

Lagunas de Atapuerca

Los caminos del agua



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE,
Y MEDIO RURAL Y MARINO

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL DUERO

Lagunas de Atapuerca

Los caminos del agua



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE,
Y MEDIO RURAL Y MARINO

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL DUERO

Dirección del proyecto:

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL DUERO

Rafael López Argüeso

Urbano Sanz Cantalejo

Dirección de la obra:

CONFEDERACION HIDROGRÁFICA DEL DUERO

Rafael López Argüeso

Luis Alberto Franco Fernández

Redacción del proyecto y asistencia a la dirección de obra:

HYDRA INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL S.L.

Vicente Paredes Renes

Alberto Marino Tostón

Rubén Fernandez Antolín

Ramón Luque Cortina

Jose Antonio San Antonio Escribano

Luis Alfonso Fernandez Pérez

Fernando Ballesteros Bienzobas

Jorge Pestaña Bonachia

Ejecución de las obras:

AUDECA S.L.

Jacinto Herranz Ortega

Fernando Fernandez Canseco

© de esta edición (2009): Confederación Hidrográfica del Duero.

Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino

realiza: **HYDRA**

diseño y maquetación: **MAD**

© contenidos: **HYDRA**

© ilustraciones (excepto las que se indican de forma expresa): **MAD**

© infografías: **MAD**

D.L.: **NA-1.007-2011**

NIPO: **771-10-011-1**

Catálogo de publicaciones oficiales: <http://www.060.es>

Índice

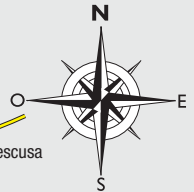
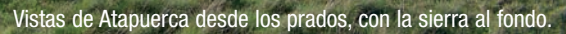
1. Los prados de Atapuerca	05
Atapuerca	
Los caminos del agua en Atapuerca	
2. ¿Lagunas en Atapuerca?	13
Desarrollo sostenible en Atapuerca	
Recurso ecológico, educativo y económico	
La Confederación Hidrográfica del Duero	
3. El proyecto	21
Un proyecto innovador	
La propuesta	
Las lagunas	
Fitodepuradora: «humedales artificiales»	
Restauración y estructuras auxiliares	
Uso público	
4. La obra	51
Descripción general	
Lagunas	
Movimiento de tierras	
Préstamo y obtención de arcillas	
Estructuras de regulación y derivación	
Construcción de diques	
Recubrimiento de diques	
Plantaciones	
Fitodepuradora	
Restauraciones	
Otras actuaciones	
Fin de obra	
5. Mantenimiento y seguimiento	89
Mantenimiento del complejo	
Seguimiento de la evolución del sistema	
Actuaciones de gestión	



1

Los prados de Atapuerca





Atapuerca

Atapuerca es un pequeño pueblo de la provincia de Burgos, a escasos 22 km de la capital, que goza de dos recursos culturales catalogados como «Patrimonio de la Humanidad»: el Camino de Santiago, que recorre el pueblo de Este a Oeste, y la Sierra de Atapuerca, donde se localizan los yacimientos paleontológicos mundialmente conocidos. Otros valores de su patrimonio cultural son el conjunto megalítico formado por un menhir y cuatro dólmenes, *villae* romana de San Polo, frontera con el reino de Navarra antes de la batalla de 1054, encomienda de la Orden de San Juan de Jerusalén, iglesia-fortaleza de San Martín (siglo XV), edificio comunal con potro, fragua y matadero bien conservado y antiguo hospital de peregrinos. Su patrimonio natural cuenta con su monte de encina y quejigo que, aunque discreto, es fundamental como refugio forestal en un valle cerealista. Es elevada la población de aguilucho cenizo y se ha detectado recientemente en la zona visión europeo. Pero su principal recurso natural está por llegar: **las lagunas de Atapuerca**.

Es un pueblo de tradición agrícola —cereal de secano— y ganadera —ovino-caprino—, al igual que el resto de los pueblos de la sierra. A estos recursos debemos añadir, desde hace poco más de 10 años, el turismo que se articula en torno al Camino de Santiago y a los yacimientos.





Esta comarca se caracteriza por el clásico **clima continental extremo**, de calurosos veranos y fríos inviernos, que unido al tipo de suelo —arcilloso sobre una mole de dura caliza en la que afloran areniscas y gravas— y a los usos del territorio —principalmente agrícola de secano con aprovechamiento ganadero intenso del monte— dan como resultado el paisaje actual.

Dominando los dos valles —el del Arlanzón al sur y el del Vena al norte— la pequeña elevación de la sierra se coloniza por un monte chaparro y denso de encina en su cara sur y quejigo en la norte. Sobre los afloramientos silíceos crecen algunas matas de rebollo. También encontramos lantanas, guillomos, avellanos, acebos, aligustres, madre selvas, espinos, rosales y aulagas (en los claros más degradados).

En la falda de la sierra se asientan los pueblos, antaño rodeados con densas olmedas. A medida que continuamos la suave bajada hacia el río Vena aparecen los viejos espinos que marcan las lindes de prados y tierras y grupos dispersos de chopos que tuvieron tiempos mejores. Una superficie parcelada ligeramente ondulada es el paisaje de este valle cerealista. A los pies de la iglesia, con orientación norte, el «Prado de la Laguna», más de 80 hectáreas de pastizal de titularidad municipal que se inunda periódicamente.

Los caminos del agua en Atapuerca

El **karst** de Atapuerca desagua en parte por numerosos **manantiales** a pie de monte: «Fuente del avellano», «Fuente Mentirosa», «Fuente de Barrihuelo», «Fuente del Cuevo», «Fuente Cubillo», etc. En estas aguas limpias de manantial abundan musgos, algas diversas y pequeñas plantas como *Potamogeton crispus*. El agua contiene abundante bicarbonato cálcico disuelto. Por ser manantiales aprovechados para el consumo hasta hace pocos años, están limpios y encauzados con sillares de piedra, con escasa proliferación de macrófitos. «Fuente San Cristóbal» se suele colonizar por las plantas del prado y por berros que llegan a cubrir toda la superficie inundada.

Los **arroyos y ribazos** que cruzan los **prados** y labran-tíos llevan estas aguas hasta el Vena. Están totalmente transformados; sus cauces, incluso su trazado, ha sido intervenido por los agricultores y escasea la vegetación. El arroyo «Barrihuelo» es una excepción que, aparte de su exigua chopera, está colonizado hasta su entronque con el Vena por un denso carrizal. Estos arroyos no disponen actualmente de mucha superficie para que prospere la vegetación riparia debido a la explotación agrícola.



Fuente del Cuevo,
a pie de sierra.



Cigüeñas en el
Prado de la Laguna.



Río Vena.

Al final de la llanada, como colector, se dibuja el **río Vena**, escoltado por chopos y varias especies de sauces, entre las que destaca el sauce ceniciento. En los remansos crecen las enneas y los lirios amarillos, la hierba de San Antonio, la menta de lobo, la cola de caballo, lúpulo, la plateada y el malvavisco. Flotan lentejas de agua, y berros, berreras y diferentes ranúnculos se asoman en superficie. En los años más secos se reduce notablemente el cauce hasta Villafría, cerca ya de Burgos.

El agua necesaria para uso doméstico, para el ganado y para regar las huertas que se encuentran al este de Atapuerca se obtenía de los manantiales que brotan de la sierra. Hace unos años, los pueblos de la comarca se conectaron con la red de abastecimiento de Burgos que viene desde Arlanzón, por lo que esas fuentes están ya en desuso. Hasta ese momento, el «agua de boca» en este municipio lo proporcionaba la fuente de San Cristóbal.

Antes, el sobrante de esta fuente alimentaba dos lavaderos actualmente en ruina, abajo en los prados, y continuaba hasta unirse con el «Arroyo de Barrihuelo» que llevaba el agua de la fuente del mismo nombre —también con lavadero—, de la «Fuente del Cuezco» y de «Fuente Mentirosa», manantial de caudal intermitente, al igual que «Fuente Ron» y «Fuente Ongama».

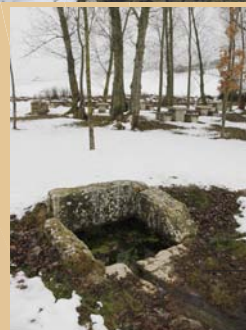
El manantial de Cubillo también ofrecía agua potable, y tenía asociados unos abrevaderos y un lavadero que siguen en pie y en uso, aunque de forma esporádica. Pero la función más importante de «Fuente Cubillo» era la de regar las huertas, función que todavía cumple. El sobrante se unía a un cauce molinar que desviaba agua desde el Vena —en el término de Agés— hasta el molino harinero de Atapuerca (siglo XIX) y un aserradero aguas abajo que dejó de funcionar en 1936. Este servicio se saldaba con el permiso que el ayuntamiento daba a los vecinos de Agés para extraer piedra de sus antiguas canteras de caliza. Este cauce se dejó de usar en 1965, con el cierre del molino.

