

Estaciones de aforo V-flat y peces migradores de la Península Ibérica: problemas y soluciones

FRANCISCO JAVIER SANZ RONDA (*), FRANCISCO JAVIER BRAVO CÓRDOBA (**)
y ANDRÉS MARTÍNEZ DE AZAGRA (*)

RESUMEN Las estaciones de aforo V-flat consisten en un pequeño azud (entre 0,5 y 1 m de altura), con cresta en forma de “V-tendida”. La principal ventaja frente a otros sistemas de aforo es la precisión que ofrecen para caudales bajos. Sin embargo, el rigor hidráulico contrasta con el impacto ambiental que provocan, pues resultan un obstáculo insalvable para la gran mayoría de las especies migradoras ibéricas. Ello es debido a la elevada velocidad de la corriente sobre el paramento de aguas abajo con caudales medios y altos (mayor de 3,7 m/s) y a la escasa profundidad (normalmente entre 0,05-0,25 m dependiendo del valor del caudal y la distancia desde la cresta) lo que anula la posibilidad de los peces de superar el aforador. En este artículo se pretende analizar la problemática y se proponen soluciones basadas en experiencias propias y ajenas.

FLAT-V GAUGING WEIRS AND IBERIAN MIGRATORY FISHES: PROBLEMS AND SOLUTIONS

ABSTRACT Flat-V gauging weirs are small structures (currently 0.5-1 m) which have a triangular longitudinal profile and a crest in the form of shallow “V”. The main advantage over other gauging systems is the accuracy offered to low flows. However, the hydraulic precision contrasts with the environmental impact they cause: the vast majority of the Iberian migratory fish species can't pass these obstacles. This is due to the high current velocity on the downstream face during high and medium flows (up to 3.7 m/s and over) and shallow depth (normally between 0.05-0.25 m depending on flow magnitude and distance from the crest) that limits the swimming ability of fishes. This article aims to analyse the problem and proposes solutions based on own experiences and literature reviews.

Palabras clave: V-flat, Estaciones de aforo, Migración piscícola, Peces ibéricos.

Keywords: Flat-V, Gauging weirs, Fish migration, Iberian fishes.

1. INTRODUCCIÓN

Las estaciones de aforo V-flat consisten en un pequeño azud dentro del cauce del río, con cresta en forma de “V-tendida” (V-flat), que provoca un vertido crítico ($Fr=1$), sencillo de medir en cualquier situación (figura 1). La principal ventaja de esta estructura, frente a otros sistemas de medición continua de ríos, es que permite mediciones precisas también para caudales bajos, por lo que su empleo se ha ido generalizando y se ha convertido en uno de los sistemas de aforo más valorados por los expertos (White & Woods-Ballard, 2003).

Este sistema de aforos es empleado con frecuencia, en nuestro país, por las Demarcaciones Hidrográficas del Miño-

Limia, Cantábrico, Cuencas Internas del País Vasco, Duero y Tajo. De hecho, prácticamente todas las cuencas cuentan con alguna estación V-flat.

Sin embargo, estas estructuras pueden suponer un serio problema ambiental al impedir el tránsito de la fauna piscícola del río donde se instalan. Muchos de los peces ibéricos realizan migraciones reproductoras o de otra índole (búsqueda de alimento, de refugio, de territorios propios, etc.) a lo largo de los ríos. Cuando se encuentran un obstáculo en el cauce que no pueden superar, las poblaciones ven mermada su potencialidad biológica (al no poderse reproducir en las zonas adecuadas, al no existir intercambio genético, al no poder colonizar nuevos territorios,...).

La ictiodiversidad en la Península Ibérica no es muy abundante (71 especies autóctonas y 28 introducidas) si la comparamos con los países del centro y norte de Europa (Kottelat & Freyhof, 2007). Sin embargo, el número de géneros y especies endémicas es relativamente alto –40 especies– debido a las características hidrológicas de nuestros ríos (fluctuaciones estacionales de refugio) y al aislamiento geográfico que han supuesto los Pirineos (Doadrio, 1988; Elvira, 1990). El 65% de

(*) Profesores. Doctores Ingenieros de Montes. Dpto. Ingeniería Agrícola y Forestal, E.T.S.II.AA. de Palencia, Univ. de Valladolid. Avda. de Madrid, 44. 34004 Palencia.

(**) Becario. Ingeniero Forestal. Dpto. Ingeniería Agrícola y Forestal, E.T.S.II.AA. de Palencia, Univ. de Valladolid. Avda. de Madrid, 44. 34004 Palencia.

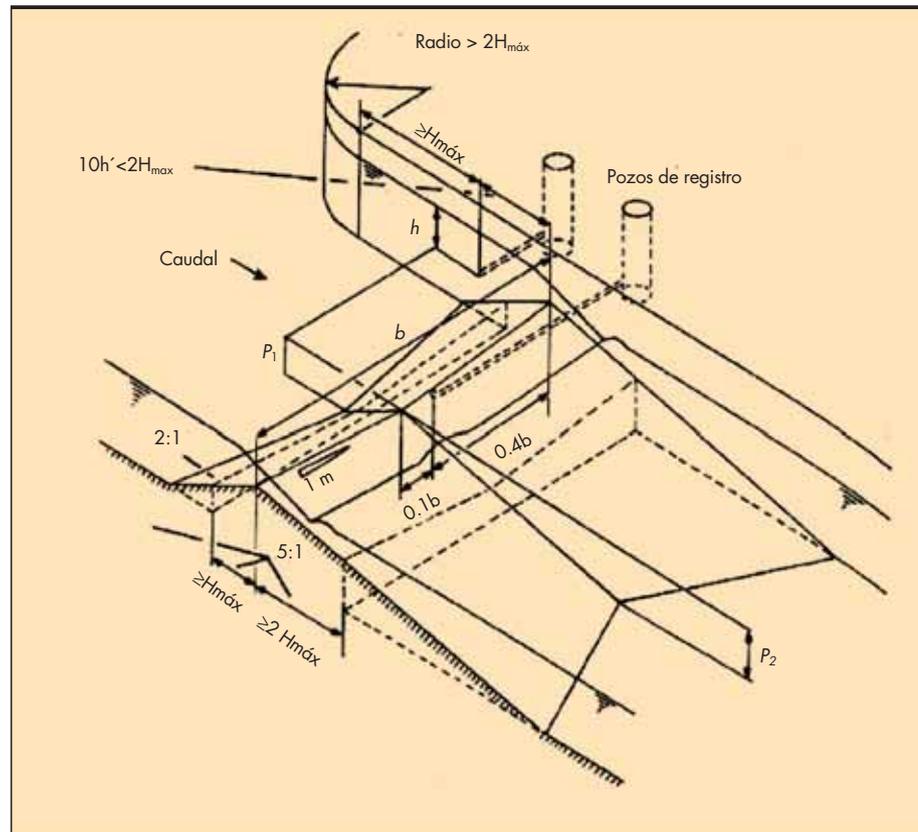


FIGURA 1. Estación de aforos de tipo V-flat.

las especies oriundas realizan movimientos migratorios de mayor (cientos de km: anguila, salmón, reo, esturión, sábalos, sabogas, lampreas ...) o menor entidad (pocos km: barbos, bogas, cachos, gobios, ...). Este porcentaje aumenta hasta un 80 % en el caso de los endemismos (Sanz Ronda *et al.*, 2007). Debido a las obras transversales en los ríos, las especies migratorias han disminuido su área de distribución (anguila *-Anguilla anguilla-*, sábalos *-Alosa alosa-*, saboga *-Alosa fallax-*), están amenazadas seriamente por los obstáculos (salmón *-Salmo salar-*) y otras ya se dan por desaparecidas (sollo o esturión *-Acipenser sturio-*, lamprea de río *-Lamprologus fluviatilis-*) (Elvira *et al.*, 1998; Martínez de Azagra, 1999; Algarín, 2002).

Históricamente, las estaciones de aforo no han sido consideradas un obstáculo importante a la migración, pues sus primeras tipologías no alteraban el cauce y por tanto, no suponían impedimento alguno para los peces. Los primeros análisis, sobre el problema ambiental que ocasionaban este tipo de presas en la migración de los peces, se remontan a White & Hartley (1970) y Hartley (1974). Ha de transcurrir una década más para que las estaciones de aforo vuelvan a centrar el interés de los ictiólogos. Así, Beach (1984) recoge su importancia como obstáculo para el movimiento de los peces. Posteriormente, Lucas & Frear (1997) realizan el primer estudio poblacional de los efectos de las estaciones de aforo sobre la comunidad piscícola centrándose en ciprínidos. Walters (1996) desarrolla un sistema de paso a través de deflectores adosados en el paramento de aguas abajo *-Hurn baffles-* específico para estaciones V-flat, que funciona en el laboratorio pero que da problemas a escala real. Hoy en día, encontramos diferentes experiencias al respecto relativas todas ellas a autores británicos relacionados con la

Environment Agency: Lucas *et al.* (2000, 2005); Rhodes *et al.* (2001, 2004, 2006), etc.

Beach (1984), White & Woods-Ballard (2003) y Sanz Ronda *et al.*, (2008) enumeran las causas más frecuentes de la problemática suscitada (véase la figura 2), que podemos resumirlas en:

- Velocidades excesivas en el paramento de aguas abajo (3,5–4 m/s) que sólo superan los ejemplares más atléticos de contadas especies de peces.
- Profundidades escasas para la natación con caudales medios y bajos (< 0,1 m).
- Desnivel elevado entre la cota del agua arriba y abajo del aforador (> 0,5 m), lo que imposibilita el salto y aumenta la distancia a recorrer por el paramento.
- Descalce de la estructura aguas abajo, provocado por la erosión del flujo acelerado sobre el cauce (común en pendientes > 1%).
- Escasa profundidad en la losa de aguas abajo (y velocidades fuertes), que dificultan la aproximación al obstáculo –cuando hay descalce–.
- Existencia de fuertes torbellinos a ambos lados del resalto hidráulico formado en la base (cuando la losa no está anegada) o de la inmersión del chorro del agua, es decir: del cachón (si lo está), que provocan turbulencias excesivas y desorientan al pez.

Nuestro trabajo analiza las limitaciones de los peces ibéricos a la migración por este tipo de estaciones de aforo y propone una serie de recomendaciones constructivas de sencilla aplicación para que sean consideradas en el diseño de estas estructuras.



FIGURA 2. Ejemplo de estación de aforos de tipo V-flat donde son patentes muchos de los problemas descritos en el texto (río Carrión en Triollo, Palencia).



FIGURA 3. Medición de la velocidad en una estación de aforos de tipo V-flat con molinete hidráulico.

2. METODOLOGÍA

Para conocer la problemática de este tipo de estación sobre los peces ibéricos nos hemos basado en la aplicación de un modelo biocinético sencillo, para lo cual necesitamos conocer el funcionamiento hidrodinámico de las V-flat y las capacidades natatorias de los peces.

El estudio hidráulico se ha realizado en diferentes estaciones de aforo de la provincia de Palencia (C-1: río Cardaño en Cardaño de Abajo; C-4: río Carrión en Triollo; C-6 río Carrión en Palencia y P-1: río Pisuerga en San Salvador de Cantamuda). Para ello hemos medido in situ las características del flujo (caudal, velocidad, profundidad) sobre el paramento de aguas abajo (figura 3). Los valores más representativos se muestran a continuación (figura 4).

Por otro lado, en el análisis de la velocidad de nado de los peces se han utilizado las curvas genéricas de Beach (1984), basadas en los estudios de Wardle (1975, 1980) y Zhou (1982). También se han examinado otros trabajos que se centran en especies concretas (Clough *et al.*, 2004, Tudorache *et al.*, 2008) o en grupos de especies (Katopodis, 1992). En general, la información para los migradores más conocidos (salmón, trucha, alosas, anguila) ha sido sencilla de conseguir. Sin embargo, existe un vacío bibliográfico sobre las aptitudes natatorias de las especies de peces endémicas de la Península Ibérica, básicamente barbos, bogas y cachos (*Luciobarbus*, *Barbus*, *Parachondrostoma*, *Pseudochondrostoma*, *Squalius*, etc.).

Una vez conocida la velocidad de la corriente sobre la V-flat y las capacidades natatorias de los peces, es posible determinar de manera aproximada la distancia que puede recorrer un pez nadando sobre el paramento de la estación. Dicha distancia viene dada por la siguiente expresión biocinética (Katopodis *et al.*, 1978):

$$D_{pez} = (v_{pez} - u_{agua}) \cdot t$$

Donde v_{pez} y t se corresponden con la velocidad máxima del pez y el tiempo de resistencia a dicha velocidad, respectivamente y u_{agua} con la velocidad de la corriente (véase la figura 5). Hay que considerar que la velocidad del pez disminuye un 30-50% cuando la profundidad del agua es menor que la anchura del cuerpo (Webb *et al.*, 1991). Si D_{pez} es superior a la longitud del paramento (D), el obstáculo es superado. Si D_{pez} es inferior a la longitud del paramento (D), el obstáculo es infranqueable.

Como la simulación anterior sólo puede hacerse en individuos con aptitudes de nado conocidas, se ha completado el trabajo con observaciones directas en diferentes estaciones de aforo y con encuestas a pescadores y vigilantes de pesca. De esta manera, conocemos directamente si los peces consiguen ascender y las especies y tamaños relativos que lo intentan. También efectuamos una pesca eléctrica en el río Cardaño, que desagua en el embalse de Camporredondo (Palencia), para muestrear clases de edad aguas arriba y aguas abajo del obstáculo, situado a escasos metros de la desembocadura. Así, se puede estudiar si los reproductores que habitan el embalse remontan el curso del río y logran frezar encima de la estación de aforos. Por último, se ha realizado una búsqueda bibliográfica donde se documenten experiencias similares sobre la migración en las V-flat.

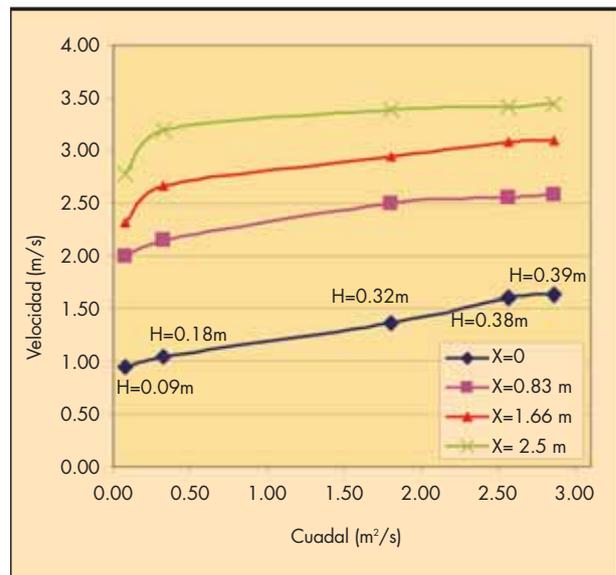


FIGURA 4. Velocidad del flujo en la zona central del paramento de aguas abajo para distintos caudales (0,08 / 0,32 / 1,80 / 2,57 y 2,86 m³/s) a diferentes distancias horizontales desde la cresta (X). H se corresponde con la cota de lámina de agua respecto de la cresta. Estos valores han sido medidos en una estación de 12 m de anchura y 0,5 m de altura de cresta.

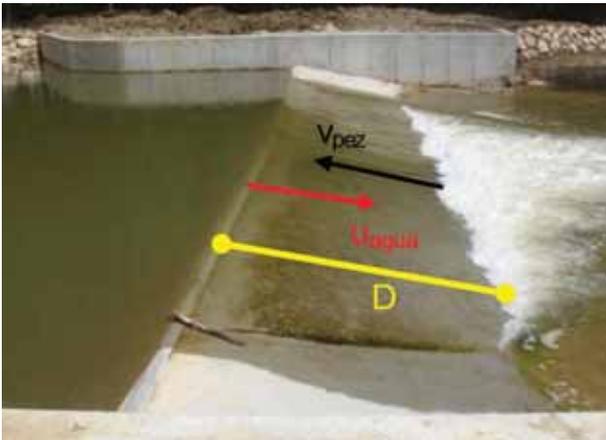


FIGURA 5. Modelo biocinético en una estación de aforos V-flat. La distancia que recorre el pez $-D_{pez}-$ es una función de la velocidad punta del pez $-v_{pez}-$, del tiempo que es capaz de mantenerla $-t-$ y de la velocidad de la corriente $-u_{agua}-$: $D_{pez}=(v_{pez}-u_{agua}) \cdot t$ y ha de ser mayor que D para superar el obstáculo.

