3: Fachadas de viviendas.



Figura 6.4: Fachadas de Cho Vito.

## 4. Recuperación del dominio público en el Cho Vito.

### 4.1. Proyecto Paseo Marítimo y demoliciones en la Playa del Cho Vito

La primera referencia sobre actuaciones en la mencionada playa de Cho Vito se incluye en el Convenio de Colaboración entre el Ministerio de Medio Ambiente y el Gobierno de Canarias para actuaciones en infraestructuras de Costas, de fecha 6 de febrero de 1998 (BOC nº 28, de 24 de marzo de 1998), estando incluida en el anejo del citado Convenio las obras a realizar en la isla de Tenerife.

Para la realización de esta actuación se redactó en el mes de diciembre de 2003, el proyecto denominado "Paseo Marítimo y Demoliciones de El Cho Vito", término municipal de Candelaria, en el que se contemplaba la demolición de todas las ocupaciones del dominio público marítimo-terrestre, la ejecución de un paseo peatonal restaurando la conectividad de la franja litoral y la recuperación de la playa preexistente, proyecto sometido a información pública con fecha 24 de mayo de 2005 y aprobado definitivamente con fecha 22 de noviembre de 2005.

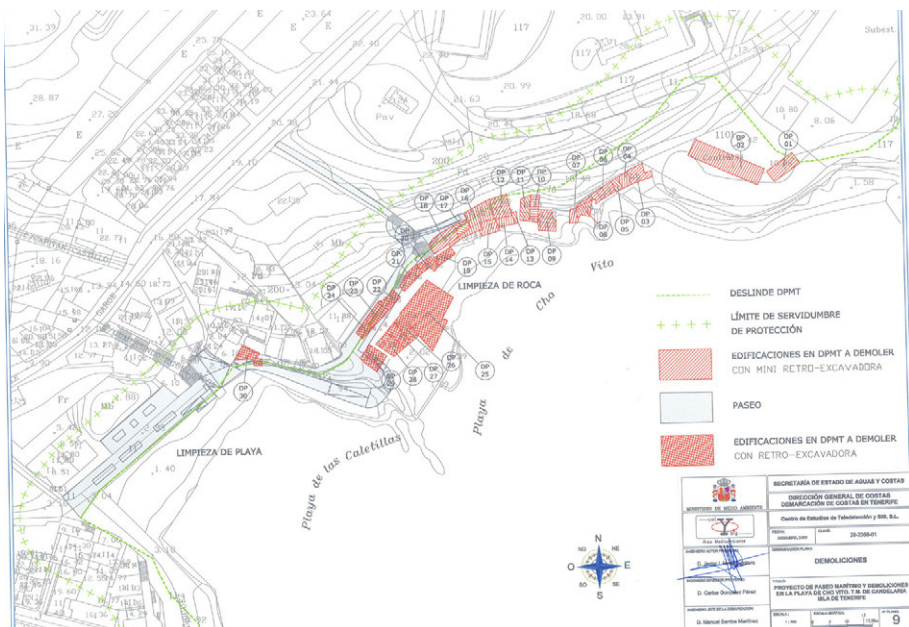


Figura 6.5: Planta de demoliciones.





Figura 6.7: Cho Vito año 1973.



Figura 6.8: Cho Vito año 2007 con representación del DPMT.

Los afectados por el deslinde y por las posteriores órdenes de demolición presentaron recursos, que se fueron desestimando por los tribunales de justicia mediante sentencias recaídas entre 1996 y 2007.

Una vez firmes todas las sentencias judiciales de las 31 construcciones que ocupaban el dominio público marítimo-terrestre, se solicitaron las autorizaciones para entrada en vivienda de forma voluntaria sin obtener respuesta por lo que se procedió a solicitar las autorizaciones judiciales de entrada.



En el año 2008 se inició la ejecución de las mismas con la demolición de 23 de las casas que ocupaban ilegalmente parte de la costa.

Sin embargo, 8 casas no fueron demolidas por tener carácter de primera vivienda y existir una voluntad municipal y de otras administraciones de conseguir un realojo de estos vecinos. Por ello ante la imposibilidad material de proceder a la ejecución de las resoluciones de recuperación posesoria, se solicitaron excepcionalmente prórrogas a los órganos judiciales, la última de ellas, concedida hasta el 31 de diciembre del 2012.

En noviembre del 2012 se inició la demolición de las ocupaciones que impedían culminar las obras correspondientes al proyecto Paseo Marítimo y demoliciones en la Playa del Cho Vito, finalizando las obras correspondientes al proyecto de referencia a finales del año 2012.

## 5. Reportaje fotográfico antes-después de la actuación









## 6. Conclusiones

Los “núcleos marginales de litoral” ejemplarizados en el caso de Cho Vito, no se corresponden con poblados marineros antiguos y carecen de valor etnográfico alguno. Obedecen al desarrollo económico motivado por el boom turístico y los nuevos hábitos de entender el litoral como un emplazamiento afortunado para el disfrute y ocio de actividades vinculadas al mar, máxime en climas tan benévolos como el de las Islas Canarias.