El molino tenía un molinero que vivía en el edificio. Recibía unos reales del ayuntamiento, y comida y leña de los vecinos que bajaban su grano a moler siguiendo un estricto orden de «suertes» o «vereda». Se molía todo el año, tanto de día como de noche, siempre que hubiese agua. Con sequía se molía a «golpe de caz»: se llenaba la represa que hay entre el puente y el molino y se soltaba, con lo que se conseguía la molienda de 100 kilos de cereal.

Don Faustino recuerda los 170 bueyes que pastaban en «La Dehesa» o «Prado de la Laguna» en 1928, entre el 2 de junio y el 1 de octubre. Las ovejas lo utilizaban entre el 1 de octubre al 30 de marzo, para dejar dos meses hasta la entrada del ganado mayor para regenerar el pasto. Estos terrenos siempre tuvieron buena hierba a lo largo del año, siempre húmedos o inundados, con charcas temporales dispersas antaño que desaparecieron mediante drenajes y por su colmatación con la materia orgánica que producían tanto las plantas como el ganado. Hoy mantienen un rebaño de caballos que pasta allí todo el año.



molino



A° del avellano

Fuente del avellano

Fuente Barrihuelo

Fuente del Cuezco

char





2

¿Lagunas en Atapuerca?



Desarrollo sostenible en Atapuerca



Atapuerca viene desarrollando, con otros municipios de la comarca, actividades económicas de bajo impacto, evitando el desarrollo urbanístico desmedido, controlando las actividades mineras existentes, minimizando los errores de prácticas agrícolas heredadas, recuperando su patrimonio arquitectónico, preservando su paisaje y cuidando sus recursos naturales y culturales.

Esta línea de gestión está propiciando un entorno armónico de gran valor paisajístico, tranquilo y sin ruidos, elemento diferencial respecto al resto del área de influencia de la ciudad de Burgos. Este compromiso, además de favorecer la implantación de actividades económicas de bajo impacto, potencia la llegada de nuevas familias que fijan aquí su residencia, frenando la despoblación del medio rural que caracteriza a nuestra región. Al final, la recuperación del entorno está cambiando la realidad socioeconómica de estos pueblos mejorando la calidad de vida de sus habitantes.

Con esta filosofía, el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, a través de la Confederación Hidrográfica del Duero, ha desarrollado este innovador proyecto en Atapuerca considerando no sólo la recuperación de antiguas zonas húmedas y consolidación del dominio público hidráulico, sino además la experimentación de innovadores métodos de recuperación y regeneración de humedales, sistemas naturales de depuración y la puesta en valor e integración de las actuaciones a través de un programa divulgativo.

Paisaje agrario tradicional.





Inundación temporal en los prados.



Formación de toba en Barriuelo.

Los prados que existen al norte del núcleo de Atapuerca se han inundado o han presentado formaciones lagunares desde siempre. Ya se citan en el «Fuero de Atapuerca» de 1138, y en las Ordenanzas Municipales medievales de esta localidad. Las crónicas relativas al Camino de Santiago —que cruza este municipio— hacen referencia a la necesidad de tomar caminos alternativos para evitar «las zonas pantanosas de Atapuerca». La cartografía de 1912 —que refleja la toponimia de «laguna», «saperas», etc.— confirman su existencia, así como el testimonio de las personas mayores del pueblo, que recuerdan haber visto los prados inundados desde pequeños. Todavía hoy se inunda parcialmente.



El «corredor natural de La Bureba» es una ruta de migración importante entre el norte de Europa y África. El Alto de La Brújula conduce los bandos de aves sobre Atapuerca.



El tritón jaspeado, que acude a los manantiales y charcas para criar, es cada vez más escaso en la sierra. El conocido sapo común prácticamente ha desaparecido.

Se espera que las lagunas recuperen las poblaciones de anfibios.

Recurso ecológico, educativo y económico

■ Recuperar las antiguas lagunas del prado

A lo largo de la historia el hombre ha obtenido terreno para sus cultivos y pastos en detrimento de bosques y zonas húmedas. Desechar humedales se convirtió, desde el Neolítico, en una práctica habitual que se ha mantenido hasta no hace muchos años. Así, el déficit de zonas húmedas en España es importante, y nuestra comarca no es una excepción. Con la recuperación de una zona del «Prado de la Laguna» —antiguo humedal que se inunda actualmente de forma parcial— se restablece la fase inicial de ese espacio, anterior a su colmatación, y se potencia la biodiversidad de la comarca de forma natural: anfibios, aves acuáticas, etc.

■ Depurar las aguas residuales mediante una fitodepuradora

Consiste en tratar las aguas fecales de Atapuerca empleando un sistema de «humedales artificiales», aplicación biotecnológica que utiliza procesos naturales para transformar las sustancias contaminantes en biomasa vegetal.

■ Carácter demostrativo y recurso educativo

Mostrar a pequeños y mayores un ecosistema húmedo, su funcionamiento y sus relaciones. Explicar como se pueden depurar las aguas de pequeños núcleos de forma eficaz, sencilla y económica con un mantenimiento mínimo. Esta experiencia servirá de ejemplo a otras localidades que no pueden construir ni mantener complejas infraestructuras de depuración convencional. También puede sensibilizar a otros alcaldes para que eviten rellenar de escombros sus pequeñas charcas.

■ Recurso turístico para la comarca

En esta zona deprimida, la explotación de un turismo medioambiental sería un complemento al turismo cultural del yacimiento —principalmente en Semana Santa y verano— y del Camino de Santiago, sobre todo en meses de baja intensidad turística como son los de **invierno, época de paso de aves acuáticas**. Este recurso, por lo tanto, puede ayudar a romper la consabida estacionalidad turística.

Este complejo lagunar también podrá favorecer —en primavera y verano—, la anidada de determinadas especies de aves acuáticas, situación que mejoraría la calidad cinegética del coto de caza municipal.

Estado de la fosa séptica en enero de 2005.



Los prados encharcados en diciembre de 2006.



El Prado de la Laguna en marzo de 2005.



La Confederación Hidrográfica del Duero

■ El organismo responsable

La Confederación Hidrográfica del Duero tiene entre sus competencias como Organismo de cuenca, tal y como lo recoge el texto refundido de la «Ley de Aguas» (RDL 1/2001) las actuaciones de conservación, protección eficaz, gestión sostenible y recuperación de zonas húmedas, por lo que el proyecto de Atapuerca fue una apuesta innovadora que despertó gran interés, considerando que suponía la recuperación de antiguas zonas húmedas y consolidación del dominio público hidráulico, la mejora de calidad de las aguas del medio receptor a través de la promoción de sistemas naturales de depuración y la «puesta en valor» de elementos históricos.

Estos objetivos, entroncados con el espíritu de la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE) que proclama que los Estados miembros deben proteger, mejorar y regenerar todas las masas de agua superficial con el objetivo de alcanzar su buen estado ecológico, sintonizan con las actuales políticas de gestión sostenible del agua que la Confederación Hidrográfica del Duero aplica.

■ Objetivos

— **Ecológico:** generar un sistema húmedo de elevada diversidad potencial a través de la «recuperación» de antiguas zonas húmedas existentes al noroeste de la población de Atapuerca y la «recreación» de otras nuevas, consolidando un tipo de ecosistemas de extraordinario interés e importancia estratégica para numerosas especies animales y vegetales, además de depurar las aguas residuales de la población, a través de un sistema innovador, funcional y demostrativo de la capacidad de las «zonas húmedas» para regenerar la calidad de las aguas.

— **Científico-técnico y educativo:** educar y sensibilizar a la población sobre la importancia de los recursos hidráulicos y su vulnerabilidad, los mecanismos naturales y procesos que sostienen la vida, al tiempo que se recupera la memoria histórica de nuestro pasado cultural a través del redescubrimiento de los usos y tradiciones que en torno al agua ingeniaran nuestros antepasados. Profundizar en el conocimiento del funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, con el objeto de acumular y difundir experiencias útiles.

— **Socioeconómico:** complementar las posibilidades turísticas de este municipio de renombre internacional y de su entorno, incorporando el turismo ecológico a la oferta ya existente de turismo cultural ligado a los Yacimientos de la Sierra de Atapuerca y al Camino de Santiago.



Peregrinos a la entrada de Atapuerca. Al fondo, las lagunas en junio de 2009.

3

El proyecto



Un proyecto innovador

El proyecto que ha servido de guía en esta intervención se caracteriza por su **planeamiento sostenible: integración paisajística, empleo de los recursos del medio** en la medida de lo posible para evitar el aporte de materiales externos, **adaptación al microrrelieve** de la zona a intervenir para reducir los movimientos de tierra a lo estrictamente necesario, **máxima eficiencia** sobre el medio hídrico para el mantenimiento del sistema lagunar y **ahorro energético, restauración natural** de la zona afectada y **mínimo coste en su mantenimiento**.