3. RESULTADOS Y SOLUCIONES

La aplicación del modelo biocinético, en condiciones de caudal y temperatura de la época migratoria, muestra que si no existe un estanque de descanso ningún pez es capaz de superar un obstáculo V-flat de 0,5 m de altura, puesto que las velocidades en el paramento (2,5- 3 m/s de velocidad media " u_{agua} " y 2,5-3,5 m de longitud " D ") y en la losa (2,5 m/s de velocidad media y 5 m de longitud) son muy elevadas. Por lo tanto, cualquier solución pasa por crear un estanque de descanso aguas abajo (figura 6), que:

- Elimine el efecto agotador de las velocidades en la losa.
- Reduzca la distancia de paramento a recorrer por los peces.
- Disminuya la velocidad media del agua en el paramento, al estar anegadas las zonas de menor cota donde se producen velocidades máximas.
- Rebaje el desnivel entre la cota del agua arriba y abajo del aforador.
- Ahogue el resalto hidráulico, formando un remolino vertical que favorezca la impulsión de los peces y su salto, llegado el caso (esto se mejora mucho con el truncado del paramento, contemplado en la norma ISO 4377:2002, relativa a la medición de caudales en estaciones de aforo tipo V-flat).

Por ejemplo, creando una estructura aguas abajo que alcance un nivel equivalente a la mitad de la altura de la cresta, la distancia a recorrer sobre el paramento se reduce un 50% y la velocidad media disminuye un 25% (Sanz Ronda, et al., 2008). En estas circunstancias es posible la ascensión

de la gran mayoría de los individuos reproductores de trucha ($l > 0,2$ m), de alosas y de todos los salmones. Para ello, la profundidad del agua en la cresta ha de ser superior a 0,15 m y sobre el paramento mayor de 0,1 m, evitando que los peces den coletazos en el aire. En el caso de anguilas y lampreas, peores nadadoras que las especies anteriores, la ascensión no se consigue luchando contra la corriente, sino que escalan o reptan por los bordes del agua (frontera entre el agua y el hormigón) cuando los caudales son bajos (la lámina de agua no inunda la totalidad de la sección transversal del azud).

Para la mayoría de especies migradoras ibéricas no existe información que permita aplicar el modelo biocinético, por lo que hemos realizado observaciones directas y encuestas a pescadores y vigilantes de pesca. De ellas se desprende que algunos individuos de talla superior a 0,4 m del género *Luciobarbus* (barbos) son capaces de superar estas estructuras nadando contra la corriente, en estaciones donde la losa de aguas abajo estaba inundada. Al contrario ocurre con individuos más pequeños y con el género *Pseudochondrostoma* (bogas).

En las encuestas realizadas en coordinación con el Servicio de Pesca de León durante 2008, observamos que de las seis estaciones V-flat analizadas, cinco han impedido el remonte de la trucha autóctona. Cuando esto sucede, los peces adultos se ven obligados a frezar en lugares poco adecuados y el éxito reproductor se ve mermado o anulado.

También se ha constatado que los ejemplares hembra de trucha, justo antes de la freza, están más limitados en su ascensión por la profundidad del agua en el paramento, existiendo una selección en función de las condiciones hidrológicas del año. Este hecho también ha sido comentado por Lucas & Frear (1997) en *Barbus barbus*. En algunas ocasiones, hemos observado a pequeños ejemplares de peces, únicamente gobios (*Gobio lozanoi*), ascender por el obstáculo nadando cerca de la orilla existente entre el agua y el paramento, haciendo pequeños descansos apoyándose con las aletas pectorales y retomando su nado (figura 7). Sólo unos pocos lo consiguen de los muchos que lo intentan en su afán reproductor.

En la misma línea, a partir de un muestreo de pesca eléctrica que realizamos en mayo de 2008 aguas arriba y abajo de una estación de aforos V-flat en el río Cardaño (montaña palentina, próxima al embalse de Camporredondo), hemos podido concluir que desde la ejecución de la obra no han acontecido frezas importantes de trucha aguas arriba. Además, la productividad piscícola global se ha visto muy afectada, pues las truchas remontan el río desde el embalse para reproducirse y esta migración queda impedida por el aforador.

Analizando trabajos de temática similar, encontramos un estudio interesante de Lucas & Frear (1997) donde se indica que el 40% de un grupo de ejemplares de *Barbus barbus* entre 1,16 y 3,21 kg de peso eran capaces de superar una V-flat de 0,4 m de altura de cresta. En un trabajo posterior, Lucas & Bubb (2005) indican que el 84% de un grupo de truchas de tamaño comprendido entre 0,18 y 0,28 m remontaban una V-flat de 0,5 m de altura.

FIGURA 6. Esquema de paramento truncado y estanque de descanso, señalando el remolino favorable para el ascenso de los peces.

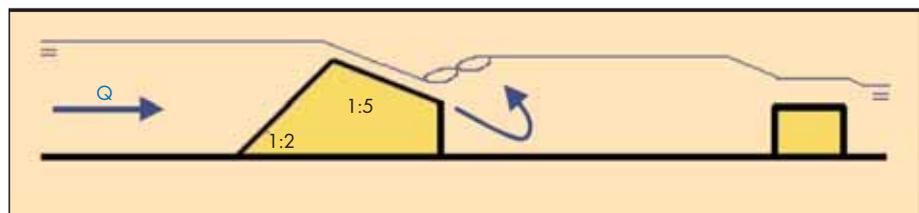




FIGURA 7. Gobio (*Gobio lozano*) intentando ascender por una V-flat en la frontera del agua con el hormigón, descansando sobre sus aletas pectorales.

En vista de los datos y experiencias anteriores, podemos indicar una serie de criterios de diseño imprescindibles (los cinco primeros) y muy aconsejables (los cinco restantes) para compaginar las estaciones de aforo V-flat con la migración de la ictiofauna. Todos los valores están referidos a condiciones de caudal durante la época de migración de las especies de peces existentes en el río (pues el diseño y dimensionado de una estación de aforos debe contemplar esta importante situación de referencia):

1. El desnivel máximo entre la cresta de la V-flat y la cota de lámina de agua a pie de obra no debe superar los 0,30 m (JNHFGP, 2001).
2. La profundidad en el estanque de aguas abajo (o sobre la losa, en caso de no existir éste) ha de ser mayor a 0,30 m (JNHFGP, 2001) o a 1,25 veces el desnivel máximo (Gallagher, 1999).
3. El calado en el paramento de aguas abajo de la V-flat ha de ser superior a 0,10 m y ha de superar los 0,15 m sobre la cresta (Sanz Ronda *et al.*, 2008).
4. La velocidad máxima en el paramento de aguas abajo debe ser inferior a 3-3,5 m/s (Beach, 1984).
5. La potencia por unidad de volumen que ha de disiparse aguas abajo de la estación de aforo Vflat conviene que sea inferior a 200 W/m³ para los salmónidos y de 150 W/m³ para el resto de peces (Larinier *et al.*, 2002), dato que sirve para dimensionar el estanque al

pie del aforador. Cuando no fuera posible, habrá de reducirse al máximo su valor.

6. La velocidad media en el estanque de aguas abajo (o sobre la losa, en caso de no existir éste) no ha de superar los 0,7 m/s para salmónidos y los 0,3 m/s para ciprínidos (JNHFGP, 2001).
7. La sección de control hidráulico del estanque de aguas abajo –natural o artificial– ha de situarse a más de 3 m desde la base de la estación de aforo (JNHFGP, 2001).
8. El cachón (ondas producidas por la inmersión del chorro en el estanque) debe formarse sobre el paramento de aguas abajo, no sobre la losa o el estanque (Beach, 1984).
9. La zona de aguas turbulentas que forma el cachón ha de ser menor a 1/3 de la altura total del obstáculo (Gallagher, 1999).
10. Resulta preferible truncar el paramento de aguas abajo para que el remolino del chorro favorezca la ascensión de los peces (Beach, 1984) y para que la potencia hidráulica disipada por unidad de volumen sea menor (Sanz Ronda *et al.*, 2008). En cualquier caso, el truncado siempre ha de quedar bajo el nivel de agua (figura 8).

En cualquier caso, el pez debe ser capaz de nadar frente a la corriente del paramento de aguas abajo la distancia que lo separa desde el cachón hasta la cresta de la V-flat (modelo biocinético comentado con antelación).

Todos estos criterios son sencillos de respetar, incluso una vez ejecutada la estación de aforos. Si la estructura ya ha sufrido un descalce (figura 2), junto con los criterios anteriores, hay que conseguir que los peces alcancen la losa y el estanque de descanso. Para ello, las alternativas pasan por la construcción de una “rampa de piedras” para desniveles pequeños (0,5 m) o de “prepresas” para alturas mayores. La figura 8 describe una solución propuesta en una estación de aforos de 12 m de anchura, 0,5 m de altura de cresta y 1 m de descalce entre la lámina de agua de la losa y del río. Consiste en la construcción de 3 “prepresas” de escollera con hormigón, la fijación de bloques de piedra embebidos en hormigón en la losa (para favorecer el descanso de los peces) y en el truncado del paramento de aguas abajo de la estación de aforos, según la norma ISO. El presupuesto de ejecución material de todo ello ronda los 21.000 €.

A la hora de seleccionar el tipo de vertedero de las prepresas hay que considerar los siguientes objetivos:

- Que no inunde la cresta de la V-flat para flujos ordinarios.
- Que concentre el agua en caudales bajos.



FIGURA 8. Izquierda: modelo reducido en el que se observa un salto en el truncado y el resalto tras el paramento de aguas abajo. Derecha: paramento con el truncado anegado y el cachón formado sobre éste (situación preferible para los peces).

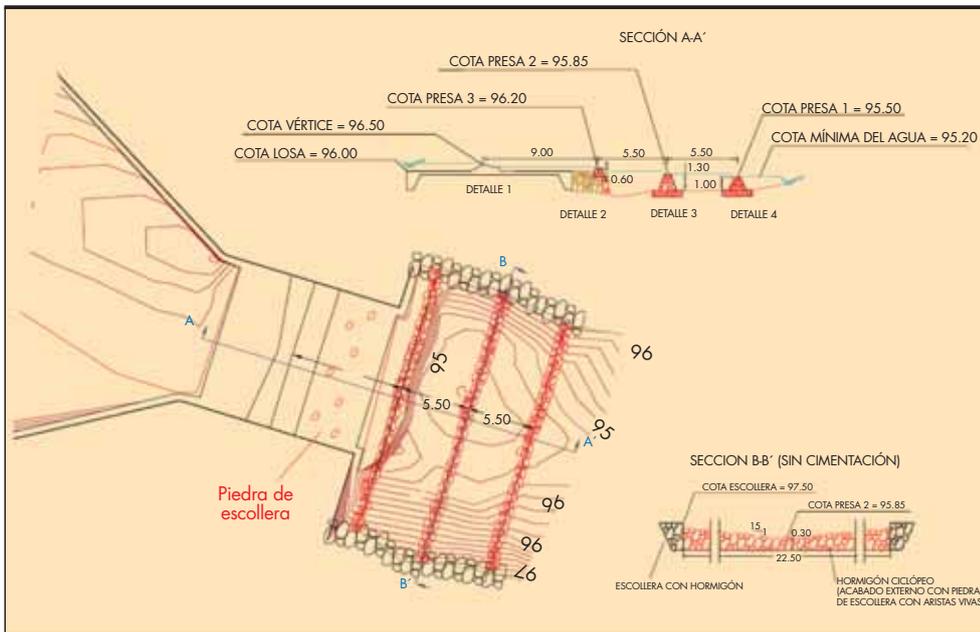


FIGURA 9. Solución propuesta para la estación de aforos de Cardaño de Abajo (río Cardaño, Palencia).

- Que en la curva de gasto, el cociente entre el caudal $-Q-$ y la carga de vertido $-H-$ (figura 10) sea ligeramente superior al existente en la V-flat. De esta manera, el desnivel entre la lámina de agua arriba y abajo de la estación no aumenta con el caudal y así no se incrementa la energía disipada en las presas.
- Que la carga de vertido para los caudales de los meses de migración sea superior a 0,15 m.

Del análisis de diferentes morfologías de vertedero (figura 10), se ha concluido que el que mejor responde a los objetivos fijados es un vertedero triangular de pendiente 15H:1V.

Si la estación de aforos no cuenta con un limnógrafo aguas abajo, la medición del caudal se ve alterada por las presas para caudales altos (vertido anegado), una vez cada 10-20 años, según los casos (régimen hídrico, estructura del estanque de descanso). De todos modos, resulta sencillo calibrar una nueva curva, con lo que puede disminuirse ese pequeño desajuste fácilmente (figura 11).

La solución de las presas resulta eficaz para la migración de los peces, a la vez que no merma ni la precisión ni el rango de caudales que pueden medirse en el aforador. Pero para ello, estas estructuras han de estar a distancias adecuadas -en función de la potencia disipada por unidad de volu-

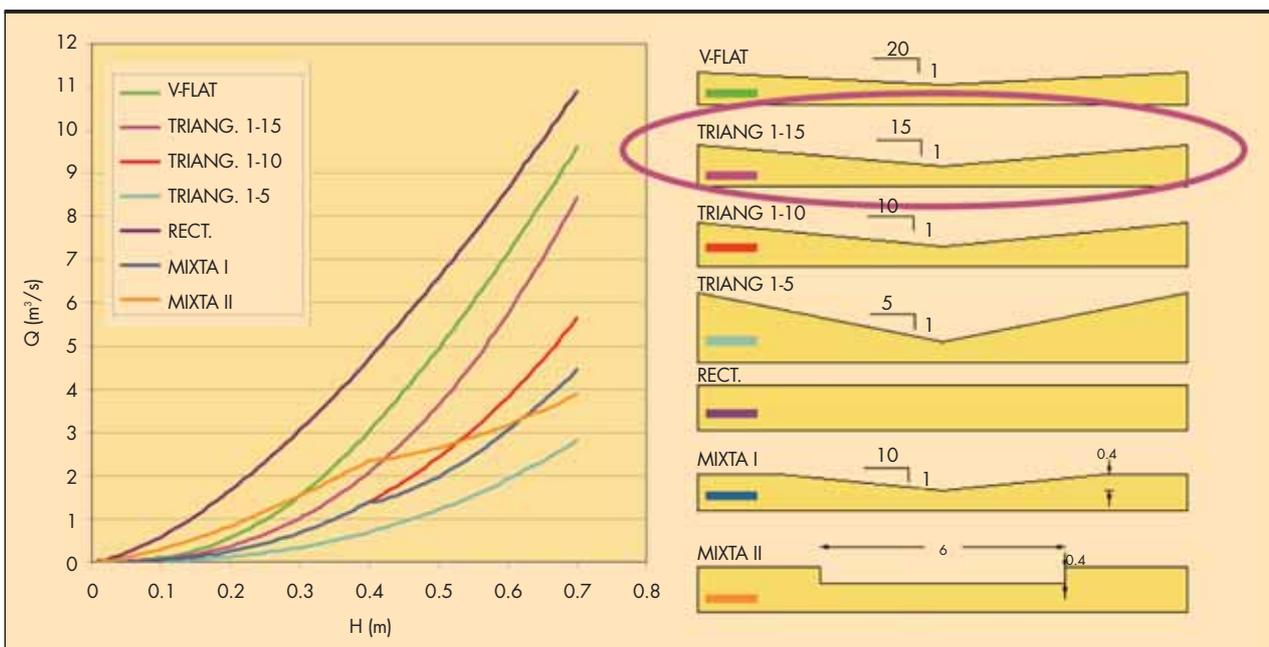


FIGURA 10. Curvas de gasto de los diferentes vertederos barajados para las presas, en la estación de aforos de Cardaño de Abajo (río Cardaño, Palencia).