La existencia de ocupaciones ilegales en DPMT obliga a la Administración a la recuperación de esos espacios para el uso libre público y gratuito de todos, tal y como dispone la Ley de Costas, en aplicación del artículo 132.2 de la Constitución, el cual declara que son bienes de Dominio Público estatal los que determine la ley y, en todo caso, la zona marítimo terrestre, las playas, el mar territorial y los recursos naturales de la zona económica y la plataforma continental.

Cuando se trata de viviendas, como es el caso de las ocupaciones en la Playa de Cho Vito, no existe ninguna posibilidad de legalizarlas mediante un título concesional, pues es un uso expresamente prohibido por la Ley de Costas. Los titulares de este tipo de edificaciones no tienen ningún derecho objetivo sobre ellas, por prolongado que haya sido el tiempo de su disfrute.

Las demoliciones se enmarcan en un proyecto de recuperación del litoral, a favor de todos los ciudadanos, que es a quien corresponde disfrutar del espacio ocupado. Para ello, se crea un paseo y accesos públicos a la costa. Las demoliciones en la Playa del Cho Vito constituían una reivindicación social largamente manifestada por el resto de residentes de la zona de las Caletillas incluso ante el Defensor del Pueblo, que se dirigió a la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y el Mar, para dar traslado de esta inquietud ciudadana, acompañando su escrito de casi 700 firmas.

El litoral marítimo de nuestras islas constituye uno de los activos ambientales, sociales y económicos más valiosos de nuestro territorio, pero también se trata de un espacio frágil y delicado. Se debe evitar el tratamiento abusivo y desconsiderado recibido en las últimas décadas, por lo que se hace necesario ponerlo en valor en todas aquellas zonas ocupadas ilegalmente, y potenciar actuaciones como la del caso de Cho Vito, donde prevalecía el interés privado e impedía el aprovechamiento por toda la población de un bien tan preciado como es el litoral de nuestras islas.

Por tanto, con la ejecución del proyecto Paseo Marítimo y Demoliciones de El Cho Vito se han alcanzado dos objetivos básicos de la Ley de Costas:

- La defensa de la integridad del medio litoral, mediante la protección y conservación de sus valores naturales y el aprovechamiento racional de sus recursos, evitando los daños vertidos de aguas fecales con la consiguiente contaminación y degradación de una zona de baño usada por múltiples ciudadanos.
- La garantía de su uso y disfrute público del dominio marítimo terrestre, justificadas por el interés colectivo y con la adopción de las adecuadas medidas de restauración.

La consecución de estos objetivos implica, sin lugar a dudas, la lucha contra el doble fenómeno, que supone una destrucción física del medio natural, y la privatización del litoral.

## 7. Bibliografía

Casariago/Guerra, arquitectos *Análisis y valoración de las edificaciones afectadas por el DPMT- Barrio de Cho Vito\_ Municipio de Candelaria* (2010).

*Memoria de actuaciones 2009-2010 del Servicio Provincial de Costas de Tenerife.*



# FICHAS DE AUTORES







**Dr. Juan Carlos Santamarta Cerezal**

Doctor Ingeniero por la Universidad Politécnica de Madrid (ETSICCP)

Ingeniero de Montes (UPM)

Ingeniero Civil (ULPGC), Ingeniero de Recursos Energéticos (UJA)

e Ingeniero Técnico de Minas (UPM)

Universidad de La Laguna

jcsanta@ull.es

Research Affiliate en el Water Resources Research Center, USA. Investigador Colaborador del Instituto Universitario del Agua y las Ciencias Ambientales de la Universidad de Alicante. Profesor Colaborador Máster Oficial; Agua. Análisis Interdisciplinar y Gestión Sostenible, (Universidad de Barcelona).

Profesor Colaborador Máster en Ingeniería del Agua, (Universidad de Sevilla). Profesor Colaborador Visitante 2º Ciclo en Ingeniería y Gestión de Sistemas de Agua, (Universidad de Azores). Profesor Asociado de la Escuela Politécnica y de Arquitectura de la UN en Madrid. Miembro del Claustro de profesores del Master en Gestión del Agua de la UPM. Profesor-Tutor UNED (Grado en C.C. Ambientales).

Ha impartido 79 seminarios y cursos universitarios incluyendo; 12 Cursos de extensión Universitaria, 10 Universidades de Verano, 15 Interdisciplinarios y de 8 Fundaciones Universidad-Empresa, siendo director académico de 52 de ellos.