Esto se ha conseguido, en primer lugar, gracias a un **meticuloso estudio previo globalizador**, en el que se ha integrado la información hidrogeológica y edáfica aportada por más de 40 catas y sus correspondientes análisis, un estudio topográfico milimétrico, un sondeo de la flora y fauna antes de la intervención, una prospección arqueológica y el estudio histórico del área.

Gracias a este trabajo inicial de investigación se determinó **cómo se comportaba el agua en esta terraza aluvial**, sus flujos y permeabilidades; se localizó un gran depósito de arcillas impermeables que servirían para construir los **diques**, evitando así su aporte del exterior para reducir los costes energéticos debidos al transporte; se diseñaron los diques siguiendo las discretas curvas de nivel de esta llanada, creando **contornos ondulados adaptados al terreno**, y se planteó el flujo de agua en todo el sistema (lagunas y depuradora) a favor de pendiente, evitando el empleo de bombas, etc. Sólo se ha requerido el aporte externo de hierro y hormigón para las obras de regulación y gravas para las balsas de depuración.

La **recuperación del molino y lavadero** se iba a realizar con los materiales tradicionales locales —piedra caliza, hierro y madera—, siendo también de madera los elementos auxiliares, como pasarelas, vallados, observatorios y paneles informativos. La energía eléctrica necesaria para iluminar el interior del molino se obtendría con una **turbina hidráulica** acoplada a uno de los rodeznos.

Las **restauración vegetal** se llevaría a cabo con las **especies del entorno**, estaquillando arbustos y árboles locales y recubriendo los diques con la capa vegetal previamente retirada de los vasos de las lagunas, evitando la siembra de especies alóctonas. La colonización faunística se realizaría de forma natural, **sin introducciones**.

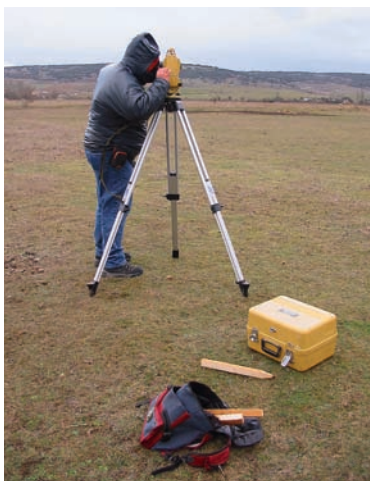


Aspecto del pastizal antes de la intervención. El estudio botánico y faunístico previo es una referencia necesaria para conocer la evolución ecológica de este hábitat tras la creación de las lagunas.



El ditisco es un escarabajo acuático carnívoro frecuente en la zona.

En la cata C-23, el nivel freático apareció a 20 cm de la superficie.



Un minucioso estudio topográfico ha permitido adaptar los diques a las imperceptibles curvas de nivel y conseguir una integración paisajística sorprendente.



Medición de transmisividad hidráulica del terreno y colocación de piezómetros.



La Laguna, vestigio del humedal natural que cubrió los prados siglos atrás.

La propuesta

Se ha estructurado en **tres bloques de actuación diferenciados constructivamente pero interconectados conceptual y funcionalmente**, constituyendo una solución única.

■ **Recuperación de los humedales** que existieron al noroeste de la población de Atapuerca y que, a pesar de su actual colmatación, siguen mostrando su carácter higromorfo, con encharcamientos estacionales.

Estos humedales se originaron bajo condiciones geomorfológicas y litológicas locales específicas, que se alimentaban del sistema kárstico de la Sierra de Atapuerca, captadora de precipitaciones que desaguan a través de las numerosas fuentes y manantiales en su estribación septentrional.

La recuperación de este humedal histórico se consigue con la **creación de un sistema lagunar interconectado y naturalizado**. Su ubicación geográfica hace que esta actuación tenga grandes posibilidades de convertirse en un enclave de importancia estratégica para numerosas especies de flora y fauna, especialmente para muchas especies de aves que sobrevuelan este corredor en sus rutas migratorias.

- **Depuración de las aguas residuales** de la población de Atapuerca mediante un **sistema de «humedales artificiales»**, que mejora la calidad de las aguas del medio receptor: el río Vena.

Este sistema es una aplicación biotecnológica de los procesos que de forma natural se producen en los medios acuáticos para regenerar la calidad de las aguas y perpetuar la vida en ellos. Se trata de una tecnología innovadora poco conocida en nuestro país, en línea con las actuaciones que nos tienen que llevar hacia un desarrollo sostenible.

- **Recuperación, rehabilitación y acondicionamiento para nuevos usos de diversos elementos con valor cultural y etnográfico ligados al agua** existentes en Atapuerca, como su viejo molino harinero, Fuente Cubillo y su lavadero.

El citado molino se reconvertiría en un «punto de encuentro de las lagunas» recuperando sus elementos hidráulicos funcionales más originales. El lavadero de Fuente Cubillo se acondicionaría como un lugar de disfrute de los habitantes de Atapuerca y de descanso y acogida a los peregrinos del Camino de Santiago.



El éxito de los objetivos planteados estaría condicionado por la correcta ejecución de su **plan de uso público**, para el que se iba a diseñar un **programa informativo y educativo** con sus correspondientes recursos y soportes: paneles, observatorios, acondicionamiento de accesos, itinerarios autoguiados, publicaciones, etc.



Trabajo de gabinete.