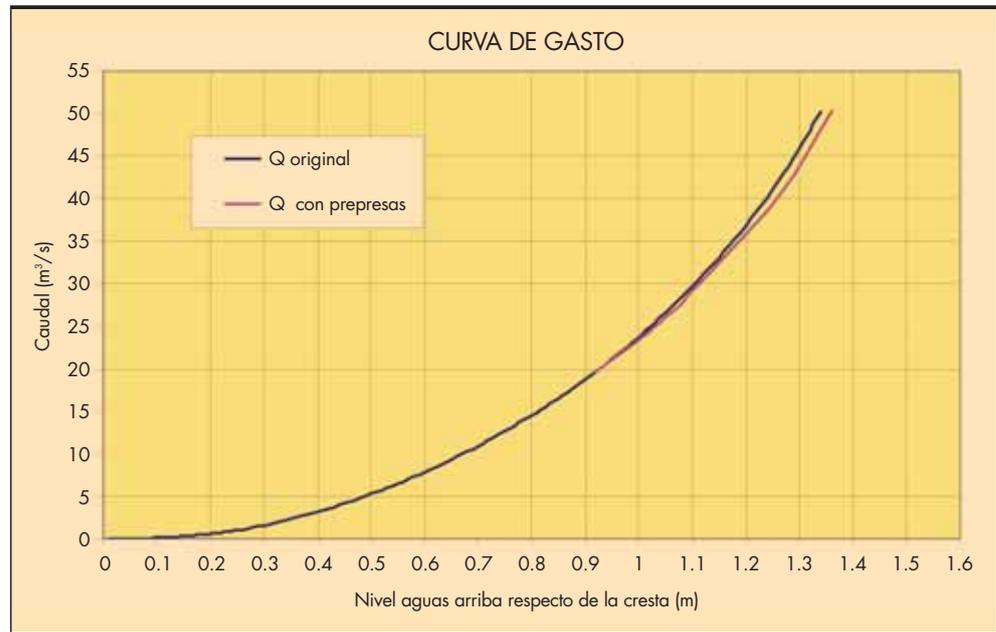


FIGURA 11. Curvas de gasto de la estación de aforos de Cardaño de Abajo (río Cardaño, Palencia) actualmente –azul– y con la modificación propuesta –rosa–.

men acorde a las especies migradoras– y deben poseer un vertedero bien proyectado, ejecutado y calado al centímetro.

Las Demarcaciones Hidrográficas han optado por soluciones diferentes (figura 12) cuando se han presentado problemas serios de dificultad en el remonte: cambio del modelo de estación de aforo (Duero, Cantábrico), instalación de defletores

(Tajo, Duero), creación de estanques de descanso de diversa índole (País Vasco, Miño-Limia). En cualquier caso, la viabilidad de estas soluciones en cuanto a la migración de peces está todavía por evaluar y en algunos casos, como con los deflectores, se altera la curva de gasto de la norma ISO (Walters, 1996; Rhodes & Servais, 2004).

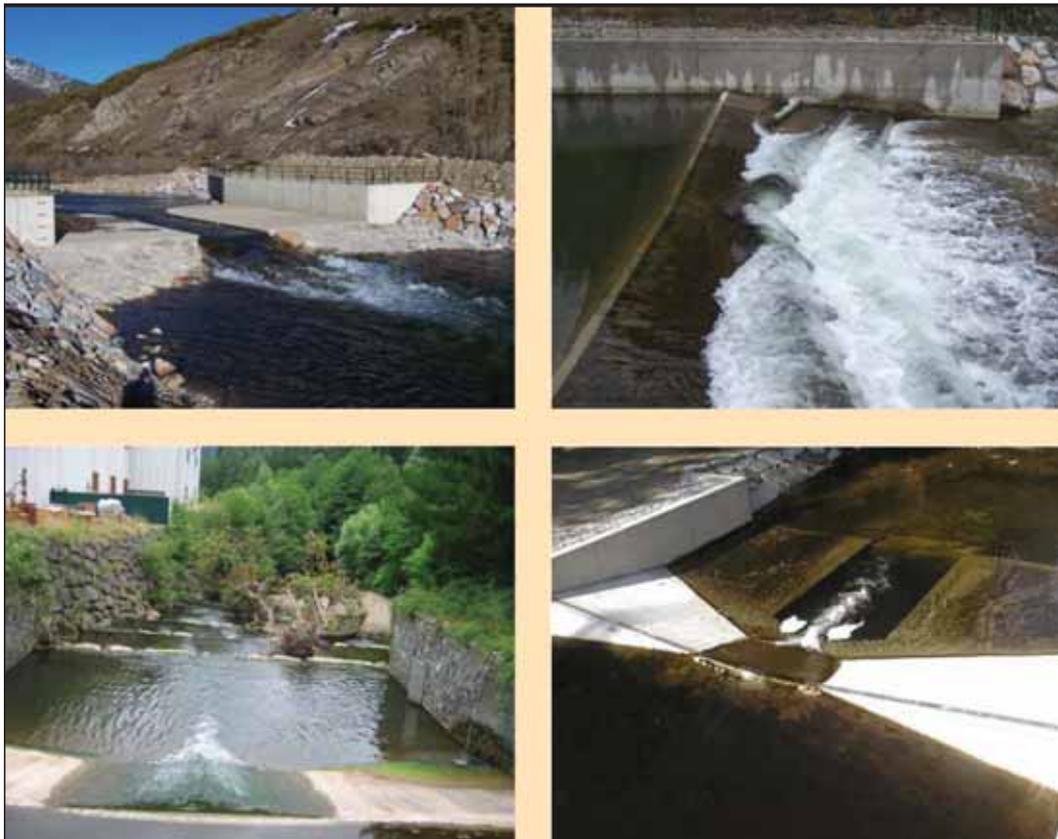


FIGURA 12. Arriba, izquierda: cambio de modelo de estación en el río Carrión, en Triollo (Palencia). Arriba, derecha: deflectores en el paramento de aguas abajo, en el río Carrión en Guardo (Palencia). Abajo, izquierda: conjunto de presapas en la zona de aguas abajo en el río Oñati (Guipúzcoa). Abajo, derecha: estanque excavado en la losa de aguas abajo, en el río Azumara en Beguntillo (Lugo).



FIGURA 13. Modelo reducido de estación de aforos construido para evaluar la capacidad natatoria de los peces ibéricos.

Actualmente, nuestro grupo de trabajo, se centra en investigar las aptitudes natatorias de peces ibéricos sobre un modelo reducido de estación de aforos (figura 13). Con todas las experiencias acumuladas, esperamos que en breve los resultados obtenidos permitan el desarrollo de estaciones de aforo plenamente compatibles con la migración de toda nuestra sufrida ictiofauna.

4. CONCLUSIONES

Las estaciones de aforo V-flat suponen un importante problema para la mayoría de los peces ibéricos, pues éstos necesitan realizar migraciones a lo largo de su vida. Para las especies que realizan movimientos migratorios de gran envergadura y que son buenos nadadores (salmón, trucha, alosas), asegurando un estanque de permanencia aguas abajo y un calado mínimo, se consigue el remonte de casi todos los individuos. En el caso de los ciprínidos de mayor tamaño (barbos: *Luciobarbus*, *Barbus*), algunos de los ejemplares de gran talla consiguen el remonte en las mismas condiciones que las especies anteriores. Es de suponer que los barbos más pequeños y otros géneros de menor tamaño (bogas, loinas y cachos: *Parachondrostoma*, *Iberochondrostoma*, *Pseudochondrostoma*, *Squalius*, etc.) tengan más problemas para sortear el obstáculo, aunque hacen falta estudios concretos para conocer la situación real. En general, los ciprínidos se ven muy afectados con las aguas turbulentas, desorientándose al acometer el obstáculo, circunstancia que no afecta a los salmónidos (Larrier *et al.*, 2002).

En el caso de anguilas y lampreas, el ascenso lo consiguen cuando el vertido sobre la estación no abarca la "V" en su totalidad, reptando y escalando por el borde del agua. Lo mismo puede ocurrir con especies de pequeño tamaño como el gobio.

En definitiva, hoy en día es posible mitigar en gran medida los efectos perjudiciales de las estaciones de aforo V-flat siguiendo las recomendaciones indicadas en párrafos precedentes, aunque todavía se hacen necesarios estudios concretos más precisos para muchas de nuestras valiosas especies de peces, pues sus aptitudes natatorias se desconocen.

5. AGRADECIMIENTOS

A Greg Armstrong de la Agencia Medioambiental británica, que orientó a los autores en la realización de este trabajo. A Pedro Matía, José Manuel Lorente -CHD-, Jesús Larrea

-UTE Cuenca Duero- y *Qualitas Instruments*, que han apoyado este proyecto. Al Servicio de Pesca de León y todos los pescadores y vigilantes de pesca que colaboraron con nosotros. A todos ellos, va nuestro más sincero agradecimiento.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Algarín, S. 2002. *La historia última de los esturiones del Guadalquivir*. Azotea, 13-14: 19-88.
- Beach, M. H. 1984. *Fish pass design criteria for the design and approval of fish passes and other structures to facilitate the passage of migratory fish in rivers*. MAFF Fisheries Technical Report, 78.
- Clough, S.C., Lee-Elliott, I.E., Turnpenny, A.W.H., Holden, S.D.J. & Hinks, C. 2004. *Swimming speeds in fish: phase 2*. Environment Agency, Technical Report: W2-049/TR1.
- Doadrio, I. 1988. *Delimitation of areas in the Iberian Peninsula on the basis of freshwater fishes*. Bonner Zoologische Beiträge 39: 113-128.
- Elvira, B. 1990. *Iberian endemic freshwater fishes and their conservation status in Spain*. Journal of Fish Biology, 37 (A): 231-232.
- Elvira, B., Nicola, G.G. & Almodovar, A. 1998. *Sistemas de paso para peces en presas*. Ed. CEDEX. Madrid. 113 pp.
- Gallagher, A. S. 1999. *Barriers*. In Bain, M. B. and N. J. Stevenson, eds. *Aquatic habitat assessment: Common methods*, 135-147. American Fisheries Society, Bethesda, MD.
- Hartley. 1974. *Electronic methods (Automatic counters)*. Symposium on Methodology for the Survey, Monitoring and Appraisal of Fishery Resources in Lakes and Large Rivers. Aviemore Scotland, 2-4 May 1974. EIFAC Technical Paper No. 23.
- JNHFPG. 2001. *Joint National Hydrometry and Fish Pass Group. Guidance on the design and construction of Crump and Flat-V gauging weirs in relation to fish passage*. Environment Agency Memo.
- Katopodis, C., Robinson, P.R. & Sutherland, B.G. 1978. *A study of model and prototype culvert baffling for fish passage*. Can. Fish. Mar. Serv. Tech. Rep. 828: v + 78 p.
- Katopodis, C. 1992. *Introduction to fishway design*. Freshwater Institute, Dept. of Fisheries and Oceans, Winnipeg, Canadá.
- Kottelat, M. & Freyhof, J. 2007. *Handbook of European freshwater fishes*. Ed. Kottelat. Suiza. 646 pp.
- Larrier, M., Travade, F., & Porcher, J. 2002. *Pool fishways, pre-barrages and natural bypass channels*. In Bunch F. & Fournier M.S., editors, *Fishways: biological basis, design criteria and monitoring*, volume Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, No 364 supplement: 54-82.
- Lucas, M.C. & Frear, P.A. 1997. *Effects of a flow-gauging weir on the migratory behaviour of adult barbel, a riverine cyprinid*. Journal of Fish Biology, 50: 382-396.
- Lucas, M.C. & Baras, E. 2000. *Methods for studying spatial behaviour of freshwater fishes in the natural environment*. Fish and Fisheries, 1: 283-316.
- Lucas, M.C. & Bubb, D.H. 2005. *Seasonal movements and habitat use of grayling in the UK*. Environment agency, Science Report : SC030210/SR.
- Martínez de Azagra, A. 1999. *Diseño de escalas para peces*. Universidad de Valladolid. E.T.S. de Ingenierías Agrarias de Palencia.
- Rhodes, D. 2001. *Low cost modifications to the Crump weir in order to facilitate fish passage*. Case for Support to EPSRC.

Rhodes, D. & Servais, S. 2004. *Hydrometric effect of fish pass modifications to the Crump weir*. In García J.L. & Martínez P.V., editors, Fifth International Symposium on Ecohydraulics. Aquatic Habitats : Analysis and Restoration, II : 969-972, Madrid.

Rhodes, D. & Servais, S. 2006. *Guidelines: Low cost modifications to the Crump weir to improve fish passage*. Technical Report, Draft Document to be presented to the Environment Agency.

Sanz Ronda, F. J.; Navarro, J.; Saiz Rojo, A. & Martínez de Azagra, A. 2007. *Soluciones al problema de la migración de los peces*. Infonáyade, 65: 16-19.

Sanz Ronda, F.J., Bravo Córdoba, F.J., Martínez de Azagra, A., Navarro Hevia, J. & Saiz Rojo, A. 2008. *Estudio para la adaptación a la migración de la ictiofauna de las estaciones de aforo V-Flat: Fase I*. Informe técnico. Universidad de Valladolid. E.T.S. de Ingenierías Agrarias de Palencia.

Tudorache C., Viaene P., Blusa R, Vereeck H. & De Boeck, G. 2008. *A comparison of swimming capacity and energy use in seven European freshwater fish species*. Ecology of freshwater Fish, 17: 284-291.

Walters, G. 1996. *Hydraulic model tests on the proposed fish pass structure for Hurn Gauging Weir, Dorset*. Technical report, Exeter Enterprises, Exeter.

Wardle C. S. 1975. *Limit of fish swimming speed*. Nature, 255: 725-727.

Wardle, C. S. 1980. *Effects of temperature on the maximum swimming speed of fishes*. Environmental Physiology of Fishes. NATO Advanced Study Institute Series (A),35: 519-531.

Webb, P.W., D. Sims & W.W. Schultz. 1991. *The effects of an air/water surface on the faststart performance of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss)*. Journal Experimental Biology, 155 : 219-226.

White, W. & Hartley, W. 1970. *Experiments to compare the passage of fish over two triangular profile flat-vee weirs*. Environment Agency, technical Report INT 67.

White, W.R. & Woods-Ballard, B.A. 2003. *The investigation and specification of flow measurement structure design features that aid the migration of fish without significantly compromising flow measurement accuracy, with the potential to influence the production of suitable British Standards*. Environment Agency, Technical Report: W6-084/TR1.

Zhou, Y. 1982. *The swimming behaviour of fish in towed gears: a re-examination of the principles*. Scottish Fisheries Working Paper, Department of Agriculture and Fisheries, Scotland.



- Electrificación
- Subestaciones
- Iluminación
- Ventilación
- Control
- Comunicaciones
- Mantenimiento

**Cobra en el Metro de Madrid,
una historia de éxito
compartida**



Creemos junto a nuestros Clientes

C/ Cardenal Marcelo Spínola, 10

28016- Madrid

central@grupocobra.com

Universidades participantes:



El curso está dividido en dos periodos: uno de docencia y otro de prácticas.
El primero tiene una duración de seis meses (dos trimestres) y el segundo de cinco meses.

El primer trimestre de docencia, de septiembre a diciembre, se imparte en la Universidad de Cantabria y el segundo trimestre de docencia se imparte en la universidad danesa de VIA University College, en la ciudad de Horsens. Dadas las características del programa, las clases, trabajos y exámenes son en inglés.

Las prácticas y el proyecto final de máster del segundo semestre pueden realizarse en cualquiera de las universidades y/o empresas patrocinadoras, dependiendo de la elección del alumno y la disponibilidad de las empresas.

Los módulos del curso 2010/2011 son los siguientes:

A) Periodo de docencia (primer semestre, dos trimestres)

- Group Project
- Design and Sustainability
- Construction and Procurement
- Management Systems
- Research Methods

B) Periodo de prácticas (segundo semestre)

- Practice
- Final Dissertation

*The European Construction
Master Agency*



MASTER EUROPEO en de la INGENIERIA CONSTRUCCION

Programa Oficial de Postgrado de la Universidad de Cantabria

Entidades Colaboradoras:



THE EUROPEAN CONSTRUCTION MASTER AGENCY- UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Avda. de los Castros s/ n, 39005 Santander . Tel: +34 942 20 67 52
e-mail: Msc.Santander@unican.es / web: www.msc-construction.com

Estado de conservación de la vegetación dunar en las costas de la Comunidad Valenciana

B. ALBERTOS (*), E. SAN MIGUEL (*), I. DRAPER (**), R. GARILLETI (*), F. LARA (**) y J. M. VARELA (***)

RESUMEN Dentro del estudio de las formaciones vegetales de las dunas costeras de la Comunidad Valenciana, ha sido evaluado el estado de conservación de las playas del territorio. La valoración se basa en criterios de extensión de las dunas, estructura de las comunidades, diversidad de las mismas, grado de ruderalización, presencia de especies invasoras y rareza florística, integrados en una escala cualitativa. Se analizan también las principales agresiones que afectan a los ecosistemas dunares y la situación de las principales plantas invasoras del territorio.