Director de 22 proyectos fin carrera, grado y máster. Director de tres tesis doctorales. Ingeniero Consultor, con 16 años de experiencia en proyectos singulares y como asesor de I+D+i en empresas del sector del agua y medioambiente. Decano del Colegio de Ingenieros de Montes en Canarias desde 2010. Su actividad investigadora en el campo de los recursos hídricos y la ingeniería ambiental y del terreno se resume en una producción de más de 125 publicaciones, 45 publicaciones indexadas (JCR, Scopus, ISI) 11 libros técnicos, 30 capítulos en libros y en la participación en 18 proyectos de investigación e innovación, 8 Europeos (2 como IP), 1 Nacional, 3 Regionales y 6 con empresas privadas (5 como IP) y la Administración. Miembro del COST Action Europeo de Expertos en recursos forestales y el ciclo del agua FP0601. Participación en 52 Congresos Nacionales e Internacionales. 43 Materiales docentes realizados (todos de libre acceso). 1er Premio en Innovación en Enseñanzas Universitarias (2013), Dos Menciones de Calidad en 2014 y 2012.



**D. Jorge Naranjo Borges**

Dr. Ingeniero de Montes

Consejería de Política Territorial, Sostenibilidad y Seguridad.

Gobierno de Canarias

[jorge.naranjoborges@gobiernodecanarias.org](mailto:jorge.naranjoborges@gobiernodecanarias.org)

Ingeniero de Montes por la Universidad de Freiburg im Breisgau (Alemania).

Dr. Ingeniero de Montes por la Universidad de Göttingen (Alemania).

Coordinador y Redactor de Planes y Normas de Espacios Naturales Protegidos del Gobierno de Canarias.

Miembro del equipo organizador de las Jornadas Forestales de Gran Canaria.

Miembro del Panel de Expertos durante la elaboración del borrador de la Estrategia Española para la Conservación y el Uso Sostenible de los Recursos Genéticos Forestales y el Documento Técnico preparado para la elaboración de la Estrategia. Ministerio de Medio Ambiente. 2005.

Representante de la Comunidad Autónoma de Canarias en el Comité Nacional de Conservación de Recursos Genéticos Forestales durante los años 2003-2012.



### **D. José Julio Cabrera Mujica**

Licenciado en Geografía

Máster en Gestión Ambiental

Máster en Gestión Empresarial del Medio Ambiente y Ecoauditorías

45 años de militancia medioambientalista

Jubilado

[jjuliocabrera@yahoo.es](mailto:jjuliocabrera@yahoo.es)

Licenciado en Geografía por la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (1994-1998). Ambos Máster fueron obtenidos a distancia, en el Instituto de Investigaciones Ecológicas de Málaga.

Escalador del Proyecto 817 de la I.U.C.N (Inventario de los Recursos Naturales Renovables de la Provincia de Las Palmas) 1972 a 1974, publicado por la Mancomunidad de Cabildos de Las Palmas en 1975 y antecedente de las Leyes de Espacios Naturales 12/87 y 12/94 del Parlamento de Canarias.

Presidente de ASCAN 1989 a 1994, la decana de las organizaciones ambientales españolas (1970).

Director de la Serie de Antena 3, "Flora Canaria" de 29 capítulos (1993).

Director del Video Institucional: "Situación Medioambiental de Puerto del Rosario en su Bicentenario", Fuerteventura (1994).

En (2000) publiqué para Docentes "El libro Vivo de la Educación Ambiental en Canarias" .

Director y creador de la Exposición y del Video "Entender Canarias, Geología y Geomorfología" en el CICCA (Centro de Iniciativas Culturales de la Caja Insular de Ahorros) (2004).

Guionista y encargado de localizaciones del Video "La Corona de Lanzarote" sobre la Génesis de la erupción efusiva que, formó La Cueva de Los Verdes y Los Jameos del Agua, Lanzarote (2009).

Tras jubilarme parcialmente y más tarde totalmente, incrementé mi activismo ambiental, tanto en publicaciones, intervenciones, conferencias, etc. desde siempre divulgativas, como con el Cabildo en los Life Rabiche y Guguy, aparte de comenzar a localizar y georeferenciar (con claves alfa numéricas específicas) para que el Cabildo tenga el máximo posible de individuos geolocalizados, con los relictos de plantas en peligro de extinción, comenzando a colaborar en preparar Huertos Semilleros, capaces de juntar la información genética, de lo que haya conseguido sobrevivir, vigilando la protección de las ubicaciones y georreferenciando las plantas in situ y en su repoblación, para poder reponer posibles marras e intentando facilitar e incorporar, eventuales futuras localizaciones.



**Prof. Agustín Naranjo Cigala**  
Departamento de Geografía  
Universidad de Las Palmas de Gran  
Canaria  
agustin.naranjo@ulpgc.es

Profesor del Departamento de Geografía de la ULPGC, imparte las asignaturas de Biogeografía y SIG (Sistemas de Información Geográfica) en la Facultad de Geografía e Historia, Grado de Geografía y Ordenación del Territorio. Director del Aula de la Naturaleza "Jaime O'Shanahan" desde 2004 y representante la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria en los Patronatos de Espacios Naturales Protegidos de la isla de La Palma y Parque Nacional Caldera de Taburiente.