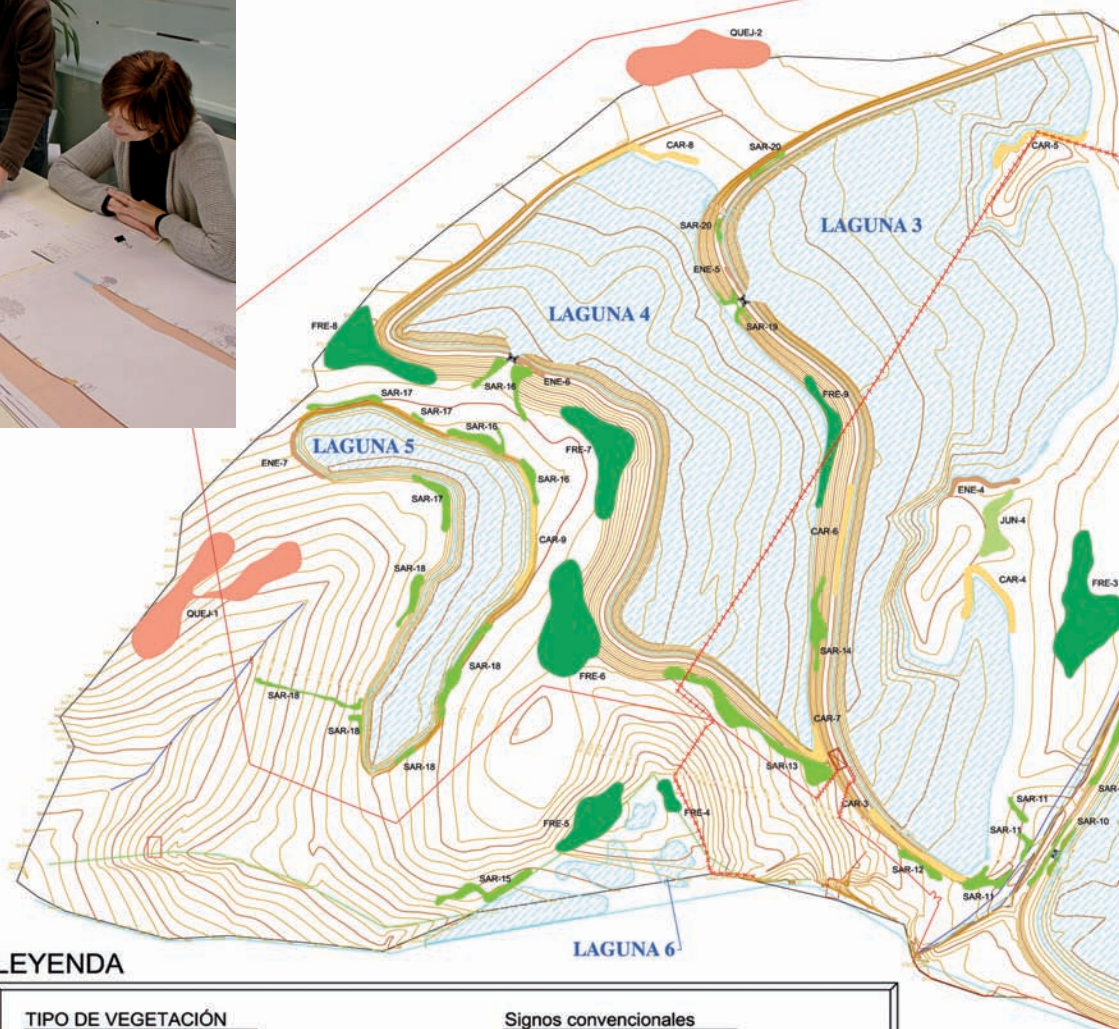
LEYENDA

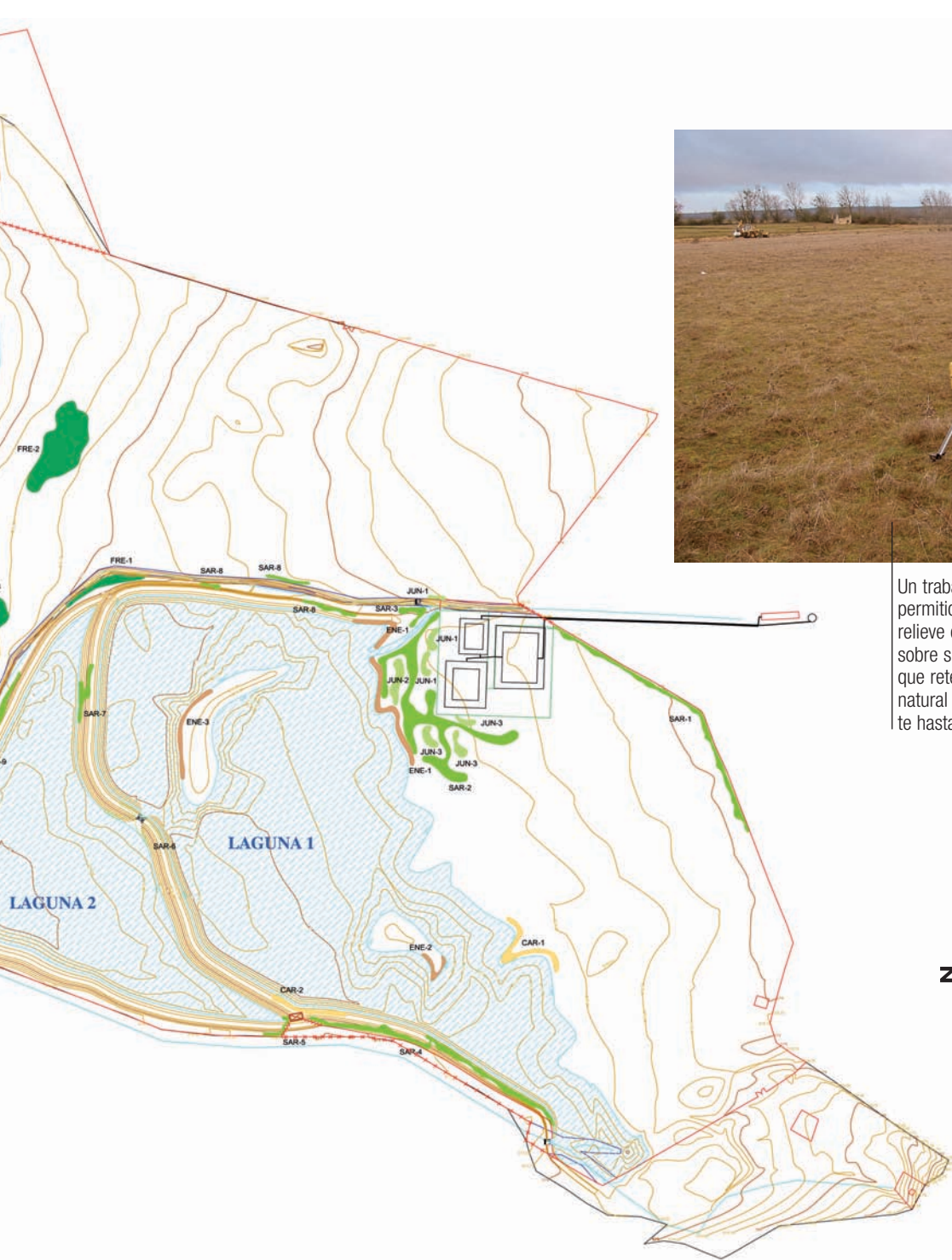
TIPO DE VEGETACIÓN

ENE	Eneal
QUEJ	Bosquetes de quejigo
CAR	Carrizal
SAR	Saucedas arbustivas y pantallas
FRE	Bosquete de fresneda mixta
JUN	Juncal

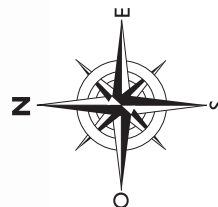
Signos convencionales

	Portillera
	Cercado de espino
	Pantalla visual naturalizada
	Observatorio de aves
	Vallado depuradora
	Cercado a eliminar





Un trabajo topográfico detallado ha permitido descubrir el imperceptible relieve de esta llanada, planteando sobre sus curvas de nivel los diques que retendrán el agua que de forma natural discurre a favor de pendiente hasta el río Vena.



Las lagunas

Se planteó la construcción de 5 lagunas que, en cifras globales, tendrían una superficie aproximada de 167.000 m², con profundidades medias que oscilarían en las diferentes lagunas entre los 0,50 y 1,32 m, y un volumen aproximado de 153.000 m³.

laguna	superficie (m²)	profundidad media (m)	volumen estimado (m³)
laguna 1	53.959	0,50	26.980
laguna 2	21.271	0,55	11.700
laguna 3	49.064	1,32	64.764
laguna 4	32.772	1,25	40.965
laguna 5	9.668	0,88	8507
totales	166.734	0,9	152.916

El agua para el funcionamiento del sistema procedería del propio **nivel freático superficial** existente, y de las aportaciones complementarias que se estimasen necesarias en determinados periodos procedentes de derivaciones de caudal desde los **arroyos** de Cubillo, San Cristóbal, Barrihuelo y Cuezco principalmente.

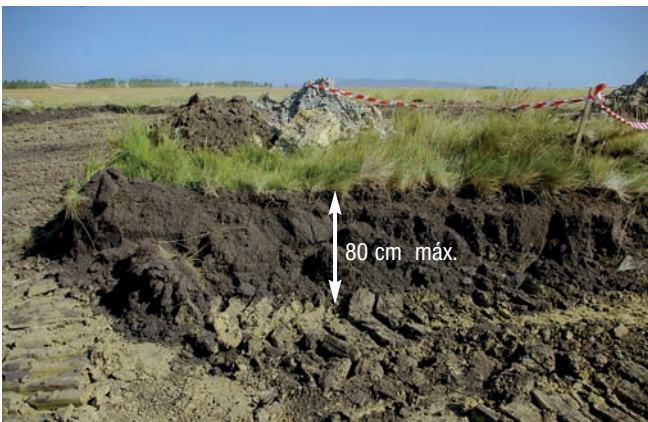
Los sistemas generados se diseñaron con criterios de integrabilidad y progresiva capacidad de naturalización y autorregulación. Se contempló por tanto la posibilidad de que, en función del programa de gestión establecido, los niveles de las lagunas fuesen variables a lo largo del año. Las actuaciones constructivas fueron:

■ Remodelación de tierras y extracción de materiales

El movimiento de tierras se inició con la retirada de los horizontes vegetales existentes en las zonas ocupadas por las futuras lagunas 1 a 5, y su acopiado temporal de forma independiente en cordones corridos para posterior reutilización.

Los montones de tierra orgánica se manejaron de forma cuidadosa, evitando el pisoteo o compactado con maquinaria y su manejo en condiciones de excesiva humedad, con el fin de evitar la pérdida de estructura y actividad biológica.

En esta misma fase se procedió al replanteo topográfico y posterior conformación de las «islas» y «penínsulas» diseñadas.



En las superficies de las lagunas 1 y 2 el horizonte orgánico actual tiene una potencia media aproximada de 60 cm y es de tipo turboso sin fracción mineral apreciable. Por el contrario, en el resto de superficies a retirar (lagunas 3, 4 y 5) su potencia se reduce a 35-40 cm y, excepto los 2-3 primeros centímetros, tiene una textura limoarenosa, con abundantes cantos como corresponde a su evolución sobre el material aluvial subyacente. Ambos suelos presentan excelentes propiedades estructurales y de actividad biológica que optimizan su posterior reutilización.



El movimiento de tierras estuvo supervisado continuamente por un arqueólogo, dada la presencia en las inmediaciones de dólmenes y una *villae* romana.

■ Construcción de diques (lagunas 1, 2, 3 y 4)

La sección tipo general de los diques de contención está constituida por un **núcleo central de arcilla** resistente a los empujes e impermeable al agua, y una **cubierta exterior de tierra vegetal** cuya misión es, además de contribuir a la estabilidad del dique de arcilla, dotar a estos de un perfil integrado en las formas suaves del paisaje y fácilmente naturalizable. **La arcilla se obtiene de la zona 5** (préstamo).