CONSERVATION OF SAND DUNE VEGETATION IN COASTAL AREAS OF THE VALENCIAN REGION (SPAIN)

ABSTRACT *The state of conservation of the coastal dune vegetation in Valencia region has been assessed within a survey of the vegetal communities present in these systems. The conservation status has been evaluated through a qualitative scale, which integrates criteria such as dune extension, structure and diversity of the vegetal communities, level of ruderalization, presence of invasive species, and floristic rarity. Special attention has been paid to the usual aggressions to this type of ecosystem and the situation of the most aggressive invasive plants.*

Palabras clave: Vegetación dunar, Conservación, Comunidad Valenciana, Plantas invasoras.

Keywords: Dune vegetation, Conservation, Valencian Region, Invasive plants.

1. INTRODUCCIÓN

Los ambientes dunares están sometidos a agentes físicos y químicos muy severos que condicionan una vegetación con estructura y composición diferentes de la que se encuentra en las formaciones vegetales climatófilas de los mismos territorios y los convierten en ecosistemas singulares de gran valor faunístico y florístico. Son, además, ambientes muy utilizados por el hombre y, por tanto, sometidos a graves amenazas directas e indirectas. La conciliación del uso y la conservación de estos ambientes pasan necesariamente por la evaluación del estado de conservación de las comunidades dunares existentes y la identificación de las amenazas que sobre ellas se ciernen. Este proceso es vital para la conservación, tanto de un valioso patrimonio natural, como de un elemento clave en la geodinámica del territorio, como de uno de los mayores reclamos turísticos del país.

La vegetación dunar de la Comunidad Valenciana ha sido recientemente estudiada por la Universidad de Valencia y el CEDEX gracias a un convenio de colaboración, como parte de un proyecto de estudio de las costas mediterráneas españolas y por encargo de la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar. Ello ha permitido la recogida de datos de manera sistemática y homogénea en un territorio extenso. Este tipo de estudios a mediana escala son esenciales para poder interpretar correctamente la situación presente y asentar criterios para una valoración coherente de otros territorios.

En el caso concreto de la Comunidad Valenciana, se combinan varias situaciones que hacen de su territorio un ámbito especialmente interesante para un estudio piloto: posee una gran extensión de dunas, algunas de las más importantes del país, su uso es muy intenso y el estado de conservación muy variable. Además de las afecciones directas sobre las dunas, derivadas del uso del espacio, numerosas infraestructuras provocan alteraciones en la deriva de los sedimentos y tienen como consecuencia indirecta un claro retroceso en la línea de costa.

2. CARACTERÍSTICAS DE LA VEGETACIÓN DUNAR

Los sistemas dunares están formados por sedimentos arenosos de origen fluvial que son depositados en el litoral por efecto del oleaje marino. El aporte de sedimentos que habitualmente alimenta las dunas se interrumpe durante los tem-

(*) Universidad de Valencia. Dep. de Botánica. Fac. de Farmacia. Av. Vicente Andrés Estellés s/n. 46100 Burjassot, Valencia.

(**) Universidad Autónoma de Madrid. Dep. de Biología (Botánica). Av. Darwin, 2. 28049 Madrid.

(***) Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). C/ Alfonso XII, 3 y 5. 28014 Madrid.



FIGURA 1. Dunas móviles y semifijas en la playa de Canet (Valencia).

porales, ya que el oleaje provoca una fuerte erosión que retira la arena previamente depositada. La cantidad de sedimentos depositados por los ríos, el régimen de vientos, tormentas y corrientes y la geomorfología de la costa condicionan el aspecto de cada sistema dunar: su potencia y anchura, su orografía y la transición abrupta o gradual entre las bandas de vegetación. El balance entre la deposición de estos sedimentos fluviales y la erosión de las tormentas determina la estabilidad de la línea de costa.

Una vez depositada en la playa, la arena sufre la acción eólica que la arrastra tierra adentro, por lo que constituye un sustrato muy móvil. Sobre él la vegetación se va asentando en bandas según la tolerancia de las plantas a la movilidad del sustrato, la maresía y el efecto desecante de los vientos. Después de la zona de playa subaérea, normalmente plana, uniforme y apenas colonizada, se disponen las dunas en uno o más cordones dunares de unos pocos metros de altura, separados entre sí por depresiones interdunares. El contacto con la playa puede ser más o menos gradual o a través de una elevación abrupta sobre ésta, provocada por el efecto erosivo de tormentas. Las depresiones interdunares discurren de forma paralela a los cordones y pueden albergar pequeñas zonas húmedas con el nivel freático muy superficial, alimentadas también por la lluvia y por aportes ocasionales de agua marina que penetran por los canales de tormenta que cortan perpendicularmente el primer cordón dunar. Los cordones de dunas posteriores son siempre de mayor antigüedad y grado de cobertura vegetal.

La colonización de los ecosistemas dunares la realizan plantas muy especializadas, por lo que suelen tratarse de ecosistemas de limitada riqueza de especies, sobre todo en la zona más móvil. Abundan las plantas de ciclo breve, capaces de recolonizar periódicamente el espacio tras un episodio de tormenta que destruye la comunidad vegetal. Morfológica y fisiológicamente, las plantas que viven sobre la arena están adaptadas a la acción erosiva de los vientos litorales y a la vida sobre un sustrato móvil. Estas condiciones implican un suelo con nula capacidad de retención hídrica y un contenido

en sales espacial y temporalmente variable, dependiente de la distancia a la orilla y de la frecuencia de lluvias que las lavan. La salinidad de las aguas freáticas, que frecuentemente afloran, también determina la concentración de sales del medio. En general, la adaptación a este tipo de ambiente hace que las plantas de dunas presenten gruesas cutículas, revestimientos céreos o vello de coloración blanquecina, que también contribuyen a suavizar los efectos de la insolación, muy elevada en las dunas debido al alto albedo de la arena. También son habituales las hojas y tallos carnosos para el acúmulo de agua, tejidos de sostén para aguantar el embate del viento, la producción de rizomas y estolones para anclarse en el suelo móvil o raíces profundas para alcanzar el agua subterránea.

La influencia que estos factores tienen sobre la vegetación depende de la distancia a la costa y, en el caso de la disponibilidad hídrica, es también función de la orografía del terreno. Esto provoca la sucesión espacial de diferentes comunidades vegetales, relacionadas entre sí de forma más o menos intensa, pero siempre con diferencias notables en su fisonomía. Sobre las dunas móviles predomina el biotipo herbáceo carnoso, graminoide o incluso bulboso; a medida que el sustrato va siendo fijado por la vegetación, aparecen las pequeñas matas leñosas y los arbustos, hasta llegar a formaciones arborescentes en las dunas estabilizadas.

Sobre las dunas embrionarias y primarias (**dunas móviles**) la colonización vegetal está iniciándose continuamente, por el efecto destructivo de los temporales. Por ello se trata siempre de comunidades abiertas, dominadas por herbáceas gramínoideas o de hoja carnosa: barrón (*Ammophila arenaria*), lastón (*Elymus farctus*), alhelí marino (*Malcolmia littorea*) y oruga de mar (*Cakile maritima*). De manera progresiva o abrupta, según la morfología dunar, estas formaciones van cerrándose en las dunas secundarias (**dunas semifijas**), adoptando un aspecto arbustivo por la incorporación de camefitos, especialmente de cuernecillo de mar (*Lotus creticus*), y más denso y variado por las numerosas plantas psamófilas y nitrófilas que medran en este biotopo, todo ello sin que desaparezcan los colonizadores primarios. La distinción florística entre



FIGURA 2. Mallada con juncal negro en El Saler (Valencia).



FIGURA 3. Corral de pinos en Guardamar del Segura (Alicante).

las comunidades sobre dunas móviles y semifijas es bastante débil, pues se trata más bien de dos estados muy próximos de la sucesión de las comunidades vegetales de los diferentes ambientes dunares. En ocasiones, además, la transición entre ellas se produce de manera muy gradual y con introgresiones de una en otra a través de canales perpendiculares al cordón dunar (caso de muchas dunas alicantinas) que interconectan las dunas móviles con las semifijas. En otras ocasiones, sin embargo, la separación es muy neta y coincide con la cresta del primer cordón dunar (caso de muchas dunas valencianas y castellanenses).

Entre la maquia litoral asentada en las dunas semifijas, ocupando las depresiones interdunares en las que aflora el nivel freático, aparecen comunidades higrófilas y más o menos halófilas (juncales de distintos tipos) llamadas localmente **malladas**. La elevada disponibilidad hídrica de estos enclaves los hace visiblemente diferentes de su entorno, tanto florística, como fisonómicamente.

La progresiva fijación del suelo por la vegetación acaba estabilizando las dunas terciarias (**dunas fijas**) y permite el asentamiento de garrigas o bosquetes esclerófilos. En cualquier caso, las dunas son sistemas activos que se generan continuamente y que avanzan tierra adentro por la acción del viento. Por ello, cuando el volumen de arena del sistema es

suficiente, avanzan de nuevo sobre dunas fijadas y colonizadas por arbustos y los entierran parcialmente, dando lugar así a los **corrales**. Son estructuras masivas en las que las herbáceas y algunas matas crecen al abrigo de las ramas de pinos enanos (*Pinus pinea*, *P. halepensis*), olivillas (*Phillyrea angustifolia*) o lentiscos (*Pistacia lentiscus*). En estas formaciones contactan las comunidades de dunas semifijas con los pinares.

Tras la sucesión de malladas y corrales, generalmente a partir del tercer cordón dunar, se acaban instalando formaciones esclerófilas (actualmente pinares) sobre suelo arenoso pero fijado, de las dunas terciarias. A pesar de la elevada xericidad edáfica, la humedad ambiental de algunos enclaves, como sucede en El Saler, permite el desarrollo de bosques densos, con un estrato lianoide excepcional.

En ocasiones, entre las dunas activas afloran estructuras petrificadas resultantes de la compactación de antiguas dunas (**dunas fósiles**). Estos ambientes no son típicamente sabulícolas, ya que el sustrato no es móvil, pero al encontrarse parcialmente disgregado y rodeado de dunas móviles o semifijas, guarda fuertes relaciones con la vegetación dunar. Las comunidades presentes en ellos son muy variables, a pesar de concentrarse en un tramo poco extenso del litoral, con condiciones climáticas bastante homogéneas.



FIGURA 4. Pinar sobre dunas fijas en La Devesa del Saler (Valencia).

3. ESTUDIO DE LAS COMUNIDADES VEGETALES DUNARES DE LA COMUNIDAD VALENCIANA

Los objetivos básicos del estudio consistieron en el diseño de una metodología de estudio que permitiese abordar una síntesis para la costa mediterránea española, así como la identificación de los tipos de vegetación dunar existentes y sus relaciones evolutivas con otras comunidades. Por último, también se planteó la estimación del estado de conservación de las comunidades vegetales dunares y los criterios para definirlo.

El planteamiento metodológico implica, por un lado, la recogida homogénea de gran cantidad de datos florísticos y descriptivos del ambiente y, por otro lado, supone la interpretación de los mismos en términos fisonómicos y florísticos (bajo los que subyace un criterio ecológico), sin adoptar el esquema fitosociológico sigmatista. Nuestra intención ha sido la de evi-

tar preconcepciones académicas y esquemas rígidos que nos alejen de una visión sintética y flexible de la diversidad de comunidades vegetales y sus relaciones.

Las dunas de la Comunidad Valenciana se han dividido para su estudio en tramos litorales delimitados por los principales cabos, denominados **conjuntos dunares**, de manera que queden englobadas en un mismo conjunto las dunas con continuidad geográfica. Los enclaves estudiados se muestran en la tabla 1 y la figura 10.

Se levantaron inventarios florísticos por cada tipo de formación vegetal distinguible en las bandas de vegetación que se dan en los ecosistemas dunares (dunas móviles, semifijas, fijas, corrales, malladas, fósiles), organizados por estratos (arbóreo, arborescente, arbustivo, herbáceo, lianoide y epifítico). Posteriormente, los inventarios se analizaron para asignar cada uno a un tipo homogéneo de vegetación. Estos tipos se

Prov.	CONJUNTO DUNAR	TESELA	Término Municipal	CoorX	CoorY		
CS	Dunas de Cabo de Irta a Capicorp	Playa de El Cargador	Alcalá de Chivert	31268198	4457989		
	Dunas de Capicorp a Oropesa	Playa de Torre de la Sal	Cabanes	31258489	4446470		
	Dunas de Benicásim a Castellón	Playa de El Serradal	Castellón de la Plana	31246787	4432794		
V/CS	Dunas del Mijares a Sagunto	Playa de El Arenal	Burriana	30751419	4417564		
		Playa de Corinto-Malvarrosa	Sagunto	30740687	4399746		
		Playa de La Almardá	Sagunto	30740274	4398090		
		Playa de Canet	Canet d'en Berenguer	30740000	4395932		
V	Dunas de Valencia a Cullera	Playa de El Saler	Valencia	30730522	4363008		
		Playa de La Devesa	Valencia	30732311	4357657		
		Playa de La Malladeta	Valencia	30733164	4355504		
		Playa de La Punta	Valencia	30733188	4355540		
		Playa de Rey	Sueca	30737183	4347150		
		Playa de Bega de Mar	Sueca	30737238	4346981		
		Playa de Ciudad Luz	Cullera	30739066	4343510		
	Dunas de Cullera a Oliva	Playa de El Dorado-El Brosquil	Cullera	30740209	4332522		
		Playa de El Ahuir	Gandía	30744609	4323258		
		Playa de Piles	Piles	30750729	4314639		
		Playa del l'Aigua Blanca	Oliva	30753441	4311784		
		Playa de l'Aigua Morta	Oliva	30755767	4309643		
		A	Dunas de Alicante a Santa Pola	Playa de El Altet	Elche	30717249	4237958
				Playa de El Carabassí	Elche	30717679	4235053
Dunas de Santa Pola a Torrevieja (Guardamar)	Playa de El Pinet		Elche	30708187	4226146		
	Playa de El Rebollo		Guardamar del Segura	30706903	4222547		
	Playa de El Campo		Guardamar del Segura	30706099	4213831		
Playa de La Mata	Torrevieja	30706104	4210423				

TABLA 1. Relación de conjuntos dunares y playas estudiadas, ordenados de N a S y sus coordenadas UTM.

	ALICANTE		VALENCIA Y CASTELLÓN	
			Valencia centro	Valencia N y S y Castellón
dunas móviles	lastonar		lastonar-barronal con alhelí marino	
dunas semifijas	lastonar con cuernecillo	matorral de siempreviva		lastonar-barronal con cuernecillo y alhelí marino
corrales	pinar arbustivo		lentiscar	
malladas	mallada negra			
	mallada salina			cañaveral
				carrizal
				juncal
dunas fijas	pinar alicantino		pinar valenciano	
dunas fósiles	tomillar			
	jaguarzal			
	maquia de lentisco y acebuche			

TABLA 2. Síntesis de las comunidades dunares en la Comunidad Valenciana.

definieron inicialmente según criterios fisonómicos referidos a la apariencia de la comunidad, debida a los árboles, arbustos o herbáceas preponderantes desde el punto de vista paisajístico. Seguidamente, el análisis de las similitudes y diferencias florísticas –cualitativas y cuantitativas– que se observan de manera estable en las distintas situaciones permite matizar y subdividir esta primera clasificación general. Cuando la complejidad del tipo de formación así lo requiriera, se realizaron análisis estadísticos multivariantes para facilitar la comprensión de las diferencias florísticas. La definición de los subtipos de vegetación resultantes depende, pues, de la aparición diferencial y repetida de un conjunto de especies características que no aparecen (o lo hacen de manera aislada y esporádica) en otros subtipos del mismo grupo de formaciones. Del mismo modo, la denominación de las comunidades se hace, primeramente, atendiendo al criterio fisonómico y luego al florístico o, en los casos en que la distribución geográfica de los subtipos es divergente, citando dicha distribución.

Las diferentes comunidades descritas y su ubicación general en el territorio se presentan de manera sintética en la tabla 2 y se describen en el apéndice I.

4. VALORACIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA VEGETACIÓN DUNAR

El estado de conservación de un ecosistema es un parámetro cualitativo, difícilmente estandarizable. La valoración siempre va a depender de la experiencia del observador, del estado de conservación general del territorio y del número y diversidad de elementos de que disponga para la comparación.