Desarrolla principalmente líneas de investigación en el estudio geográfico de la vegetación canaria usando Tecnologías de Información Geográfica y de Conservación de especies, colaborando con otros profesores e investigadores de universidades nacionales e internacionales de cuya colaboración han surgido numerosos artículos de investigación científica en revistas especializadas y de impacto, libros y capítulos de libros, póster y comunicaciones a congresos, etc.



**D. Carlos Velázquez Padrón**  
Ingeniero de Montes  
Servicio de Medio Ambiente  
Cabildo de Gran Canaria  
cvelazquez@grancanaria.com

Ingeniero de Montes por la Escuela Forestal de la Universidad de Freiburg I. Brg-Alemania. (1983-1989). Trabajo de Ingeniero en Prácticas en la Administración de Baden-Württemberg (1991-1993). Desde 1993 trabaja en el Servicio de Medio Ambiente del Cabildo de Gran Canaria. Responsable de Viveros Forestales y de Selvicultura. Co-director de las Jornadas Forestales de Gran Canaria. Miembro activo de la Asociación Profor-Canarias



**Dr. Antonio Rodríguez Rodríguez**

Doctor en C.C. Biológicas por la Universidad de La Laguna (1977)  
Catedrático de Edafología y Química Agrícola de la Universidad de La Laguna (1996)  
antororo@ull.es

Su labor investigadora se ha centrado fundamentalmente en el reconocimiento de las potencialidades y procesos de degradación de los suelos de Canarias.

Ha publicado 87 artículos científicos en revistas especializadas, 16 capítulos de libros y 1 libro, actuando como Editor de otros tres.

Ha sido Investigador Principal en 14 Proyectos de I+D y 8 Contratos de Investigación, relacionados con la caracterización de suelos y sus procesos de degradación.

Coordinador del Grupo de Investigación Degradación y Conservación de suelos de la ULL.

Presidente (por elección) de la Comisión de Control de la degradación y recuperación de Suelos de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo

Miembro del Consejo de la European Society for Soil Conservation

Miembro del Comité Científico de la Reserva de la Biosfera de Fuerteventura

Miembro de número del Instituto de Estudios Canarios



**Dra. Carmen D. Arbelo Rodríguez**

Doctora en C.C. Químicas por la Universidad de La Laguna (1988)  
Profesora Titular de Edafología y Química Agrícola de la Universidad de La Laguna (1991)  
carbello@ull.es

Premio a la mejor Tesis Doctoral concedido por la Consejería de Agricultura y Pesca del Gobierno Autónomo de Canarias

Su labor investigadora se ha realizado en el campo de la Química de Suelos Volcánicos dado las particulares características que estos presentan.

Es autora de numerosas aportaciones científicas de ámbito nacional e internacional tanto en artículos específicos como aportaciones a congresos. Es coautora de varios capítulos de libro.

Pertenece al Grupo de Investigación Degradación y Conservación de suelos de la ULL

Ha sido Vicepresidenta de la Sociedad Española de Ciencia del Suelo (SECS) (2009-2015)



**Maria Dolores Peraza Zurita**

EEMM Sustainable Forest and Nature  
Management MSc

(University of Copenhagen – Bangor  
University)

Ingeniero de Montes (ETSIAM Córdoba)

Ingeniero Técnico Agrícola (ETSIA La  
Laguna)

Ingeniero Técnico Agrícola por la  
Universidad de La Laguna (2001-  
2004) e Ingeniero de Montes por  
la Universidad de Córdoba (2004-  
2008), se ha especializado en gestión  
sostenible del medio natural.

Ha colaborado en proyectos de  
conservación y gestión de recursos  
naturales con base en Dinamarca  
y Reino Unido, así como con el  
Instituto Volcanológico de Canarias  
(INVOLCAN) y es miembro del grupo  
de investigación de la Universidad de La  
Laguna INGENIA, Ingeniería Geológica,  
Innovación y Aguas.

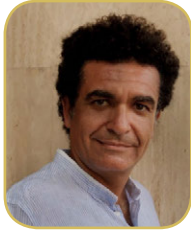


**Carolina Ramos Martín**

Ingeniera de Montes (UdL)

cramosmartin@hotmail.com

Desde 2008, ha desarrollado su  
experiencia en temas de pesca  
continental, así como la coordinación  
del grupo de trabajo en este campo,  
y en temas cartográficos para la  
Generalitat de Cataluña y Forestal  
Catalana. Redacción de proyectos de  
Perímetros de Protección Prioritaria en  
el Pirineo catalán.



**Dr. Luis E. Hernández Gutiérrez**

Doctor en C.C. Geológicas  
Consejería de Obras Públicas y  
Transportes.

Gobierno de Canarias  
lhergut@gobiernodecanarias.org

Doctor por la Universidad de La Laguna (2014) y Licenciado en Ciencias Geológicas por la Universidad de Granada (1986-1991). Actual Jefe de Laboratorio y responsable de Geotecnia del Servicio de Laboratorios y Calidad de la Construcción en el Gobierno de Canarias.