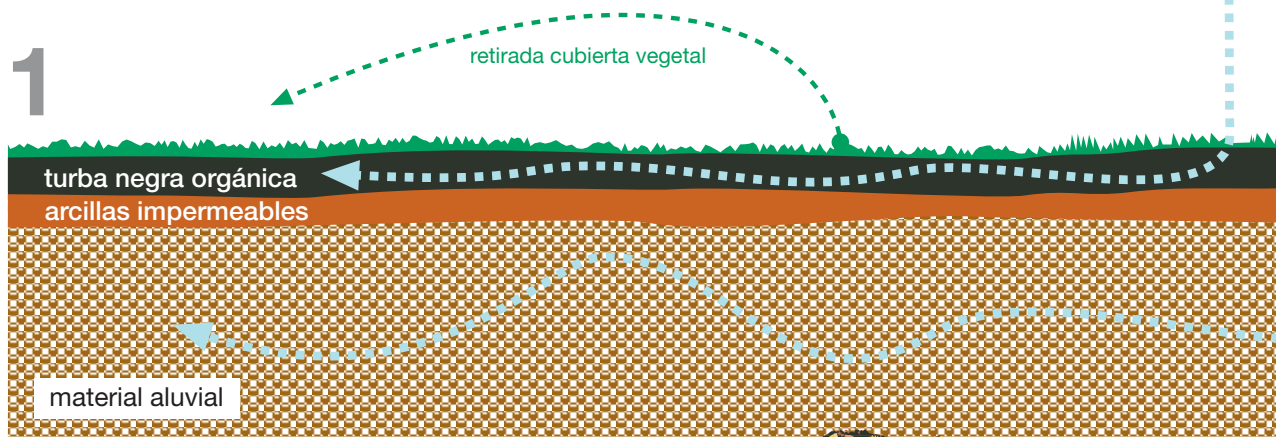
Como medida de optimización de los materiales aluviales sobrantes de las excavaciones, se reutilizaron los mismos en los pies de talud de los diques de arcilla, formando un triángulo de base constante de 2,5 m y de altura variable dependiendo del nivel de rasante en cada punto. Esta medida contribuye a la estabilidad de los diques de arcilla. La **laguna 5** ocupa la depresión del **préstamo** tras su explotación.

Como medida de impermeabilización del terreno y cimentación de los diques de las lagunas 3 y 4, se proyectó la construcción de un tacón de arcilla en la base del dique a modo de pantalla con una anchura constante de 1,5 m hasta agotar la capa permeable (aluvial), y empotrarse un mínimo de 40 cm en el estrato inferior impermeable constituido por arcillas grises margosas.

La base del dique de arcillas apoya siempre sobre el estrato aluvial inmediatamente inferior, y se retiró todo el material vegetal hasta alcanzar el techo de dicho estrato. El proceso constructivo de los diques se sintetiza con los siguientes esquemas:

Proceso constructivo de los diques 1 y 2

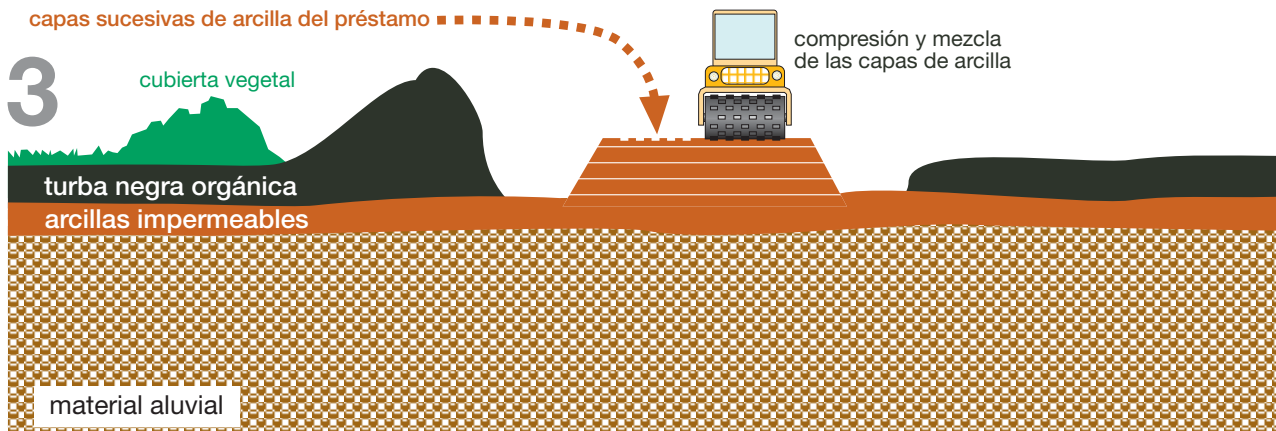
1

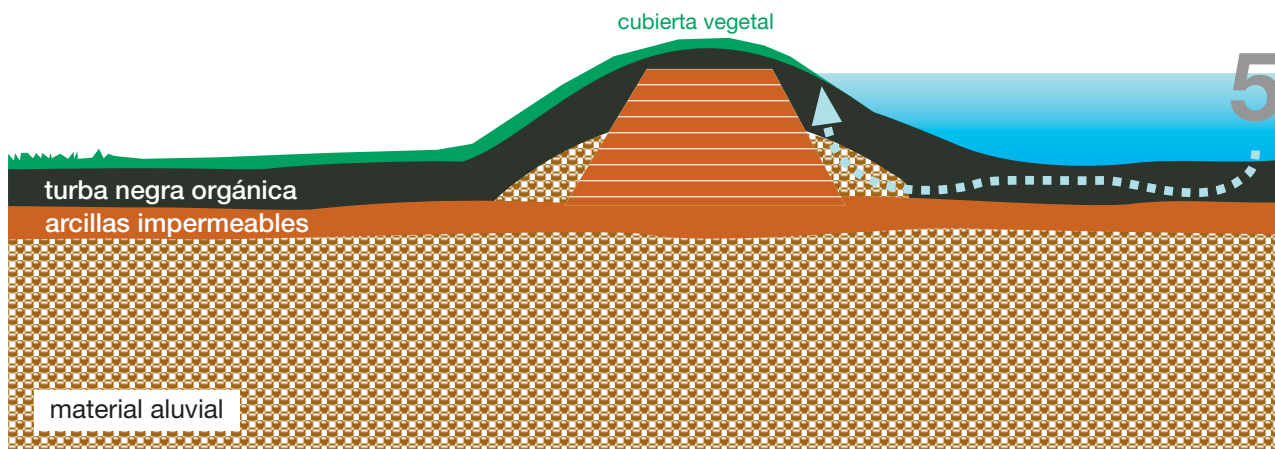
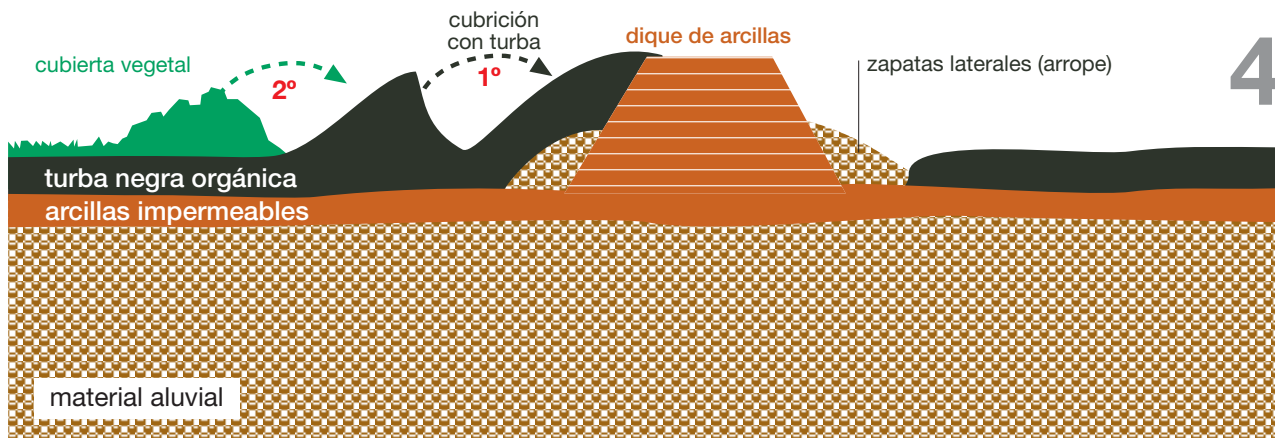