En general, los estados de degradación avanzada y los de desarrollo óptimo son fácilmente identificables, mientras que las situaciones intermedias son las más conflictivas. Para una adecuada valoración es imprescindible contar con un número suficiente de localidades comparables biogeográficamente que representen toda la gama posible de estados de conservación. Sin estudios amplios, no es posible establecer con fiabilidad el punto de desarrollo en el que se encuentra la comunidad, ni tampoco identificar el valor potencial florístico y ecológico que

todavía conserva. Por otro lado, un mismo estado de desarrollo y degradación puede tener una valoración diferente según la conservación general de esos ecosistemas en el territorio estudiado. Un sistema dunar mediocre en términos absolutos, que se encuentre en un largo tramo de costa enormemente degradado, puede requerir una valoración superior a la que recibiría en un área de buena conservación, ya que en el primer caso constituye un reducto de patrimonio natural que no debe perderse, favorece la conectividad entre ecosistemas y funciona como fuente de propágulos en el entorno.

Aunque no puede obviarse la subjetividad de la valoración, no debe entenderse como un proceso arbitrario, sino como la síntesis de muchos parámetros, que conviene analizar cuidadosamente. El parámetro más evidente, en el caso de las dunas, es su **extensión** tierra adentro. Al tratarse de ecosistemas estructurados en bandas, la diversidad de comunidades presentes depende directamente del espacio de que dispongan para su desarrollo. La **estructura** de las comunidades presentes también es muy reveladora del estado de conservación, ya que cada banda de vegetación tiene unos biotipos predominantes (herbáceo en las dunas móviles, pequeñas matas en las semifijas, helófitos en las malladas, arbustivo en corrales y arborescente en las dunas fijas) cuya relevancia se ve alterada por la degradación. Así, el pisoteo provoca una fijación artificial del sustrato y el aumento de caméfitos en las primeras bandas, mientras que la ruderalización y el aclareo hace que sobreabunden las herbáceas en las dunas de más edad. La **diversidad** de comunidades dentro de un sistema dunar suele ser reflejo de su buena estructura. Dentro de cada una de las formaciones vegetales, la diversidad florística, restringida siempre por la especialización que exige el medio, puede ser también signo de buena salud, aunque es necesario establecer si se trata de un aumento en el número de especies típicas de esos ambientes, o si se trata de un aumento en el número de especies generalistas o nitrófilas, en cuyo caso el aumento de diversidad es un resultado de la **ruderalización** del medio. También hemos prestado especial atención a la presencia de **especies invasoras**. Su presencia es de por sí un elemento negativo en la valoración de los ecosistemas, pero además,

suele ocurrir que los ambientes degradados o artificiales son más proclives a la invasión que los que conservan una buena estructura. Por último, la presencia de especies sabulícolas poco habituales, que confieren **rareza** a las comunidades vegetales, aumenta su valor y puede ser criterio suficiente para promover la conservación de sus formaciones.

Durante la fase de muestreo se asignó una valoración provisional de los sistemas dunares y de cada playa estudiada. Una vez analizadas todas las formaciones presentes en los sistemas dunares, se procedió a la revisión caso por caso de las valoraciones. Para ello se combinaron los datos obtenidos en el campo con la revisión mediante fotointerpretación de la superficie ocupada por cada una de las formaciones y con una revisión bibliográfica de las principales alteraciones o usos históricos que han condicionado la estructura actual de cada territorio. El resultado de este análisis permite valorar el estado de conservación general de cada enclave, resaltar las agresiones más graves que amenazan a cada uno de ellos y cotejar si su figura de protección y las actuaciones para su mantenimiento son suficientes o adecuadas para optimizar la viabilidad de sus comunidades vegetales.

La escala de valoración empleada es el resultado de la integración de los parámetros mencionados anteriormente a la vista de la información disponible y la experiencia adquirida. La escala tiene cuatro clases, que se explican a continuación, aunque son posibles valores intermedios:

- A:** El sistema mantiene una *vegetación magníficamente conservada*. Sin que haya de tratarse necesariamente de una manifestación de la comunidad climática, sí ha de estar próxima a ella, manteniendo una estructura y composición florística cercanas al óptimo.
- B:** *Tramo con una degradación media*. Las formaciones presentes corresponden, como máximo, a las primeras etapas de degradación (formaciones bien estructuradas pero pobres en especies acompañantes exigentes). Con una cobertura continua, su composición florística está desvirtuada, como ocurre, por ejemplo, cuando hay un pisoteo excesivo.
- C:** *Situación representativa*. Aplicada a formaciones claramente alteradas que son representativas de las etapas de degradación de mayor intensidad (abundancia de especies nitrófilas o alóctonas, estructura empobrecida);

también se incluyen en esta categoría los tramos que, estando en su conjunto muy modificados, mantienen rodales de formaciones naturales más o menos conservadas.

- D:** *Degradación muy avanzada*. Se trata de sistemas muy alterados, en los que la vegetación natural está prácticamente ausente, restringida a un espacio fisonómicamente limitado y artificial, o totalmente dominada por especies alóctonas.

5. ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS DUNAS DE LA COMUNIDAD VALENCIANA

El litoral de la Comunidad Valenciana está muy deteriorado. Se conservan solo dos sistemas dunares de extensión e interés excepcionales, las dunas de El Saler (Valencia) y las dunas de Guardamar (Alicante), ambos con síntomas de degradación y sometidos a una fuerte presión, a pesar de las medidas de conservación que en ellos se desarrollan. Fuera de estos dos casos, la vegetación sabulícola es residual, ya que la anchura de las dunas no permite el desarrollo de más de dos bandas.

5.1. AGRESIONES PRINCIPALES

La agresión más evidente es el **urbanismo**, que no ha respetado la extensión de las dunas. En la mayor parte del territorio, las construcciones están asentadas en la zona de dunas semifijas o, incluso, en la de dunas móviles. La extensión permitida en Guardamar sin duda tiene que ver con el peligro de enterramiento debido a la actividad progradante del sistema (con aporte neto de sedimentos hacia la duna). En el caso de El Saler, es debido a lo insalubre de la vida en el entorno de la Albufera y a una larga historia de protección por parte de la Corona.

La pérdida de la integridad física de las dunas se ve agravada por la actual **reducción de aportes fluviales** y la alteración de su movimiento por las corrientes marinas, debido a la presencia de infraestructuras litorales. Esta situación tiene como consecuencia el retroceso de la línea de costa, que afecta de manera directa a los sistemas dunares, ya que no pueden desarrollarse hacia el interior, acotados por la urbanización.

La **suciedad** del mar Mediterráneo afecta también seriamente a las costas. La mayor parte de la basura que se ve en las playas ha sido arrastrada por las corrientes. Durante los meses de verano, esta suciedad, más la aportada por los pro-



FIGURA 5. Vertido de basura e invasión de cañas en la playa de Ciudad Luz (Valencia).



FIGURA 6. Plantación de araar y palmeras, con invasión de uña de gato en Guardamar del Segura (Alicante).

prios bañistas y los vertidos ilegales de basura y escombros, se retira periódicamente, pero el resto del año suele ser muy visible. Cuando la recogida de basuras se hace a máquina, supone también la retirada de los primeros colonizadores de la playa subaérea, que forman las dunas embrionarias. Esto restringe la extensión de la banda de dunas móviles a las dunas primarias, sobre el talud de barlovento de la primera cresta dunar.

La **presión de visitantes** en las playas provoca la degradación de los sistemas dunares. Por un lado, la instalación de servicios, como duchas y paseos pavimentados, destruye la estructura del sistema dunar e impide el libre movimiento de la arena. Por otro lado, la afluencia de público dificulta la extensión de las dunas embrionarias por la playa subaérea –inmediatamente antes del primer cordón dunar–, tanto por acción mecánica directa de los bañistas, como por la posterior limpieza mecanizada de la playa; además, la nitrificación banaliza la vegetación. Por último, el pisoteo provoca una fijación prematura del suelo y genera corredores perpendiculares al cordón de dunas. Estas últimas afecciones se intentan reducir en varias localidades por medio del acotado de la vegetación dunar y la instalación de pasarelas elevadas hasta la zona de playa.

En los grandes sistemas dunares, que conservan dunas terciarias, ocupadas por pinares de repoblación, se suma la amenaza de **incendio**. Especialmente en El Saler, donde durante los últimos 20 años se han producido más de 150 incendios que han supuesto una media de 6.607 m² quemados anualmente. También en este enclave hay que señalar el efecto de los programas de desecación de las malladas a principios de siglo XX para la erradicación del paludismo. Estos programas supusieron el aterramiento de los humedales y la plantación de alóctonos como eucaliptos y cultivares de chopos.

Por último, las **plantaciones** han sido también frecuentes en estos ecosistemas. La necesidad de estabilizar las dunas de Guardamar supuso la plantación de pinares (piñoneros y carrascos) que, si bien lograron su objetivo de proteger la población y los bienes agrícolas del avance de la arena, alteraron el aspecto natural del sistema dunar. En algunos enclaves (Parque Alfonso XIII, al N de Guardamar del Segura) se introdujeron adicionalmente especies ornamentales y araar (*Tetraclinis arti-*

culata), igualmente extraño a este ecosistema. En El Saler también se favoreció durante siglos la presencia de pinos en la dehesa, lo cual ha transformado en pinar una formación que, probablemente, tampoco lo era de manera natural.

5.2. ESPECIES INTRODUCIDAS

Se han encontrado un total de 41 táxones introducidos en las dunas de la Comunidad Valenciana, tanto alóctonos como autóctonos de este territorio pero no propios de estos ecosistemas. Entre las especies introducidas, las más preocupantes son la uña de gato (*Carpobrotus edulis* y *C. acinaciformis*), la caña (*Arundo donax*) y la pita (*Agave americana*), por su carácter fuertemente invasivo. El medio más habitual de la uña de gato y la pita son las dunas móviles y semifijas, mientras que las cañas ocupan las malladas más degradadas y las dunas semifijas o fósiles de algunas playas. Estas invasoras generalmente colonizan las playas más alteradas, pero resulta preocupante su abundancia en algunas localidades mejor conservadas. Es el caso de la uña de gato en El Saler y La Devesa y las cañas en El Altet y El Carabassí.

Otras especies consideradas muy peligrosas por Sanz Elorza *et al.* (2001), presentes en las dunas estudiadas son la acacia negra (*Acacia melanoxylon*), la margarita sudafricana *Arctotheca calendula*, los eucaliptos (*Eucalyptus gomphocephala*, *E. camaldulensis*), las correhuelas (*Ipomoea imperati*, *I. sagittata*) y las chumberas (*Opuntia* sp. pl.). Por el momento, no son muy frecuentes en los ecosistemas dunares estudiados, pero *Ipomoea sagittata* sí lo es en las zonas húmedas litorales, por lo que su eliminación sería necesaria también en estas formaciones para evitar su expansión.

Un grupo importante de alóctonas fueron introducidas deliberadamente con un fin concreto: limitar el avance natural de las dunas o luchar contra el paludismo. Para la fijación de las dunas, del mismo modo que se plantaron los pinares, se hicieron también repoblaciones con palmeras, pitas y araar. Así se generó el Parque Alfonso XIII al norte de la población de Guardamar del Segura y, en la actualidad, también se ven algunos plantones de araar en la playa de El Pinet. Esta actuación reciente es preocupante, ya que la plantación de

araar ha demostrado ser exitosa en la zona y, sin embargo, su potencialidad en el territorio es muy dudosa. Se trata de una especie montana tanto en los relictos de Cartagena como en el norte de África y en ningún caso parece comportarse como especie sabulícola en su área de distribución natural actual.

En cuanto a las plantaciones destinadas a la desecación de las malladas para erradicar el paludismo, estas se realizaron hasta el siglo pasado en todo el litoral. Todavía quedan presencias de eucaliptos, sauces (*Salix atrocinerea*, *S. eleagnos*, *S. purpurea*) y álamos (*Populus alba*). Estas últimas salicáceas, aunque autóctonas en la Comunidad Valenciana, no aparecen de manera natural en sistemas dunares.

Muchas de las especies alóctonas encontradas son fruto de plantaciones ornamentales destinadas a separar la playa de las edificaciones o, simplemente, a decorar el entorno. Es el caso de *Agave americana*, *Arctotheca calendula*, *Cupressus sempervirens*, *Ipomoea sagittata*, *Lippia nodiflora*, *Lonicera japonica*, *Morus nigra*, *Myoporum laetum*, *Opuntia* sp. pl., *Pelargonium quercifolium*, *Phoenix* sp. pl., *Punica granatum*, *Washingtonia filifera* y *Yucca* sp. pl. En muchos casos se han naturalizado en el territorio. En este apartado pueden incluirse también los tarayes autóctonos *Tamarix canariensis* y *T. gallica*, usados a menudo como pantalla verde al borde de paseos marítimos. Su presencia ocasional en malladas podría considerarse natural, pero la mayor parte de los individuos encontrados se hallan fuera de ese ambiente y parecen más bien provenir de una plantación deliberada.

En general, la presencia de especies introducidas responde claramente a la ruderalización del medio. En las zonas más urbanizadas, degradadas y sometidas al trasiego de bañistas, crece notablemente la abundancia de plantas nitrófilas, como *Conyza sumatrensis* o el arrancamoños (*Xanthium strumarium*). En este sentido, es importante señalar que en playas recientemente intervenidas, con movimiento de arena y plantaciones, se aprecia una inevitable ruderalización que, si bien en el caso de las plantas autóctonas puede ser reversible tras la maduración del ecosistema, supone un serio peligro de entrada de plantas invasoras difícilmente controlables posteriormente. Para conservar la naturalidad de los ecosistemas,

Es imprescindible que los planes de actuación incluyan siempre la eliminación previa de la flora alóctona y el control posterior de su reintroducción, sobre todo en las primeras fases de asentamiento de las poblaciones. Si este extremo no puede garantizarse, parece más prudente no realizar excesivos movimientos de sustrato, evitar las plantaciones y, en su lugar, proteger la zona de alteraciones para que la vegetación natural se regenere de manera espontánea.

5.3. RESUMEN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS PLAYAS DE LA COMUNIDAD VALENCIANA

De las tres provincias estudiadas, **Castellón** es la que tiene un litoral más rocoso y la presencia de dunas es reducida. Las que mantienen restos de vegetación son todavía más escasas y su estado de conservación es pobre (tabla 3 y figura 11). Los dos conjuntos dunares de Benicásim a Castellón y de Capicorp a Oropesa, han sido valorados con la categoría inferior (D). El conjunto Cabo de Irta a Capicorp también está muy degradado, pero conserva todavía una playa, El Cargador, con buena estructura y riqueza florística, aunque limitada espacialmente por las edificaciones. La playa ha sido valorada como B/C y el conjunto dunar con una C.

Valencia es la provincia con más playas estudiadas, ya que todo su litoral está ocupado por dunas y son bastantes los sistemas dunares con restos de formaciones vegetales sabulícolas. Sin embargo, el estado general de esta vegetación es muy malo (tabla 3 y figura 12). La mayoría de los conjuntos dunares han sido pobremente calificados: Cullera a Oliva con D y Mijares a Sagunto (a caballo entre Valencia y Castellón) con C/D. Solo las dunas de la playa de El Ahuir destacan ligeramente en este grupo. Afortunadamente, la provincia cuenta también con un conjunto dunar extraordinario, las dunas de Valencia a Cullera. A pesar de que todo el sistema está incluido en el Parque Natural de la Albufera, la parte sur (playas de Rey, Bega de Mar y Ciudad Luz) no conserva apenas vegetación, por lo que el conjunto dunar ha sido calificado como B. Las dunas directamente en contacto con la Albufera son las que dan interés a la zona. Una de las playas, La Ma-



FIGURA 7. Playa de El Cargador (Castellón). La mejor conservada del litoral castellonense.

ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA VEGETACIÓN DUNAR EN LAS COSTAS DE LA COMUNIDAD VALENCIANA

Provincia	CONJUNTO DUNAR	Valoración	Playa	Valoración
CS	Dunas de Cabo de Irta a Capicorp	C	Playa de El Cargador	B/C
	Dunas de Capicorp a Oropesa	D	Playa de Torre de la Sal	D
	Dunas de Benicásim a Castellón	D	Playa de El Serradal	D
CS/V	Dunas del Mijares a Sagunto	C/D	Playa de El Arenal	D
			Playa de Corinto-Malvarrosa	C
			Playa de La Almardá	D
			Playa de Canet	C/D
V	Dunas de Valencia a Cullera	B	Playa de El Saler	B/C
			Playa de La Devesa	A
			Playa de La Malladeta	C
			Playa de La Punta	B/C
			Playa de Rey	C/D
			Playa de Bega de Mar	D
	Dunas de Cullera a Oliva	D	Playa de Ciudad Luz	C
			Playa de El Dorado-El Brosquil	C
			Playa de El Ahuir	B/C
			Playa de Piles	C/D
A	Dunas de Alicante a Santa Pola	C	Playa del l'Aigua Blanca	C/D
			Playa de l'Aigua Morta	C
	Dunas de Santa Pola a Torreveija (Guardamar)	B	Playa de El Altet	B/C
			Playa de El Carabassí	B/C
			Playa de El Pinet	B
			Playa de El Rebollo	A
			Playa de El Campo	B
Playa de La Mata	C			

TABLA 3. Valoración del estado de conservación de las playas y conjuntos dunares estudiados.



FIGURA 8. Mallada salina en El Saler (Valencia). Comunidad singular en un espacio de excepcional diversidad ecológica.



FIGURA 9. Playa de El Rebollo (Alicante). Tras las extensas dunas se aprecia la plantación de piñonero para la fijación del sustrato.

lladeta, muy mermada por la presencia del campo de golf, desmerece del entorno y ha sido valorada como C. El resto presenta dunas excelentes, con presencia de dunas fijas aunque no exentas de degradación. Las dunas de La Devesa han sido valoradas como A, y El Saler y La Punta como B/C.

En la provincia de **Alicante**, la primera parte, correspondiente a los cabos de San Antonio y La Nao, es una costa eminentemente rocosa. De Jávea a Alicante se encuentra el tramo más urbanizado del litoral levantino, sin restos de vegetación natural. Los únicos conjuntos dunares estudiados están más al sur de la capital (tabla 3 y figura 13) y, aunque la conservación de las playas no es homogénea dentro de los mismos, mantienen enclaves de gran interés. El conjunto dunar Alicante-Santa Pola ha sido valorado con una C, principalmente por el estado de alteración de sus dunas fijas, fraccionadas, con basura y repobladas, sin preservar el sotobosque natural. La basura también está presente en otras bandas y es notable la invasión de cañas en El Altet y El Carabassí. No obstante, la presencia de dunas fósiles intercaladas entre las activas le confiere una gran originalidad al conjunto dunar, que presenta gran diversidad de comunidades vegetales. Las playas de El Altet y El Carabassí han sido calificadas como B/C. El siguiente conjunto, de Santa Pola a Torrevieja, incluye las dunas de Guardamar, la de mayor volumen de arena del litoral estudiado. Las playas mejor conservadas se encuentran en la parte norte del sistema de Guardamar, entre las salinas de Santa Pola y Guardamar del Segura. Hacia el sur, la conservación general desciende notablemente. La playa de La Mata ha sido calificada con una C, las de El Pinet y El Campo con una B y la de El Rebollo, la de mayor anchura y con dunas fijadas más extensas, con una A, por ser, junto La Devesa (Valencia), las mejores playas estudiadas.

En cuanto a las especies introducidas, los núcleos más afectados por su presencia no conservan vegetación natural y no han sido tratados en este estudio, pero dentro de las playas que conservan vegetación natural, las más afectadas son La Almardá (Sagunto) y El Dorado-El Brosquil (Cullera) en la pro-

vincia de Valencia, valoradas como D y C, respectivamente y El Cargador (Alcalá de Chivert) en Castellón, la playa con más interés natural de la provincia, recientemente intervenida, valorada como B/C. De las playas mejor valoradas, El Rebollo (Guardamar del Segura, Alicante) tiene una frecuencia preocupante de pitas y palmeras y también crece localmente uña de gato, cuyo avance debería controlarse. En la playa de El Campo (Guardamar del Segura, Alicante) la situación es similar, pero crecen también cañas en las dunas móviles.

6. CONCLUSIONES

Además de la limitación espacial de las dunas por la presión urbanística, la mayor amenaza que se cierne sobre estos sistemas es la merma de su carácter móvil. Este medio se nutre de aportes sedimentarios periódicos actualmente reducidos al mínimo por la sobreexplotación de las aguas fluviales. Al contrario que el aporte de sedimentos, los procesos erosivos naturales que retiran y reubican las arenas depositadas sí continúan. Este desequilibrio en el balance de aportes y la erosión modifica de raíz la dinámica de estos ecosistemas, que podemos considerar amenazados en todos los casos. De los enclaves estudiados, solo las dunas de Guardamar del Segura (Alicante), las más jóvenes en su origen, conservan todavía una cierta dinámica progradante, mientras que en El Saler (Valencia), de extensión e interés notables, la estabilización del sistema es mucho más visible.

Como consecuencia de la falta de aportes sedimentarios, la sucesión vegetal que se da en las comunidades que conforman las dunas sigue avanzando sin que se produzcan los habituales procesos de rejuvenecimiento debidos al avance de la arena. Salvo en las dunas embrionarias y primarias, todavía sometidas al efecto del oleaje y con mayor movilidad del sustrato, en el resto de las comunidades es esperable un aumento de la colonización y el asentamiento de comunidades progresivamente matorralizadas. Este proceso de *envejecimiento* de los sistemas dunares se acentúa con la fijación artificial del sustrato que provocan las instalaciones y el pisoteo.



FIGURA 10.
Ubicación de los conjuntos dunares y playas estudiadas.



FIGURA 11. Playas de la provincia de Castellón con la valoración de su estado de conservación según la escala empleada en este estudio.



FIGURA 12. Playas de la provincia de Valencia con la valoración de su estado de conservación según la escala empleada en este estudio.

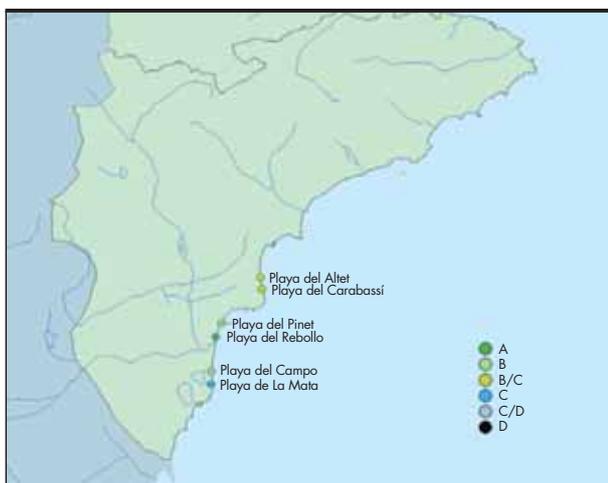


FIGURA 13. Playas de la provincia de Alicante con la valoración de su estado de conservación según la escala empleada en este estudio.

Con respecto a la invasión por especies alóctonas, su distribución en el territorio parece indicar que la mejor defensa es mantener un buen estado de conservación de los ecosistemas, salvaguardando su estructura y diversidad florística y evitando la ruderalización. Sin embargo, también parece necesaria la actuación directa contra las especies más agresivas, como son la uña de gato, la caña y la pita.

7. BIBLIOGRAFÍA

Ajuntament de Valencia, Programa Life, Programa Natura 2000. Modelo de restauración de hábitats dunares en la Albufera de Valencia. <http://www.lifeduna.com>. Visitado agosto, 2008.

Ajuntament de Valencia, Programa Life, Programa Natura 2000. Restauración de dunas litorales con *Juniperus* spp. en Valencia. <http://www.lifeenebro.com>. Visitado agosto, 2008.

Alcaraz, F. & Garre, M. (1985). Las adaptaciones de las plantas en las dunas litorales del sureste de España. *Anales Biol.* 4: 11-14.

Costa, M. & Izco, J. (1985). *Dunas litorales*. Monografías de la Dirección General del Medio Ambiente, MOPU, Madrid.

Costa, M. & Mansanet, J. (1981). Los ecosistemas dunares levantinos: La Dehesa de la Albufera de Valencia. *Anales Jard. Bot. Madrid* 37(2): 277-299.

Costa, M., Peris, J. B. & Figuerola, R. (1984). *La vegetación de la Devesa de l'Albufera*. Ayuntamiento de Valencia. Valencia.

Costa, M., Peris, J. B. & Stübing, G. (1986). *Ecosistemas vegetales del litoral mediterráneo español*. Monografías de la Dirección General de Medio Ambiente. MOPU, Madrid.

Fernandez Prieto, J. A. (2002). *Paisaje vegetal del noroeste ibérico: el litoral y orquídeas silvestres del territorio*. Ediciones Trea, S.L.

Generalitat Valenciana. Web oficial del turismo de la Comunitat Valenciana. <http://www.comunitatvalenciana.com/playas/playas1.htm>. Visitado agosto, 2008.

Generalitat Valenciana. Conselleria de Medi Ambient, Aigua, Urbansme i Habitatge Cartografia. <http://www.gva.es/jsp/portalgv.jsp?br=2&re=1&co=es-ES&chflash=true&force=si>. Visitado agosto, 2008.

Laguna, E., Guara, M. & Sanchís, E. (1986). Estudios ecológicos de un transecto dunar. II. Fenología. *Folia Bot. Miscel.* 5: 105-116.

Ley Vega de Seoane, C., Gallego Fernández, J. B. & Vidal Pascual, C. (2007). *Manual de restauración de dunas costeras*. Ministerio de Medio Ambiente. Dirección General de Costas.

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. http://www.mma.es/portal/secciones/acm/aguas_marinas_litoral/zonas_costeras/tipos_litoral/sistemas_dunares/mapadunas.htm y http://www.mma.es/portal/secciones/aguas_marinas_litoral/guia_playas/. Visitado agosto, 2008.

Sanz Elorza, M., Dana, E. & Sobrino, E. (2004). *Atlas de plantas alóctonas invasoras en España*. Dirección General para la Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente.

Sanz Elorza, M., Dana, E. & Sobrino, E. (2001). Aproximación al listado de plantas alóctonas invasoras reales y potenciales en España. *Larazoa* 22: 121-131.

APÉNDICE I

Breve descripción de las comunidades vegetales de las dunas de la Comunidad Valenciana.

BANDA	FORMACIÓN	DESCRIPCIÓN
DUNAS MÓVILES	LASTONAR	Comunidad presente en las dunas móviles alicantinas. Formaciones principalmente herbáceas y abiertas de lastón (<i>Elymus farctus</i>) y oruga de mar (<i>Cakile maritima</i>). Entre estas hierbas se encuentran algunas matas de cuernecillo de mar (<i>Lotus creticus</i>) y algo de barrón (<i>Ammophila arenaria</i>). La sequedad del clima alicantino condiciona la ausencia de especies muy habituales en ecosistemas dunares, como son el alhelí marino (<i>Malcolmia littorea</i>), la zanahoria marina (<i>Echinophora spinosa</i>) y la corregüela marina (<i>Calystegia soldanella</i>).
	LASTONAR BARRONAL CON ALHELÍ MARINO	Presente sobre las dunas móviles en el resto de las playas de la comunidad (Valencia y Castellón). Comunidades abiertas, dominadas por gramíneas (barrón, <i>Ammophila arenaria</i> y lastón, <i>Elymus farctus</i>) y algunos caméfitos rastreros (cuernecillo de mar, <i>Lotus creticus</i> y carretón de playa, <i>Medicago marina</i>), pero con especies que no se dan en Alicante como son el alhelí marino (<i>Malcolmia littorea</i>), la corregüela marina (<i>Calystegia soldanella</i>) y la zanahoria marina (<i>Echinophora spinosa</i>). La algodónosa (<i>Otanthus maritimus</i>) es también más abundante.
DUNAS SEMIFIJAS	LASTONAR CON CUERNECILLO	Comunidad sobre dunas semifijas habitual en la provincia de Alicante. Formación camefítica y herbácea abierta, pero menos que en las dunas móviles. Dominada por matas rastreras de cuernecillo de mar (<i>Lotus creticus</i>) y céspedes de lastón (<i>Elymus farctus</i>) que crecen entre ellas. Desde las dunas móviles se produce un aumento progresivo de la diversidad florística y la cobertura de caméfitos. Las dunas alicantinas semifijas se distinguen de las valencianas y castellanenses por la ausencia de alhelí marino (<i>Malcolmia littorea</i>), corregüela marina (<i>Calystegia soldanella</i>) y zanahoria marina (<i>Echinophora spinosa</i>), por el contrario, la oruga de mar (<i>Cakile maritima</i>) es más habitual en estas playas.
	LASTONAR BARRONAL CON CUERNECILLO Y ALHELÍ MARINO	Formación muy frecuente que ocupa las dunas semifijas de la mayor parte de las provincias de Castellón y Valencia. Similar a la anterior, pero con presencia de alhelí marino (<i>Malcolmia littorea</i>), zanahoria marina (<i>Echinophora spinosa</i>) y corregüela marina (<i>Calystegia soldanella</i>). El barrón (<i>Ammophila arenaria</i>) es tan abundante como el lastón (<i>Elymus farctus</i>) y domina las comunidades. Ocupa playas degradadas, con signos evidentes de ruderalización y presencia de plantas invasoras. Podría tratarse de un estado degradativo de los matorrales de siempreviva de El Saler, mermados en extensión y desarrollo.
	MATORRAL DE SIEMPREVIVA	Presente en las dunas más extensas del centro de la provincia de Valencia (dunas de El Saler), con una representación en Alicante y también en Castellón. Formaciones formaciones abiertas, principalmente camefíticas, dominadas por siempreviva (<i>Helichrysum stoechas</i>), cuernecillo de mar (<i>Lotus creticus</i>) y pegamoscas (<i>Ononis ramosissima</i>). La cobertura de los caméfitos se va incrementando progresivamente hasta formar una maquia similar al sotobosque de los pinares, con los que contacta.
CORRALES	PINAR ARBUSTIVO	Formaciones densas y arbustivas de los corrales alicantinos, compuestas por masas de pino carrasco (<i>Pinus halepensis</i>), o piñonero (<i>Pinus pinea</i>), que no suelen superar el metro de altura por efecto de la erosión eólica. Entre las masas de pinos se encuentra siempreviva (<i>Helichrysum stoechas</i>), <i>Rubia peregrina</i> y la bufalaga (<i>Thymelaea hirsuta</i>). Los pinares de esta zona son fruto de las repoblaciones para el control de las arenas móviles y los corrales provienen del avance de la arena sobre los pinares.
	LENTISCAR	Comunidad poco frecuente de las provincias de Valencia y Castellón. Formaciones igualmente densas, de hasta 2 m de altura, dominadas por lentisco, aunque también abunda el pino carrasco (<i>Pinus halepensis</i>). El estrato lianoide es importante, sobre todo rubia (<i>Rubia peregrina</i>) y zarzaparrilla (<i>Smilax aspera</i>) y son frecuentes diversas matas presentes en las formaciones en contacto, como la siempreviva (<i>Helichrysum stoechas</i>), la jara estepa (<i>Cistus salviifolius</i>), la azucena de mar (<i>Pancreatium maritimum</i>) y el tomillo blanco (<i>Teucrium capitatum</i>).
MALLADAS	MALLADA NEGRA	Formación habitual en malladas no excesivamente salinas. Comunidad básicamente herbácea y muy diversa, dominada por el junco negral (<i>Schoenus nigricans</i>) y junco espinoso (<i>Juncus acutus</i>). Abundan helófitos como la cisca (<i>Imperata cylindrica</i>), el junco churrero (<i>Scirpoides holoschoenus</i>), el carrizo (<i>Phragmites australis</i>), y matas de olivarda (<i>Ditrichia viscosa</i>), romero marino (<i>Inula crithmoides</i>), fenales (<i>Elymus hispidus</i> y <i>E. athericus</i>), plantago marino (<i>Plantago crassifolia</i>) y diversas centauros (<i>Centaureum quadrifolium</i> ssp. <i>quadrifolium</i> , <i>C. quadrifolium</i> ssp. <i>barrelieri</i> , <i>C. pulchellum</i> y <i>C. tenuiflorum</i>). Por la influencia salina pueden aparecer saladillas (<i>Limonium bellidifolium</i> , <i>L. girardinum</i> , <i>L. angustibracteatum</i>), sosa (<i>Suaeda vera</i>), verdolaga marina (<i>Halimione portulacoides</i>), armuelle (<i>Atriplex halimus</i>), taray (<i>Tamarix canariensis</i>), o incluso sapina cirialera (<i>Sarcocornia fruticosa</i>).