Durante más de 20 años ha trabajado en el control de calidad de las obras públicas y de la edificación, realizando numerosos estudios sobre las propiedades geotécnicas de los materiales volcánicos de las Islas Canarias.

En su faceta investigadora destaca la publicación de más de 40 artículos en revistas científicas nacionales e internacionales.

Ha participado en más de 50 eventos como organizador y ponente de cursos, seminarios, workshops, congresos y máster.

Es colaborador científico del Instituto Volcanológico de Canarias (INVOLCAN) y miembro del grupo de investigación de la Universidad de La Laguna INGENIA, Ingeniería Geológica, Innovación y Aguas.



**Francisco Prieto Prieto**

Ingeniero de Montes  
Área de Medio Ambiente y Residuos,  
Participación Ciudadana,  
Emergencias y Sanidad.

Cabildo de La Palma  
francisco.prieto@cablapalma.es

Ingeniero de Montes por la Universidad Politécnica de Madrid. Actual Jefe de Servicio de Medio Ambiente y Emergencias del Cabildo de La Palma.

Experiencia profesional de 20 años en la Isla de La Palma, realizando labores de conservación del Parque Nacional de la Caldera de Taburiente y otros trabajos forestales de silvicultura e hidrología, hasta pasar en el año 2000 a la Jefatura de Sección de Montes del Cabildo Insular de La Palma y posteriormente a la Jefatura de Servicio.





**Juan Agulló Pérez**

Ingeniero de Montes por la Universidad Politécnica de Madrid (ETSIM)  
Área de Medio Ambiente, Sostenibilidad Territorial, Recursos y Aguas.  
Cabildo de Tenerife

Actualmente Jefe de Sección de Infraestructuras e Hidrología del Servicio Técnico de Planificación y Proyectos Forestales.

Su actividad profesional se ha desarrollado principalmente, vinculada a la gestión y planificación de Espacios Naturales Protegidos.

Ha coordinado proyectos y estudios en diversos ámbitos como control de mamíferos introducidos o uso público, centrandó su actividad en los últimos años en las infraestructuras viarias y para la lucha contra incendios forestales, la restauración hidrológico forestal y la recuperación de áreas afectadas por catástrofes naturales.

Integrante del operativo Brifor de extinción de incendios forestales del Cabildo de Tenerife, como Director de Extinción, tiene experiencia en intervención en otro tipo de emergencias, como las riadas del 31 de octubre de 2002 en Santa Cruz de Tenerife ó noviembre de 2009 y febrero del 2010 en el norte y área metropolitana.

Como Jefe de Sección de Planificación y Análisis de Riesgos del Servicio de Protección Civil y Atención de Emergencias del Gobierno de Canarias (2010-2011), también ha relacionado su experiencia profesional con otros ámbitos de Protección Civil e intervenido en emergencias de otras tipologías, como la crisis sismovolcánica de la Isla del Hierro en 2011.



**Dr. Jonay Neris Tomé**

Doctor en Biología por la Universidad de La Laguna  
Máster en Sistemas de Información Geográfica por la Universidad de Girona  
Lcdo. en Ciencias Ambientales por la Universidad de Granada  
[jneris@ull.edu.es](mailto:jneris@ull.edu.es)

Su trabajo se centra en la caracterización de la hidrología superficial de los suelos de origen volcánico y la evaluación del impacto de perturbaciones ambientales como el cambio de uso o vegetación y los incendios forestales en la respuesta hidrológica y erosiva de los suelos. Ha participado en más de una docena de proyectos de investigación relacionados con la edafología, el cambio climático, la hidrología y la erosión. Posee numerosos artículos publicados en revistas de relevancia internacional y capítulos de libros sobre esta temática. Ha participado como ponente y organizador en más de 50 congresos tanto ámbito nacional como internacional relacionadas con la edafología, la hidrología y la erosión del suelo. Es revisor de más de una decena de revistas internacionales incluidas en JCR. Su trayectoria investigadora le ha sido reconocida con diversos premios como el Premio Extraordinario de Doctorado (Universidad de La Laguna, 2013) o el Premio Nacional Jóvenes Investigadores (FUEGORED, 2012), Actualmente colabora con los grupos de investigación Degradación y Conservación de Suelos (Universidad de La Laguna), Ingeniería Geológica, Innovación y Aguas (INGENIA, Universidad de La Laguna) y Environmental Dynamics Research Group (Swansea University).



**D. Ignacio Pérez-Soba Diez del Corral**

Doctor Ingeniero de Montes por la Universidad Politécnica de Madrid  
Gobierno de Aragón  
iperezs@aragon.es

Ingeniero de Montes por la Universidad Politécnica de Madrid (1996), con Primer Premio Nacional de Fin de Carrera del Ministerio de Educación, Premio del Instituto de la Ingeniería de España y Premio de la Asociación Mutualista de la Ingeniería Civil. Doctor por la Universidad Politécnica de Madrid (2005), con sobresaliente “cum laude” por unanimidad.