2



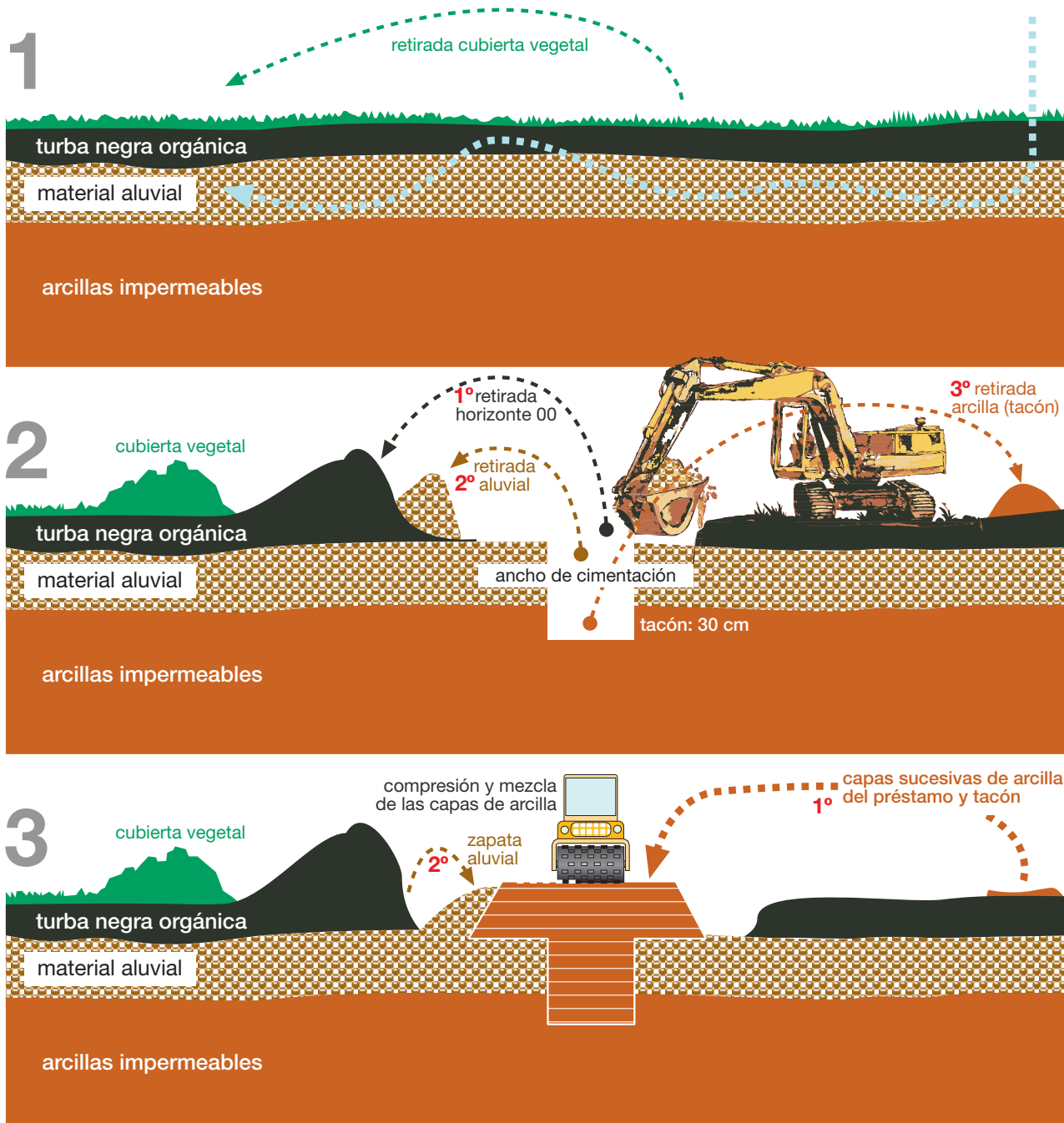
3

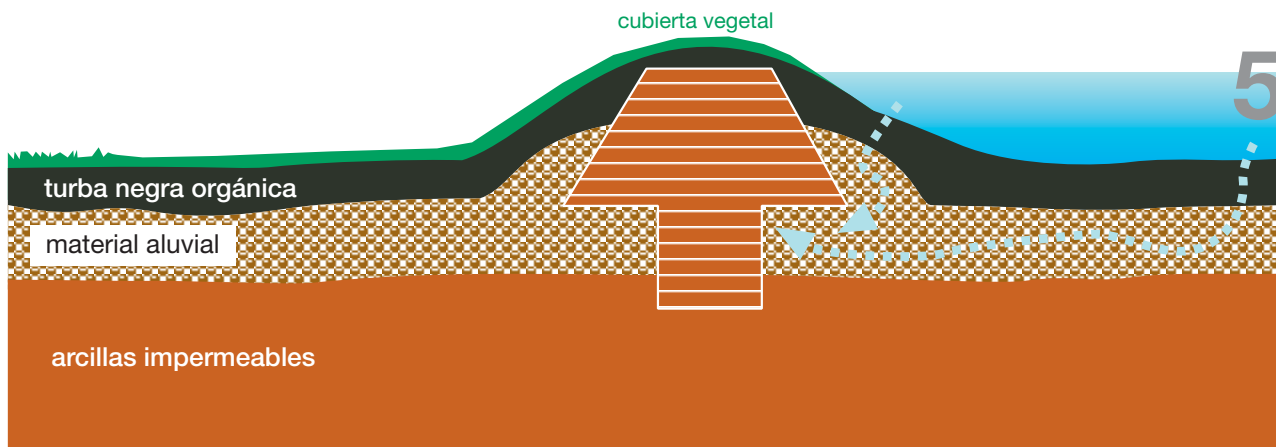
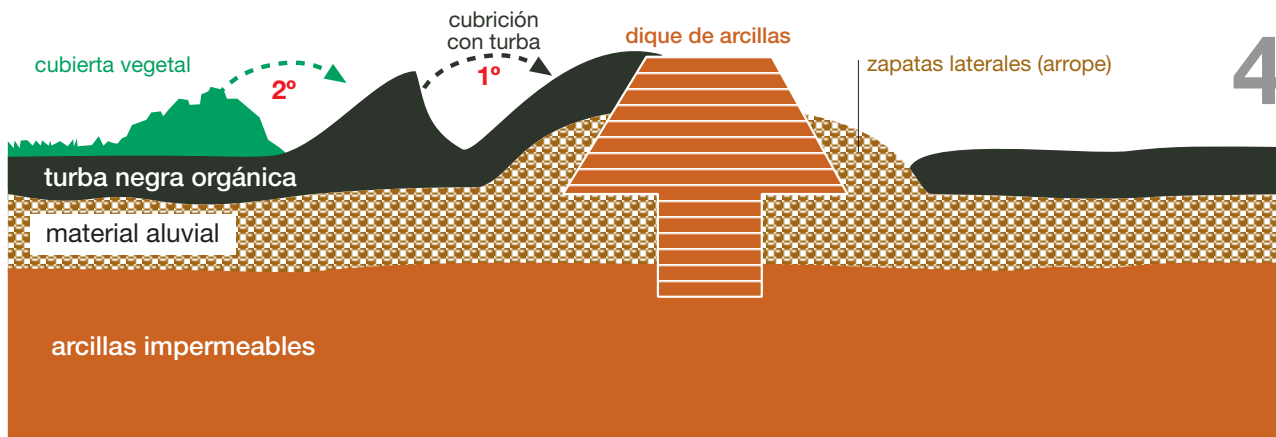




longitud	altura máxima	anchura máxima	anchura media
dique 1			
770 m	2 m	24 m	20 m
dique 2			
531 m	1,4 m	25 m	19 m

Proceso constructivo de los diques 3 y 4





longitud	altura máxima	anchura máxima	anchura media
dique 3			
715 m.....	2,7 m.....	32 m	22 m
dique 4			
666 m.....	2,5 m.....	39 m	25 m

■ Estructuras de derivación y regulación

Gestionarían el agua y controlarían las cotas de lámina de agua proyectadas para cada laguna. En su diseño se buscó su funcionalidad y seguridad estructural, pero sobre todo la minimización de su tamaño y su **máxima integración en el entorno natural**.

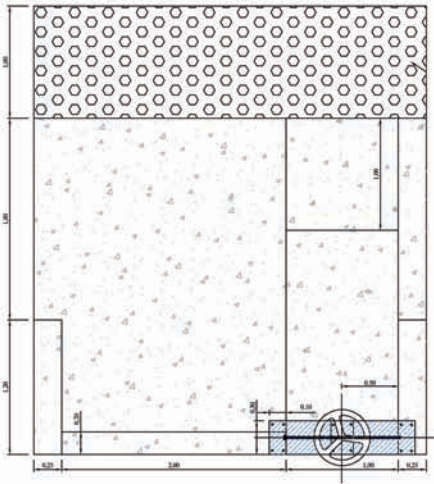
Las **estructuras de derivación** consisten en **azudes de pequeñas dimensiones** y dos tipologías básicas. La función de los azudes 1 y 2 es derivar parte de los caudales circulantes de los arroyos de San Cristóbal y Fuente Cubillo respectivamente hacia la laguna 1 y, a partir de ella y de forma secuencial, derivarlos hacia las lagunas 2, 3, 4 y 5, devolviendo aguas abajo los caudales detraídos.