APÉNDICE I (continuación)

Breve descripción de las comunidades vegetales de las dunas de la Comunidad Valenciana.

BANDA	FORMACIÓN	DESCRIPCIÓN
MALLADAS (continuación)	MALLADA SALINA	Formación que se da en las malladas con mayores concentraciones salinas, con amplia potencialidad en la Comunidad Valenciana debido a la abundancia de saladares costeros. Sin embargo, la degradación actual las confina al entorno de áreas protegidas como Santa Pola o La Albufera. En ellas se instala un sapinar-juncal, no excesivamente denso y de 1 m de altura. La lámina de agua no es permanente y se aprecia claramente la costra de sal sobre el sustrato. La formación puede estar dominada por sapina glauca, cirialera o gruesa (<i>Arthrocnemum macrostachyum</i> , <i>Sarcocornia fruticosa</i> o <i>S. perennis</i> ssp. <i>alpinii</i>), junco espinoso (<i>Juncus acutus</i>) y ocasionalmente carrizo (<i>Phragmites australis</i>).
	MALLADA DULCE	Formación poco habitual, posible solo en el entorno de la Albufera de Valencia, dentro de la Comunidad Valenciana. Es una formación herbácea, densa, de hasta dos metros de altura. Crece sobre una lámina de agua casi permanente, dominada por enea (<i>Typha domingensis</i> x <i>angustifolia</i>), que se sitúa directamente sobre el agua. Hacia el exterior abunda el carrizo (<i>Phragmites australis</i>), el junco espinoso (<i>Juncus acutus</i>) y el junco churrero (<i>Scirpoides holoschoenus</i>). En la orla exterior, más seca, crecen la olivarda (<i>Dittrichia viscosa</i>) y el fenal (<i>Elymus hispidus</i>).
	CAÑAVERAL, CARRIZAL, JUNCAL	Formaciones habituales en las zonas de mallada más degradadas de la provincia de Valencia, y en alguna castellanense. Probablemente se trata de etapas degradativas avanzadas de los juncales negros. Comunidades dominadas por caña (<i>Arundo donax</i>) y/o carrizo (<i>Phragmites australis</i>), en los que suele abundar algún junco, negral, espinoso o churrero (<i>Schoenus nigricans</i> , <i>Juncus acutus</i> y <i>Scirpoides holoschoenus</i>). También es habitual el taray (<i>Tamarix canariensis</i>), <i>Carex extensa</i> y <i>Scabiosa atropurpurea</i> , esta última, apenas presente en el resto de las malladas.
DUNAS FIJAS	PINAR ALICANTINO	Comunidad proveniente de la repoblación de pino piñonero (<i>Pinus pinea</i>) y pino carrasco (<i>P. halepensis</i>) en Alicante. Son pinares poco densos y más pobres que los valencianos. Bajo los pinos crecen matas de siempreviva (<i>Helichrysum stoechas</i>), bufalaga (<i>Thymelaea hirsuta</i>), espárragos (<i>Asparagus acutifolius</i> y <i>A. horridus</i>), entre fenal (<i>Brachypodium retusum</i>) y otras gramíneas.
	PINAR VALENCIANO	Formación que se encuentran en la Dehesa del Saler (PN de la Albufera, Valencia). Estos pinares valencianos sobre dunas fijas son más ricos y densos que los alicantinos. El estrato herbáceo está menos desarrollado y la presencia de grandes arbustos y lianas les confiere una fisonomía exuberante. Bajo los pinos carrascos repoblados, se desarrolla un matorral elevado de lentisco (<i>Pistacia lentiscus</i>), olivilla (<i>Phillyrea angustifolia</i>), coscoja (<i>Quercus coccifera</i>), aladierno (<i>Rhamnus alaternus</i>), absintios (<i>Artemisia caerulescens</i> o <i>A. campestris</i>), jara estepa (<i>Cistus salviifolius</i>), jaguarzo (<i>Helianthemum syriacum</i>) y palmito (<i>Chamaerops humilis</i>), con una gran densidad de lianas, principalmente zarzaparrilla (<i>Smilax aspera</i>) y rubia (<i>Rubia peregrina</i>).
DUNAS FÓSILES	TOMILLAR	Comunidad que ocupa los crestones petrificados que forman bandas perpendiculares a la línea de costa en las dunas fósiles de Alicante, generalmente intercalados entre dunas semifijas. Son tomillares de <i>Teucrium capitatum</i> , muy abiertos y ralos, con bufalaga (<i>Thymelaea hirsuta</i>), saladilla (<i>Limonium echinoides</i>), rubia marina (<i>Crucianella maritima</i>), olivarda (<i>Dittrichia viscosa</i>) y algunas plantas de dunas, muy poco abundantes.
	JAGUARZAL	Formación de las dunas fósiles alicantinas en zonas de transición entre las dunas semifijas y fijas. La colonización es mayor que los tomillares anteriores y presentan rodales de pinos, por lo que tal vez podría tratarse de un pinar degradado. La vegetación es una maquia litoral abierta, de aproximadamente medio metro de altura. Está dominada por jaguarzo (<i>Helianthemum syriacum</i>) y abundante fenal (<i>Brachypodium retusum</i>), acompañado de rosál borde (<i>Fagonia cretica</i>), albaida fina (<i>Anthyllis terniflora</i>) y cuernecillo de mar (<i>Lotus creticus</i>), entre otras matas.
	MAQUIA DE LENTISCO Y ACEBUCHE	Comunidad sobre suelo petrificado en la desembocadura de barranco. Formación densa y de hasta 3 m de altura, dominada por lentisco (<i>Pistacia lentiscus</i>) y acebuche (<i>Olea europaea</i>). Abundan las matas de bufalaga (<i>Thymelaea hirsuta</i>) y siempreviva (<i>Helichrysum stoechas</i>). Las zonas más abiertas se convierten en herbazales de fenal (<i>Brachypodium retusum</i> e <i>Hyparrhenia hirta</i>).

Caracterización mecánica de cintas de bambú para su uso en tableros

LENA MORA RODRÍGUEZ (*) y JORGE F. HERNÁNDEZ GONZÁLEZ (**)

RESUMEN En el presente trabajo se hace la caracterización mecánica de cintas de bambú de la especie *Bambusa Vulgaris*. Las cintas son obtenidas en un proceso tecnológico simple y su respuesta mecánica es evaluada, a partir de resultados experimentales, a través de parámetros resistentes convencionales como la resistencia de rotura, módulo de deformación, entre otros. Se realiza además un análisis específico de esta caracterización, considerando factores constituyentes particulares de la cinta y un análisis general a partir de un muestreo aleatorio de sus factores.

MECHANICAL CHARACTERIZATION OF BAMBOO FIBERS FOR USE IN BOARDS

ABSTRACT Presently work is about the mechanical characterization of *Bambusa Vulgaris* fibers. The fibers are obtained by a simple technological process and their mechanical properties are evaluated, starting from experimental results, through conventional resistant parameters, such as ultimate strength, module of deformation, and others. It's also carried out a specific analysis of this characterization, considering constituent factors particulate of fibers and a general analysis starting from a random sampling of its factors.

Palabras clave: Bambú, Cintas de bambú, Caracterización mecánica.

Keywords: Bamboo, Bamboo mats, Mechanical properties of bamboo mats.

1. INTRODUCCIÓN

Las primeras publicaciones científicas que tratan sobre el empleo estructural del bambú se realizan por Au *et al.* (1978) en Hong Kong y por Janssen (1981) en Holanda, confirmadas también por Chung y Yu (2002). Una gran cantidad de características mecánicas para diferentes especies de todo el mundo se reportan por Janssen (1991); ofreciendo entre otros, los parámetros mecánicos convencionales más comunes. Un tiempo después fue reportado en la literatura, Amada *et al.* (1997), la clasificación del bambú como material de construcción natural e inteligente, por su perfecta distribución de fibras y matrices, tanto en las secciones transversales como a lo largo de su longitud, que le ofrece gran resistencia a las cargas medioambientales.

Para el empleo de diferentes elementos productos del bambú, como esteras o tableros, con fines estructurales y no estructurales, la cinta de este material juega un importante papel, ella funciona como el principal componente estructural resistente y por lo tanto se demanda conocer las características mecánicas necesarias y su comportamiento, para validar su empleo.

Con ese objetivo en este trabajo se tratan los aspectos concernientes a la caracterización mecánica de la misma a partir

de la experimentación. La materia prima para el estudio es tomada y elaborada completamente para las condiciones tecnológicas normales del taller de bambú de la Empresa Forestal Integral de Manicaragua, Cuba, y en todos los casos la especie utilizada es la *Bambusa Vulgaris*.

2. OBTENCIÓN DE LA CINTA DE BAMBÚ

Para su obtención se utilizó una pequeña tecnología, que hace eficiente y muy productiva esta labor, tales como sierras eléctricas, máquina estrella de varias cuchillas, máquina cortadora de nudos (figura 1) hasta que finalmente se obtienen las cintas muy delgadas, de espesor mínimo 0,5 mm; las longitudes de estas cintas están en función del largo del tallo de bambú a procesar, y su ancho oscila entre 5 y 15 mm en correspondencia con la cuchilla empleada en el proceso tecnológico. Las dimensiones obtenidas en las condiciones del país coincidieron con las recomendadas por el Instituto Indio de Investigación y Desarrollo de la Industria de la Madera Contrachapada, IPIRTI por sus siglas en inglés, IS: 13958 (1994) y GB 13123-91(1992).

La densidad de la especie *Bambusa Vulgaris* fue establecida teniendo en cuenta las condiciones de humedad:

- Densidad en condiciones de humedad verde: 0,82 g/cm³.
- Densidad en condiciones de humedad seca al aire: 0,681 g/cm³.
- Densidad en condiciones de humedad seca al horno: 0,64 g/cm³.
- Peso específico básico: 0,583.

(*) Ingeniera Civil. Universidad Central de Las Villas. Facultad de Construcciones. Departamento Ingeniería Civil.

(**) Dr. Ingeniero Civil. Universidad Central de Las Villas. Facultad de Construcciones. Departamento Ingeniería Civil.



FIGURA 1. Tecnología de obtención de cintas de bambú.

3. FACTORES CONSTITUYENTES PARTICULARES QUE CARACTERIZAN EL TIPO DE CINTA

En el estudio se especifica de manera particular las diferencias en cuanto al comportamiento de las propiedades mecánicas de las cintas de bambú al ser tomadas de diferentes partes o zonas del culmo de bambú.

Zona de obtención de la cinta	$\left\{ \begin{array}{l} \text{De la longitud del culmo} \\ \text{Del espesor del culmo} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Sin nudos} \\ \text{Con nudos} \end{array} \right.$
		$\left\{ \begin{array}{l} \text{Externa (con corteza)} \\ \text{Interna (sin corteza)} \end{array} \right.$

PARÁMETROS MECÁNICOS CONVENCIONALES

La definición de parámetros mecánicos en los materiales sigue normas y definiciones comunes con el fin que se puedan comparar sus resultados. Por lo que es lógica la aparición de parámetros convencionales para esta caracterización, entre los más usados están:

Resistencia de rotura a tracción: Se denomina al valor máximo de resistencia que ofrece un material al ser extendido.

Coefficiente de Poisson: es una magnitud adimensional y se determina como la relación entre las deformaciones unitarias transversales y las longitudinales.

Módulo de deformación: se determina como la relación entre límite de rotura y la deformación unitaria longitudinal, más exactamente, caracteriza el estado tenso deformacional que experimenta el material durante el proceso de carga y representa la relación proporcional entre la resistencia y la deformación unitaria del mismo.

Deformación unitaria: es la relación adimensional entre el desplazamiento de alargamiento o acortamiento de un cuerpo sometido a carga respecto a su geometría inicial.

4. ENSAYO DE TRACCIÓN A LA CINTA

Este ensayo se rige por la sugerencia de la Red Internacional de Bambú y el Ratán, **INBAR 1999**, y dado el espesor de las cintas, las probetas tienen las siguientes dimensiones (figura 2).

Se aplica fuerza de tracción a la cinta correctamente alineada según su eje longitudinal con el centro de las mordazas del equipo, evitando excentricidad y torsión. Con una velocidad de aplicación de la carga de 2 mm/minuto, se obtienen las lecturas y mediciones intermedias de carga y desplazamiento, en condiciones específicas, para la posterior determinación de otras propiedades, respaldado en la respuesta gráfica del ensayo, para estas mediciones se emplean los dispositivos calibrados y acoplados al equipo universal de ensayos MTS Synergy de sobremesa (figura 3).

5. RESULTADOS DEL ENSAYO PARA FACTORES PARTICULARES DE LA CINTA

A partir de considerar la recomendación de IS: 13958(1994) y GB 13123-91(1992), de excluir la presencia de corteza, o cáscara del culmo de la cinta a utilizar para la conformación de esteras o tableros, las probetas fueron tomadas del interior del culmo evaluando el factor particular de presencia o no de nudos en la cinta. Se considera en este estudio de caso la presencia del nudo en el centro de la longitud de la probeta.

El estudio de caracterización estadística de las variables de respuesta para el grupo de probetas se muestra a modo de resumen en la tabla 1.

Como se observa en la tabla 1 los mayores valores de resistencia de rotura y módulo de deformación se alcanzan en el caso de la cinta sin nudo, aspecto que coincide con lo reportado por Zen Li Zhou (1992), Ahmad (2000), Hidalgo (2003) y Osorio *et al.* (2005). La presencia de nudo en la sección, provoca una disminución de las propiedades mecánicas, siendo significativas las diferencias que existen entre las muestras

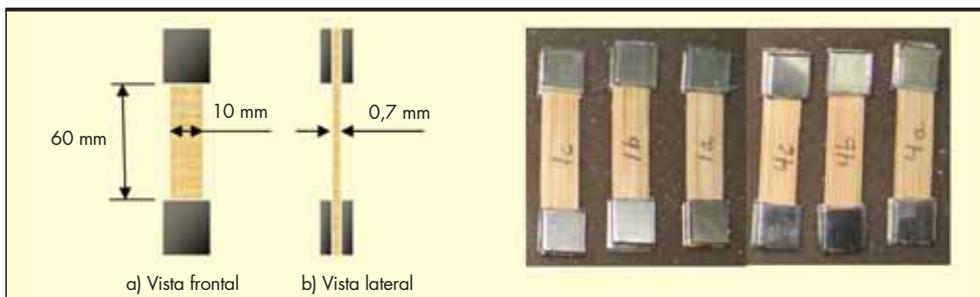


FIGURA 2. Dimensiones de las probetas para los ensayos de tracción.



FIGURA 3. Máquina universal de ensayos MTS Synergy de sobremesa.

	Resistencia de rotura (MPa)		Módulo de deformación (MPa)		Coeficiente de Poisson	
	CSN	CCN	CSN	CCN	CSN	CCN
Estadísticos	CSN	CCN	CSN	CCN	CSN	CCN
Valor medio	137,450*	80,580*	18804,900*	12786,200*	0,366*	0,420*
Dispersión	0,367	2,539	186,894	121,824	0,005	0,010
Coefficiente de variación	0,003	0,032	0,010	0,010	0,015	0,024
Límite superior	137,770	82,810	18968,720	12892,980	0,371	0,429
Límite inferior	137,120	78,360	18641,090	12679,420	0,361	0,411
Muestras realizadas	5	5	5	5	5	5
CCN: Cinta con nudo, CSN: Cinta sin nudo, * = P<0,05						

TABLA 1. Características mecánicas de las cintas de bambú de acuerdo a factores particulares.

estudiadas. La disminución de la resistencia en la probeta en los casos evaluados, se debe principalmente a la discontinuidad de las fibras en el nudo, convirtiéndose de esta manera el nudo, en un punto de baja resistencia, ocasionando el fallo súbito de la probeta y comportándose como un material frágil, mientras que en las probetas sin nudo se presenta un mejor aprovechamiento de la capacidad resistente del material.

Otra de las propiedades estudiadas para las cintas de bambú es el coeficiente de Poisson, en este caso se aprecia que las variaciones del coeficiente entre las muestras objeto de estudio no son significativas, variando en un intervalo general del ensayo de 0,36 a 0,43 lo cual coincide con lo reportado en la literatura especializada, Hidalgo (2003) y Osorio *et al.* (2005), que refiere variaciones de este coeficiente para diferentes tipos de madera en el orden de 0,41 a 0,58.