Funcionario de carrera del Cuerpo de Ingenieros de Montes del Gobierno de Aragón desde 1997. Durante siete años se encargó de la gestión forestal de un territorio, con especial dedicación a las obras de restauración hidrológico-forestal. Desde 2005 es Jefe de la Sección de Defensa de la Propiedad en el Servicio Provincial de Medio Ambiente de Zaragoza del Gobierno de Aragón.

Decano del Colegio de Ingenieros de Montes en Aragón. Profesor del Diploma de Especialización en Derecho Local de la Universidad de Zaragoza. Fue Profesor del Máster de Cooperación para el Desarrollo Sostenible de la Universidad Pontificia Comillas de Madrid. Ha impartido también docencia en otras muchas instituciones, en particular Escuelas de Administración Pública de distintas Comunidades Autónomas.

Ha publicado siete libros como autor único, otros dos con un solo coautor, y cinco capítulos de libros colectivos. Ha publicado también más de cincuenta artículos en revistas nacionales e internacionales y libros de actas de congresos. Estas publicaciones tratan en especial de historia, derecho e hidrología forestales, y de cooperación para el desarrollo.

Ganador del Premio de Ensayo “Benjamín Jarnés” (Diputación Provincial de Zaragoza). Mención de Honor en los XI Premios de Urbanismo, Arquitectura y Obra Pública (Ayuntamiento de Madrid). Accésit en el XVI Premio Periodístico “Montero de Burgos” (Colegio de Ingenieros de Montes y Grupo TRAGSA).



**Carlos Calderón Guerrero**

Doctor Ingeniero de Montes e Ingeniero técnico forestal por la Universidad Politécnica de Madrid con estudios de postgrado en Master de procesos contaminantes y defensa del medio natural por la Universidad Politécnica de Madrid.

[carlos.calderon@upm.es](mailto:carlos.calderon@upm.es)

Profesor Ayudante Doctor en el Departamento de Ingeniería y Gestión Forestal y Ambiental de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y Medio Natural de Madrid.

Se ha especializado en diversos campos como: 1) la gestión de zonas verdes urbanas, arboricultura, fitopatología y selvicultura urbana; 2) Procesos contaminantes en el medio: Biomonitorio. Contaminación ambiental. Contaminantes atmosféricos. 3) Selvicultura y repoblaciones forestales. Tecnología de semillas forestales. Plantas medicinales, aromáticas y condimentarias. Piscicultura y 4) Gestión de proyectos y planificación rural. Expresión gráfica en la ingeniería

Participa en varios proyectos de investigación financiados por diversas Instituciones y Organismos: Ministerio de Ciencia y Tecnología, Ministerio de Medio Ambiente, Univ. Politécnica de Madrid, Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), CONFEMADERA, Ministerio de Ambiente de Argentina y Municipalidad de Mendoza (Argentina)



**Carlos González Pérez**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad Politécnica de Madrid (ETSICCP)

Ingeniero del Cuerpo de Ingenieros de CC., CC. y PP. del Estado  
cgonzal@magrama.es

Ingeniero de Caminos , Canales y Puertos por la Universidad Politécnica de Madrid ( 1984 ) y Experto Universitario en Gestión Integrada de Zonas Costeras (2005) por la Universidad de Cantabria.

En el periodo 1985 –1992 ha desarrollado su actividad en la Consejería de Obras Públicas de la Comunidad Autónoma de Canarias ocupando diversos puestos como Director del Plan Regional de Carreteras, Director del Laboratorio de Calidad de la Edificación y Servicio Regional de Puertos.

En el periodo 1992- 2014 ha desarrollado su actividad en la Administración del Estado , en el Servicio Provincial de Costas de Tenerife, donde ha ejercido como Jefe del Servicio de Proyectos y Obras, ocupándose de la redacción de proyectos y dirección de obra de numerosas actuaciones costeras referidas a regeneración de playas, paseos marítimos, senderos, recuperación del dominio público marítimo-terrestre y otras.

Dentro del periodo anterior, entre los años 2005 – 2012 ha ejercido como Jefe del Servicio Provincial de Costas, donde además de lo antes citado se ha ocupado de la gestión integral de la costa en la Provincia de Santa Cruz de Tenerife.



**D. Jaime Echevarría Chicoy**

Ingeniero de Montes

Consejería de Educación, Universidades y Sostenibilidad.

Gobierno de Canarias

[jechchi@gobiernodecanarias.org](mailto:jechchi@gobiernodecanarias.org)

Ingeniero de Montes por la Universidad Politécnica de Madrid. Actualmente desempeña su trabajo en la D.G. Protección de la Naturaleza como Técnico del Servicio de Planificación del Medio Natural. Ha sido responsable de los programas de reforestación de tierras agrarias y de gestión sostenible de montes en Canarias, así como coordinador de numerosos proyectos técnicos y estudios impulsados por la Consejería.