El azud 3 se construyó sobre el cauce que se generó artificialmente en el proceso de concentración parcelaria, y tiene como finalidad derivar parte del caudal de Fuente Barrihuelo hacia el arroyo de San Cristóbal a través de su cauce natural y original, como se recoge en la cartografía de 1912 del Instituto Geográfico Nacional. Con ello se pretende, además de su significativa recuperación histórica, asegurar una dotación de caudales suficiente para el funcionamiento del sistema, dado que este manantial es de los de mayor y más regular caudal a lo largo del año.

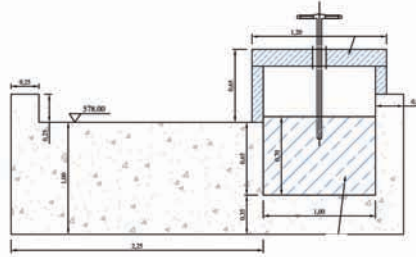
Las cuatro **estructuras de regulación**, ubicadas en cada uno de los diques de tierra, disponen de una **compuerta** que permite el vaciado de las lagunas si fuese necesario, y un **rebosadero** de nivel variable que, mediante 4 tablones de roble, posibilitan la oscilación de niveles en -1 m sobre la cota máxima de rebose. Dada la escasa pendiente de los terrenos ocupados por las lagunas, pequeñas oscilaciones en su nivel pueden generar grandes posibilidades para la gestión de especies de fauna y flora asociadas a este entorno.

Se proyectaron **pasarelas peatonales** de madera sobre las estructuras para acceder a los mecanismos de regulación hidráulica. La estructura del dique 2 incorpora un **sifón regulable** para derivar agua desde la laguna 2 a la 3 o para verter ésta directamente al arroyo de Fuente Cubillo, todo ello sin alterar ni su flujo ni su cauce.

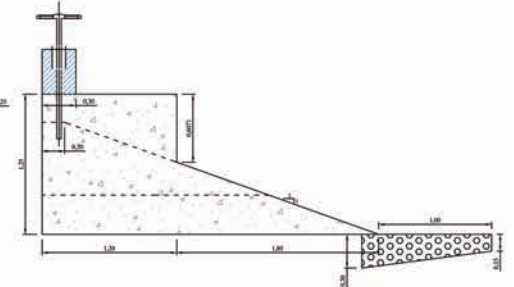
planta



alzado



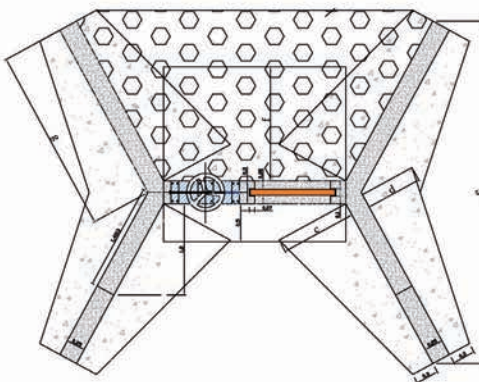
perfil



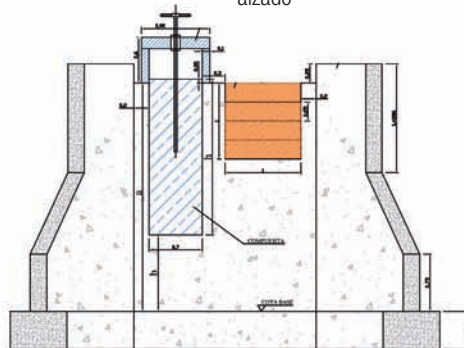
Estructura de derivación.

Estructura de regulación.

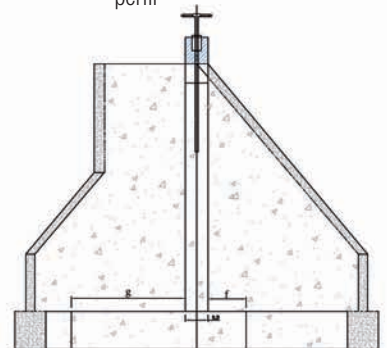
planta



alzado



perfil



sauce ceniciento



eneal



juncal



■ Tratamientos vegetales y plantaciones

Las actuaciones en este capítulo eran selectivas ya que se quería respetar el paisaje actual de pseudoestepa cerealista, y sobre todo porque se consideraba que para el tipo de avifauna que se esperaba y pretendía ocupe este humedal, era preferible una baja densidad de vegetación leñosa, especialmente de porte arbóreo.

Objetivos:

- Naturalizar e integrar en el entorno las estructuras y elementos construidos.
- Apantallar zonas o tramos de recorrido de los visitantes que fueran sensibles o pudieran generar molestias a la fauna.
- Habilitar focos de dispersión de determinadas especies vegetales, especialmente helófitos (eneal, carrizo, etc.) tan condicionantes en el proceso de naturalización del sistema y de su colonización faunística.
- Introducir algún elemento de ruptura en las líneas horizontales del paisaje que a la vez sirviera de referencia y marcaje de territorio a multitud de especies animales.
- Recrear a través de pequeñas formaciones los ecosistemas vegetales que potencialmente ocuparían estas zonas sin la intervención humana, como claro recurso didáctico-divulgativo a añadir a los muchos ya existentes.
- Generar nuevos microhábitats que potenciasen al máximo la diversidad y densidad faunística y florística del entorno de la actuación.

Se proyectó la **plantación** de especies leñosas arbóreas y arbustivas (bosquetes de fresneda mixta, de quejigo, saucedas arbustivas y pantallas mixtas), y la plantación de macrófitos acuáticos (eneal, carrizal y juncal), agrupados en orlas identificadas por una especie principal y su cortejo florístico característico.

También se contempló la **reimplantación de la cubierta vegetal herbácea preexistente** en los terrenos sobre las superficies afectadas por las obras mediante su recubrimiento con una fina cobertera de las tierras vegetales decapadas.



■ Estructuras para fauna y observatorios

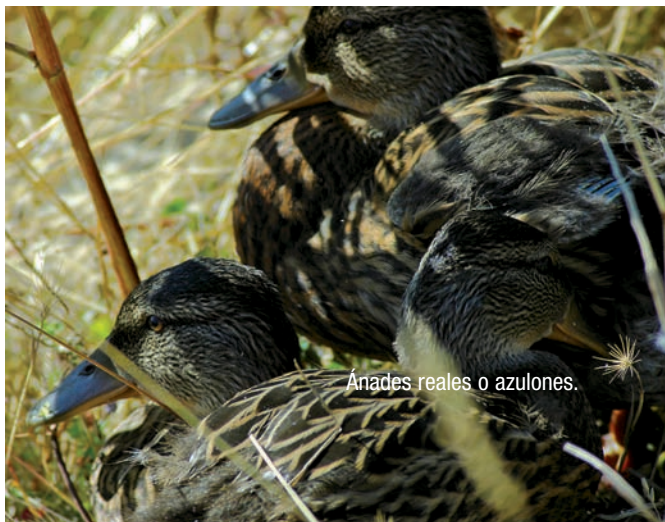
La concepción y diseño de la recreación y recuperación de esta zona húmeda es una buena actuación faunística. No obstante, se fomentaría la querencia de ciertos taxones mediante intervenciones concretas:

— Colocación de nidales y posaderos para grandes aves (cigüeña, garza, etc.) con el fin de potenciar sus posibilidades de reproducción en una zona de segura presencia, y nidales para páridos y otros pajarillos insectívoros, y quirópteros, por su efectividad como «controladores biológicos» de las poblaciones de insectos.

— Colocación en zonas seleccionadas de las orillas de restos vegetales (ramas, troncos, raíces, preferiblemente árboles enteros) procedentes de labores de desbroce y eliminación de vegetación, de forma que constituyesen áreas de refugio tanto para aves y mamíferos como peces y anfibios.

La diversidad y heterogeneidad de las orillas de una zona húmeda son fundamentales para garantizar una disponibilidad suficiente de lugares de alimentación y refugio para todas las especies asociadas a estos biotopos. En actuaciones de recreación o recuperación de zonas húmedas, en que las primeras fases de funcionamiento del ecosistema recreado se caracterizan por una menor diversidad faunística y una dominancia de especies ecológicamente oportunistas, especialmente importante incrementar artificialmente esta disponibilidad de refugio y alimento.

Las principales especies favorecidas son las aves acuáticas como patos y ánades de diferentes especies, fochas, pollas de agua y zampullines chicos. Las ramas también constituyen un posadero interesante para otras aves como martín pescador, ruiseñor bastardo, carricero común o zarcero común. Por otra parte, la zona sumergida es un buen refugio para diversas especies de peces que colonizan el humedal o para la puesta de algunos anfibios.



Ánades reales o azulones.