6. RESULTADOS GENERALES DEL ENSAYO DE CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LA CINTA

Para el empleo de cintas de bambú con fines prácticos en la fabricación de tejidos, se realiza de manera adicional un experimento a partir de un muestreo general aleatorio de las cintas, para evaluar de manera única las características mecánicas del material y establecer un valor medio de los parámetros mecánicos que pudieran caracterizar o describir su respuesta ante cargas externas.

El estudio de caracterización estadística de las variables de respuesta para el grupo de probetas se muestra a modo de resumen en la tabla 2.

Estadísticos	Resistencia de rotura (MPa)	Deformación unitaria	Módulo de deformación (MPa)
Valor medio	111,090*	0,012*	9623,970*
Dispersión	9,590	0,001	1344,780
Coefficiente de variación	0,090	0,100	0,140
Límite superior	114,920	0,012	10161,980
Límite inferior	107,250	0,011	9085,950
Nº de muestras realizadas	24	24	24
Nº de muestras necesarias	14	18	21
* = P<0,05			

TABLA 2. Características mecánicas de las cintas de bambú.

De este experimento se obtienen los valores medios para la resistencia a la rotura de las cintas, su deformación y el módulo de elasticidad del ensayo, estos resultados determinan los parámetros mecánicos a considerar de la cinta de bambú para determinar la respuesta definitiva en el estudio de su comportamiento esfuerzo deformacional.

7. RESPUESTA MECÁNICA DE LAS CINTAS DE BAMBÚ

Para describir la respuesta mecánica del material es utilizada la curva esfuerzo deformación para el mismo en tracción. Aunque el comportamiento de cada material es diferente, en esta curva se distinguen, en general, zonas y magnitudes límites que permiten entender, interpretar y describir las respuestas del material y comparar con compatibilidad el comportamiento entre distintos materiales.

La curva esfuerzo deformación del material depende a su vez de multitud de factores tales como la velocidad de la carga, la temperatura, equipamiento y dispositivos experi-

mentales empleados, entre otras, definidos para este estudio en las diferentes normativas consultadas, lo que permite conseguir que los resultados sean representativos de la estructura interna característica del material ensayado.

A partir de los resultados obtenidos de la experimentación y del análisis de estos resultados, teniendo en cuenta además, la incidencia en esta interpretación de la estadística descriptiva utilizada, se puede llegar a plantear la respuesta real esfuerzo deformación representativa para la cinta (figura 4). De igual forma, esto permite establecer mediante procesos de tendencias, las funciones de mejor ajuste a las respuestas del material, para describir de una manera lo más cercana posible a la realidad, el pronóstico de respuesta a través de la relación que existe y se establece entre el esfuerzo y la deformación en la respuesta del material.

CURVA ESFUERZO DEFORMACIÓN EXPERIMENTAL REAL (FIGURA 4)

Esta curva es establecida, conociendo los resultados del procesamiento estadístico, a partir de los valores reales de las variables respuestas del experimento. Es ilustrada la respuesta real experimental particular, esfuerzo deformación, que menor diferencia tiene respecto al valor medio de los parámetros considerados y de sus estadígrafos descriptivos mostrados.

FUNCIÓN DE AJUSTE DE LA CURVA TOTAL

Para la definición de esta curva modelada con una función teórica que describa el comportamiento del material, se analiza la respuesta real del mismo y se realiza la regresión múltiple que permite establecer una relación estadísticamente significativa entre esfuerzo y deformación con un buen nivel de confianza (figura 5), de modo que el modelo explique en un porcentaje elevado la variabilidad del esfuerzo, evaluado a través del coeficiente de regresión.

FUNCIÓN DE AJUSTE DE LA CURVA EN LA ETAPA DE RESPUESTA ELÁSTICA LINEAL DEL MATERIAL (FIGURA 5)

Para la definición del tramo de esta curva con respuesta elástica lineal se analizan etapas de la respuesta real del material para diferentes porcentajes de la magnitud del valor máximo de esfuerzo, para cada una de ellas se realiza una regresión lineal (figura 5), obteniéndose una que permite es-



FIGURA 4. Curva experimental real de las cintas de bambú.

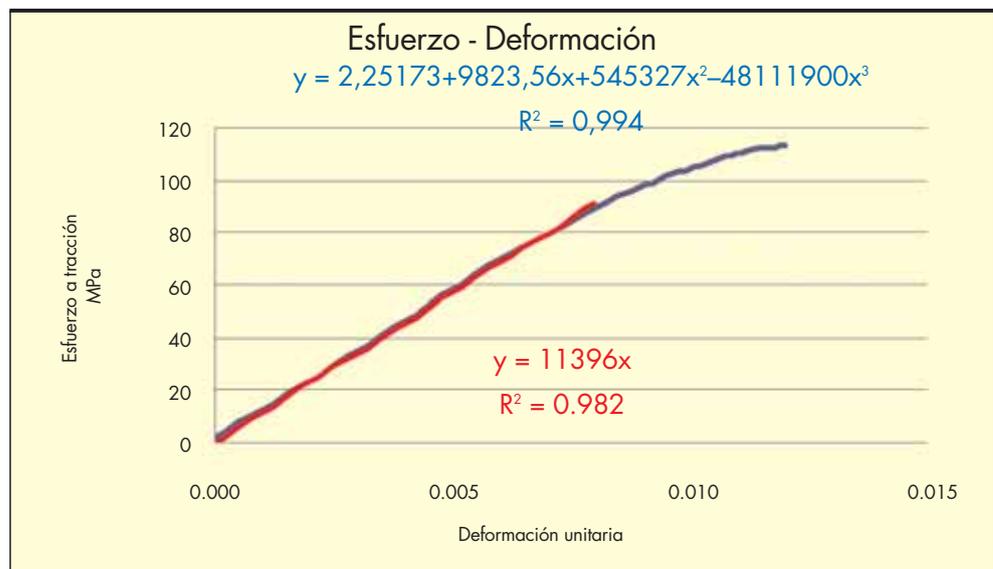


FIGURA 5. Curva modelo lineal y ajuste total de las cintas de bambú.

tablecer que existe una relación estadísticamente significativa entre esfuerzo y deformación con el mejor nivel de confianza en el modelo.

8. CONCLUSIONES DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LA CINTA DE BAMBÚ

Evaluando las condiciones en las que se obtienen los resultados del trabajo y teniendo en cuenta la formulación y relación establecida entre el esfuerzo y la deformación se puede definir, de forma general, su respuesta en comportamiento frágil, debido a la rotura espontánea sin advenimiento de deformaciones de pre aviso, respuesta carente de formación y desarrollo de mecanismos plásticos y el aspecto de la grieta en el fallo de forma plana y motivada fundamentalmente por tensiones axiales en la dirección de la acción que permite corroborar esta conclusión.

En la cinta de bambú se puede establecer una primera etapa de respuesta elástica y lineal caracterizada por un límite de proporcionalidad de 91,168 MPa, este tramo de la curva representa la mayor parte del comportamiento del material (80,6%) y define la relación lineal esfuerzo deformación descrita de manera ajustada en la ecuación de regresión que representa su relación proporcional, a partir de ella se define el módulo de deformación de la cinta de bambú de 11396 MPa y una deformación para el límite de proporcionalidad de 0,008 mm/mm.

El tramo siguiente a esfuerzos, entre el límite de proporcionalidad y límite o resistencia máxima, de rotura o última de la cinta de bambú, representa la menor porción evaluada para la respuesta de su comportamiento mecánico (19,4%), el mismo experimenta en la realidad una pequeña etapa de comportamiento elástico no lineal, que define el límite elástico, caracterizada por una descarga elástica con recuperación del material sin deformaciones permanentes, inelásticas o plásticas y que en la práctica para el comportamiento frágil se hace coincidir con el comportamiento definido por el límite de proporcionalidad indicado, por lo que toda la respuesta elástica, definida entonces por este límite elástico queda comprendida dentro de la etapa de proporcionalidad ya establecida.

La respuesta del material en este tramo quedará hasta su valor límite de rotura caracterizada por la aparición de pequeñas deformaciones de tipo permanente, sin llegar a la aparición de mecanismos plásticos de deformación, hasta la rotura brusca o frágil; la relación esfuerzo deformación en esta etapa es descrita por la ecuación ajustada:

$$\sigma = 2,25173 + 9623,56 \epsilon + 545327,0 \epsilon^2 - 4,81119E7 \epsilon^3$$

en la que se establece como valor máximo de rotura 113,124 MPa y el valor de deformación máxima de la cinta de bambú de 0,012 mm/mm.

Todo lo anterior, permite conocer la respuesta o comportamiento necesario de la cinta de bambú de la especie *Bambusa Vulgaris* a ser usada como elemento constituyente de productos del bambú, como esteras o tableros, con fines estructurales y no estructurales.

9. AGRADECIMIENTOS

Los autores de la presente investigación quieren agradecer el apoyo brindado por los especialistas de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Gijón, Universidad de Oviedo y a

los técnicos de los laboratorios de materiales del mismo centro. Agradecen además el financiamiento realizado por la Cooperación Suiza para el Desarrollo, COSUDE, para realizar toda la experimentación necesaria para la caracterización del material en estudio y a todo el equipo de trabajo de nuestro centro.

10. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad A. 2000. Analysis of Calcutta bamboo for structural composite materials. Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg. Consultado Abril de 2009. Disponible en <http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-08212000-10440027/unrestricted>.
- Amada S, Munekata T, Nagase Y, Ichikawa Y, Kirigai A, Yang Z. 1997. The mechanical structures of bamboos in viewpoint of functionally gradient and composite materials. *Journal of Composite Materials* 30(7):800–19.
- Au F, Ginsburg KM, Poon YM, Shin FG. 1978. Report on study of bamboo as a construction material. The Hong Kong Polytechnic, 1978.
- Hidalgo O. 2003. Bamboo. The gift of the gods. Bogotá, Colombia. 553 p.
- INBAR (International Network for Bamboo and Rattan). 1999. Bamboo Panel Boards: a State of the Art Review. New Delhi, India. 119 p. (Technical Report, n° 12)
- IPIRTI (Indian Plywood Industries Research & Training Institute). Consultado Abril de 2009. Disponible en <http://www.bamboocomposites.com>.
- Janssen J, 1981. Bamboo in building structures. Tesis doctoral, Eindhoven University of Technology, Holland.
- Janssen J, 1991. Mechanical properties of bamboo. Amsterdam: Kluwer Academic.
- K.F. Chung, W.K. Yu, 2002. Mechanical properties of structural bamboo for bamboo scaffoldings, *Eng. Struct.* 24 (2002) p 429-442.
- Osorio JA, Vélez JM, Ciro HJ. 2007. Estructura Interna de la Guadua y su Incidencia en las Propiedades Mecánicas. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Consultado Abril 2009. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=49615323&iCveNum=9563>
- Poblete H, Cuevas H. 2007. Efecto del Tamaño de Probeta sobre el Cizalle y la Adhesión en Uniones con Acetato de Polivinilo. Maderas. Ciencia y tecnología, septiembre, año/vol. 9, número 003 Universidad del Bío-Bío Concepción, Chile. Consultado Abril 2009. Disponible en http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-221X2007000300009&script=sci_arttext
- Valero S, Reyes E, Contreras W. 2005. Estudio de las Propiedades Físicas y Mecánicas del Bambú (*Bambusa Vulgaris*), de Tres Años de Edad y Proveniente de las Plantaciones Ubicadas en la Ribera de la Margen Derecha del Río Chama, Municipio Francisco Javier Pulgar, Estado Zulia, Venezuela. Informe técnico N° 37. Consultado Marzo 2009. Disponible en <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/24096/2/articulo5.pdf>

DIRECCIÓN GENERALDirector General: **Mariano Navas Gutiérrez**Calle de Alfonso XII, 3
28014 MADRID

- Telf.: 913 357 500
- Télex: 45022 CEDEX E
- Fax: 915 280 354

GABINETE TÉCNICODirectora: **Miguel González Portal****SUBDIRECCIÓN GENERAL DE PROGRAMACIÓN
TÉCNICA Y CIENTÍFICA**Subdirector General: **Manuel Echeverría Martínez****CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS**Director: **José María Grassa Garrido**Calle Antonio López, 81 • 28026 MADRID
Telf.: 913 357 700 • Fax: 913 357 622**CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRÁFICOS**Director: **Juan Manuel Ruiz García**Paseo Bajo de la Virgen del Puerto, 3 • 28005 MADRID
Telf.: 913 357 900 • Fax: 913 357 922**CENTRO DE ESTUDIOS DEL TRANSPORTE**Director: **Alberto Compte Anguela**Autovía de Colmenar Viejo, km 18,2
28049 El Goloso (MADRID)
Telf.: 913 357 800 • Fax: 913 357 822**CENTRO DE ESTUDIOS DE TÉCNICAS APLICADAS**Director: **Antonio Sánchez Trujillano**Calle de Alfonso XII, 3 • 28014 MADRID
Telf.: 913 357 200 • Fax: 913 357 249– **GABINETE DE FORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN**Directora: **Isabel Vilches Dueñas**Calle de Alfonso XII, 3 • 28014 MADRID
Telf.: 913 357 307 • Fax: 913 357 314**LABORATORIO CENTRAL DE ESTRUCTURAS
Y MATERIALES**Director: **Rafael Astudillo Pastor**Calle de Alfonso XII, 3 • 28014 MADRID
Telf.: 913 357 400 • Fax: 913 357 422**LABORATORIO DE GEOTECNIA**Director: **Fernando Pardo de Santayana Carrillo**Calle de Alfonso XII, 3 • 28014 MADRID
Telf.: 913 357 300 • Fax: 913 357 322**CENTRO DE ESTUDIOS HISTÓRICOS DE
OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO (CEHOPU)**Gerente: **Amparo Precioso de Murga**Calle de Zurbano, 7 • 28010 MADRID
Telf.: 913 489 800 • Fax: 913 489 816

El Comité de Redacción de **Ingeniería Civil** está abordando una serie de iniciativas encaminadas a fomentar su difusión entre los especialistas en las materias sobre las que versa. Con ese objeto, para promover el conocimiento de sus contenidos, se le remite el presente ejemplar.

Para que pueda suscribirse a ella y recibirla con regularidad, se acompaña el boletín de suscripción adjunto, que deberá remitir cumplimentado a la dirección abajo indicada.

El Comité de Redacción



Boletín de suscripción

Email: ingcivil@cedex.es

Teléfono: 91 335 72 69

España un año: **49 €**

Extranjero un año: **81,12 €**

Empresa N.I.F. Particular N.I.F.
Nombre Cargo
Dirección
..... Código Postal
Población Provincia
Teléfono Fax E-mail

Formas de Pago

(Elijase solamente una opción)

Domiciliación bancaria (Solamente para cuentas bancarias en España)

Muy Sres. míos:

Ruego que, con cargo a mi cuenta y hasta nuevo aviso, atiendan el pago de los recibos correspondientes a mi suscripción que les presentará al cobro la REVISTA INGENIERIA, editada por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas CEDEX.

Les saluda atentamente

Entidad bancaria
Domicilio entidad
C.P. Localidad Provincia

Entidad	Oficina	D.C.	Núm. de cuenta

Transferencia a favor del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas CEDEX

Cuenta del CEDEX (desde España):

0182 - 2370 - 45 - 0200200574

Cuenta del CEDEX (desde el extranjero):

IBAN: ES6501822370450200200574

SWIFT: BBVAESMM

Cheque nominativo a favor del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas CEDEX

Fecha

Firma

El Titular, Fdo.

Enviar a:

Revista **Ingeniería Civil** (PUBLICACIONES)

Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas del **CEDEX** • c/ Alfonso XII, 3 • 28014 Madrid

desde nuestra página web
www.cedex.es



Hacemos GRANDES hasta los SUEÑOS más pequeños...

... porque en Ferrovial Agromán,
ponemos en tus manos
a los profesionales más cualificados del sector,
las más avanzadas tecnologías y más de 80 años
de experiencia en servicio y atención al cliente,
lo que nos ha dado reconocido prestigio
como empresa líder a nivel nacional e internacional.

Nosotros creemos en cada uno de nuestros clientes,
creemos en **ese sueño** y lo convertimos
en el más importante, dándole el respaldo
y la **seguridad** de hacerlo realidad.

ferrovial
agroman