Ejerció como profesor (1998 – 2001) en los Ciclos Formativos: Ciclo Superior Gestión y Organización de los Recursos Naturales y Paisajísticos y Ciclo Medio Trabajos Forestales y de Conservación del medio natural en la Escuela de Capacitación Agraria de Los Llanos de Aridane en la isla de La Palma (Islas Canarias)

Ha participado como ponente en diferentes foros como las Jornadas Forestales de Gran Canaria, Jornadas académico-profesionales sobre Desertificación y Recuperación de suelos, Jornadas Forestales de la Macaronesia o la Conferencia Internacional de Turismo de Naturaleza de Gran Canaria. Colaborador en el libro "Forestación de tierras agrícolas: Análisis de su evolución y contribución a la fijación del carbono y al uso racional de la tierra". Editado por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.



**Bernabé A. Gutiérrez García.**

Ingeniero de Montes por la UPM.  
bernabeg@tenerife.es

Máster en Prevención de Riesgos Laborales, Especialidad en Seguridad en el Trabajo.

Jefe de Obra y Redactor de Proyectos Forestales y Civiles en la empresa privada y pública.

Actualmente es Funcionario del Cabildo Insular de Tenerife, Unidad de Infraestructura e Hidrología del Área de Medio Ambiente y Técnico de Incendios Forestales, realizando direcciones de obras, redacción de proyectos, informes y estudios de infraestructuras e hidrología en el ámbito de los Espacios Naturales Protegidos de la isla de Tenerife.

Con varias publicaciones en materia de Hidrología y Pistas Forestales.



**Teresa Clavero**

Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos  
Servicio Provincial de Costas de Tenerife  
Dirección General de Sostenibilidad  
de la Costa y el Mar  
Ministerio de Agricultura, Alimentación y  
Medio Ambiente  
tsclavero @magrama.es

Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad de Cantabria (1989-1997). Desde el año 2012 es Jefa del Servicio Provincial de Costas de Tenerife.

Durante 2 años (1998-2000) ha trabajado como jefa de obra en la entonces constructora ACS.

Entre los años 2000 y 2002 redactó proyectos de obra civil y colaboró en direcciones de obra en la empresa TENO INGENIEROS CONSULTORES S.L.

Durante 10 años, comprendidos entre el 2002 y el 2010, ha trabajado como Jefa de Sección en el Cabildo Insular de Tenerife en el Servicio de Conservación y Explotación de Carreteras.



**Mª de las Mercedes García  
Rodríguez**

Ingeniera de Montes  
Profesional liberal  
mmgarguez@gmail.com

Ingeniera de Montes por la Universidad Politécnica de Madrid (1996-2003).  
Máster en Medio Ambiente.

Agente de la innovación por la Universidad de La Laguna (2011)

Docente de la formación profesional para el empleo (2014)

Desde 2005 ha desarrollado su experiencia en el sector de la consultoría en el ámbito forestal y de los espacios naturales protegidos en las Islas Canarias, realizando la coordinación y/o desarrollo de más de 30 proyectos y planes, incluyendo direcciones de obra, en los campos de defensa del monte (deslindes y amojonamientos), uso público, infraestructuras forestales, silvicultura, repoblaciones y cartografía.

Especialmente interesada en la educación ambiental, en los procesos de participación ciudadana en la gestión ambiental, y en general, en la comunicación.



**D. Jesús Barranco Reyes**

Ingeniero de Montes  
Consejería de Sanidad, Servicios  
Sociales, Seguridad y Emergencias  
Cabildo de El Hierro  
Jbarranco@el-hierro.org;  
jbarrancoreyes@gmail.com  
www.about.me/jesusbarrancoreyes

Ingeniero de Montes por la Universidad Politécnica de Madrid (1994-2002).  
Responsable de Seguridad y Emergencias del Cabildo Insular de El Hierro, y Director Técnico del Centro de Coordinación Operativa Insular (CECOPIN).

Desempeñó funciones de proyectista, gestor y jefe de obra en empresas privadas y públicas, especialmente en Tragsa, empresa con la que llegó a la isla de El Hierro. Más de 10 años de experiencia en incendios forestales, riesgos naturales, gestión de emergencias, silvicultura, desarrollo rural, e ingeniería civil en entornos forestales. Ha formado parte de la Administración Pública insular en el área de Medio Ambiente y, actualmente, Seguridad y Emergencias, compaginada con su actividad como formador en incendios forestales y protección civil.

Participante en múltiples cursos y ponencias, forma parte del MasterFUEGO 2.0 de las Universidades de Lérida, Córdoba y León.





**D. Javier López Figueroa**

Ingeniero Técnico Forestal

Ingeniero por la Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

Máster Universitario en Ingeniería Ambiental por La Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC).

[jlopez@grancanaria.com](mailto:jlopez@grancanaria.com)

Docente en Escuela-Taller (Viveros y Cultivos bajo abrigo) (1988-1989).

Ponente en diversas Jornadas Forestales (III, IV, XII, de Gran Canaria, y IV de la Macaronesia).

Jefe de la Unidad Insular en las islas de la Gomera/Hierro (1990-1992), como funcionario de la Comunidad Autónoma Canaria.

Vocal del Patronato del Parque Nacional de Garajonay.

Jefe de Sección de Restauración e infraestructuras Forestales, como funcionario del Cabildo de Gran Canaria con Correcciones Hidrológicas de varias cuencas en la isla de Gran Canaria:

- La Cuenca del embalse de Tirajana, (1995-2004).
- La Cuenca alta del Barranco de Balos (1995-2004).
- La Cuenca Media y alta de los barrancos de Arguineguín y Ayagaures, (2004-2009).
- La Cuenca del Mulato (2009).

Director Facultativo en las Hidrotecnias y Repoblación del Monte de Utilidad Pública de Arguineguín.

Repoblación forestal en los montes del sur de la isla de Gran Canaria (Cortijo de la Data, Las Mesas, Las Mesitas, Montaña Negra, La Gambuesa, Tifaracás, etc.)

Repoblación forestal en el sector noroeste de la isla de Gran Canaria (finca de Tirma).

Responsable de la gestión de los Espacios Naturales de la isla de Gran Canaria:

- Parque Natural de Tamadaba y Monumento Natural de Amagro.

Técnico responsable en Caza de la isla de Gran Canaria

Dirección de extinción de incendios forestales, con más de 20 años de experiencia.

Dirección de obras e infraestructuras forestales en la isla de Gran Canaria: Garajes, oficinas de agentes de medio ambiente, etc.

## OTROS LIBROS EDITADOS

2013. Avances en la Investigación de los Recursos Hídricos en Islas y Terrenos Volcánicos. Madrid: Colegio de Ingenieros de Montes, pp. 274. ISBN 978-84-616-3860-4

2013. Hidrología y Recursos Hídricos en Islas y Terrenos Volcánicos. Métodos, Técnicas y Experiencias en las Islas Canarias. Madrid: Colegio de Ingenieros de Montes, pp. 556. ISBN 978 -84 -616 -3858 -1

2013. Environmental Security, Geological Hazards and Management. Tenerife: Universidad de La Laguna, pp. 233. ISBN 978-84-616-2005-0.

2013. Ingeniería Forestal y Ambiental en Medios Insulares. Técnicas y Experiencias en las Islas Canarias. Madrid: Colegio de Ingenieros de Montes, pp 654. ISBN 978-84-616-3859-8, pp 477. ISBN 978-84-616-5397-3.

2014. Climate Change and Restoration of Degraded Land. Madrid: Colegio de Ingenieros de Montes, pp. 589. ISBN 978-8-617-1377-6.

2014. Natural Hazards & Climate Change. Madrid: Colegio de Ingenieros de Montes, pp. 211. ISBN 978-84-617-1060-7.



## RESTAURACIÓN DE LA CUBIERTA VEGETAL Y DE ESPACIOS DEGRADADOS EN LA REGIÓN DE LA MACARONESIA

---

La Macaronesia es un conjunto de archipiélagos de origen volcánico situados en el atlántico norte, entre los 15° N en Cabo Verde y los 40° N en Azores. Se trata de islas nacidas desde el fondo oceánico y emergidas en un intervalo de tiempo relativamente similar (los últimos 25 millones de años), influidas por los vientos alisios, la rama oriental de la corriente del Golfo y la corriente fría de Canarias. Son territorios muy singulares, medioambientalmente hablando, con frágiles ecosistemas.

La presente obra se compone de 15 capítulos y 6 casos de aplicación divididos en 4 bloques: fundamentos teóricos de la restauración, restauración de la cubierta vegetal, restauración de espacios degradados y casos prácticos de aplicación.

Con este libro se pretende hacer una introducción a las técnicas de restauración ambiental y recuperación de la cubierta vegetal. Se contemplan técnicas de conservación y restauración de suelos, reforestación, restauración hidrológica forestal, la recuperación del litoral costero y el dominio público, la restauración tras incendios forestales, incluyendo la evaluación ambiental de planes y proyectos. En la mayoría de los casos se particulariza para las Islas Canarias, contemplando las particularidades de cada isla y siendo extensible a los demás archipiélagos macaronésicos.

El libro es de interés para académicos, ingenieros, consultores, y profesionales vinculados con la ingeniería del medio natural y la restauración de espacios degradados especialmente en la región de la Macaronesia.

Los coordinadores y autores de algunos de los capítulos de la presente obra, Juan Carlos Santamarta Cerezal y Jorge Naranjo Borges son Doctores Ingenieros de Montes, representantes del colegio profesional en Canarias desde el año 2010. Con una dilatada experiencia en la gestión e ingeniería forestal y ambiental en las islas. Entre ambos han firmado cerca de 160 publicaciones relacionadas con el medioambiente y la sostenibilidad, participando también activamente en la docencia y coordinación de más de 90 cursos de especialización.