Fitodepuradora: «humedales artificiales»

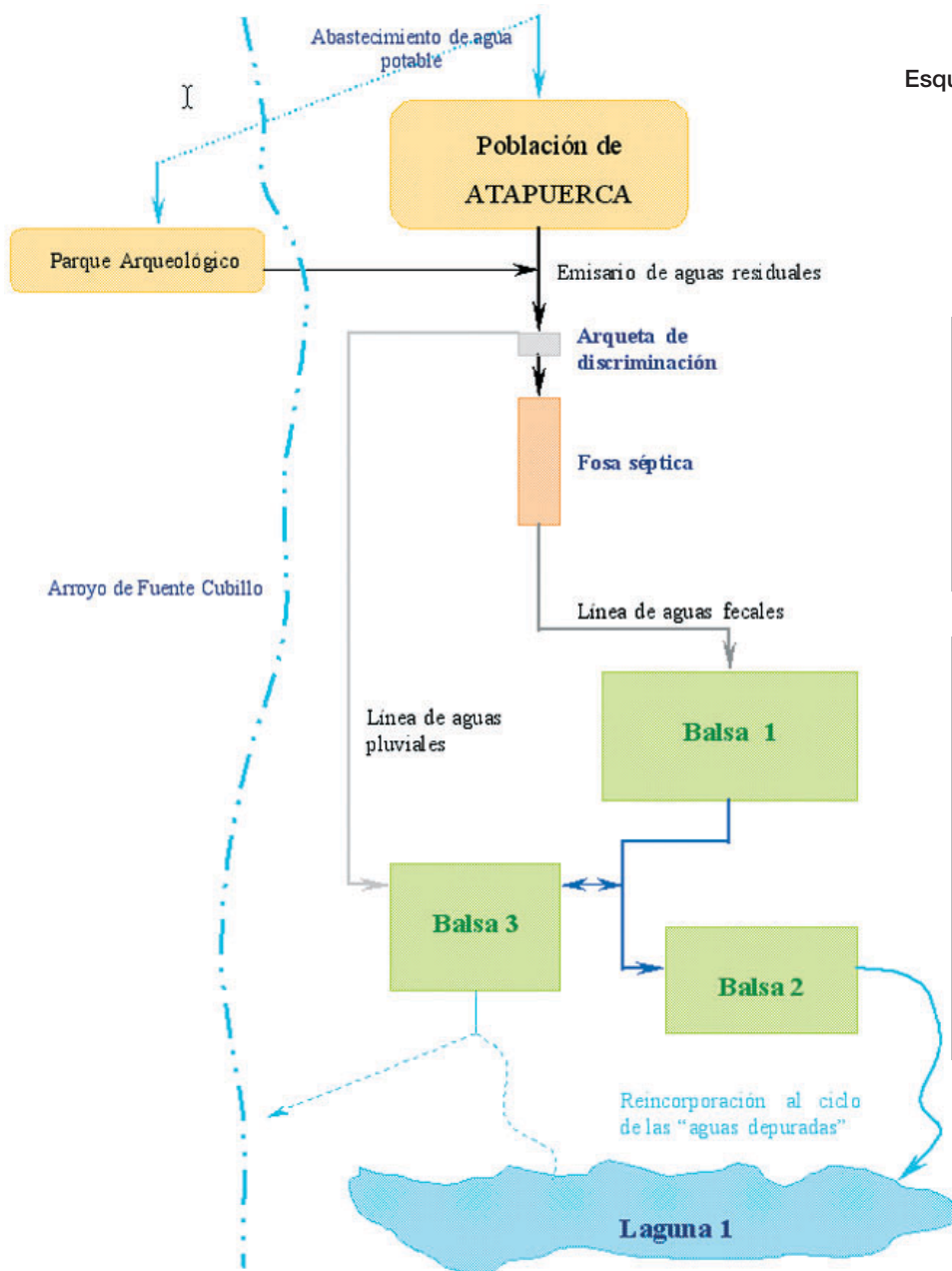
Para la construcción de una depuradora de las aguas residuales de Atapuerca, se planteó un sistema altamente innovador en nuestro país y en perfecta sintonía con las nuevas políticas y necesidades de desarrollo sostenible del que, por otra parte, este proyecto podría convertirse en un ejemplo y referente.

El sistema de depuración consta de varias etapas y es una combinación de diferentes técnicas de tratamiento, de entre las que cabe destacar los «humedales artificiales» o «lecho de macrófitas», con los que se lleva a cabo el tratamiento secundario y terciario de las aguas residuales y el pretratamiento de las pluviales.

A pesar de la aparente simplicidad del sistema, la depuración de las aguas se realiza a través de la interacción de procesos biológicos, físicos y químicos, similares a los que se producen en los lechos bacterianos, los fangos activados y los sistemas anaeróbios. Los procesos que se llevan a cabo son los siguientes:

- Bioconversión y biodegradación de compuestos orgánicos y sustancias biodegradables por bacterias aeróbicas, bacterias facultativas y anaerobias.
- Filtración y sedimentación de sólidos suspendidos y sedimentables.
- Eliminación de nitrógeno por nitrificación/desnitrificación, volatilización y asimilación vegetal.
- Eliminación de fósforo mediante asimilación vegetal, filtración, sedimentación y adsorción.
- Absorción y asimilación vegetal de metales pesados, y deposición por sedimentación.
- Eliminación del 99% de los patógenos fecales por decaimiento natural, procesos internos de predación y procesos de competencia alelopática a través de excrección de antibióticos en las raíces de las plantas y/o de las bacterias asociadas a ellas.





Esquema de la fitodepuradora.

PRETRATAMIENTO Y TRATAMIENTO PRIMARIO (FOSA SÉPTICA)

TRATAMIENTO SECUNDARIO Y TERCIARIO: «HUMEDALES ARTIFICIALES»



Los **humedales artificiales** son sistemas biotecnológicos que imitan los procesos autodepuradores que de forma espontánea se producen en las zonas húmedas naturales.

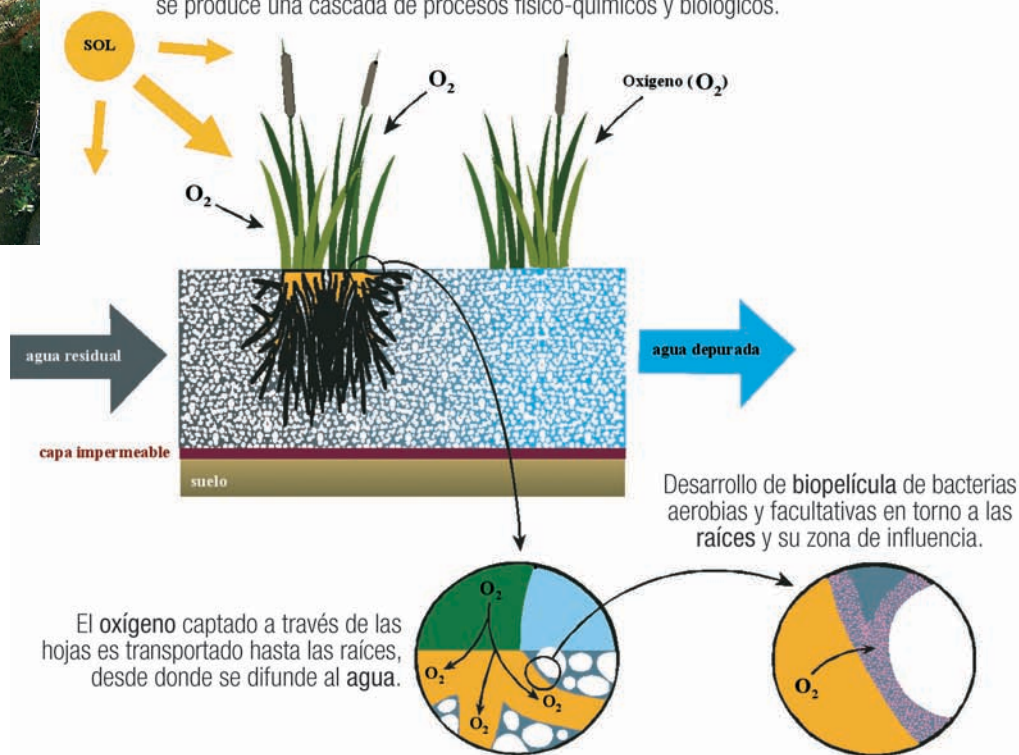
Concebidos como sistemas de tratamiento de las aguas residuales, constituyen una propuesta altamente innovadora y se perfilan, frente a los sistemas convencionales, como una de las soluciones de depuración más competitiva y ventajosa para los pequeños núcleos rurales.

En este sistema de depuración, el sol es la única fuente de energía, que transforma las sustancias contaminantes en biomasa vegetal, por lo que su coste de mantenimiento es prácticamente nulo.

La superficie de las lagunas depende del clima local, de la orientación y, fundamentalmente, de la cantidad y calidad del afluente contaminado.

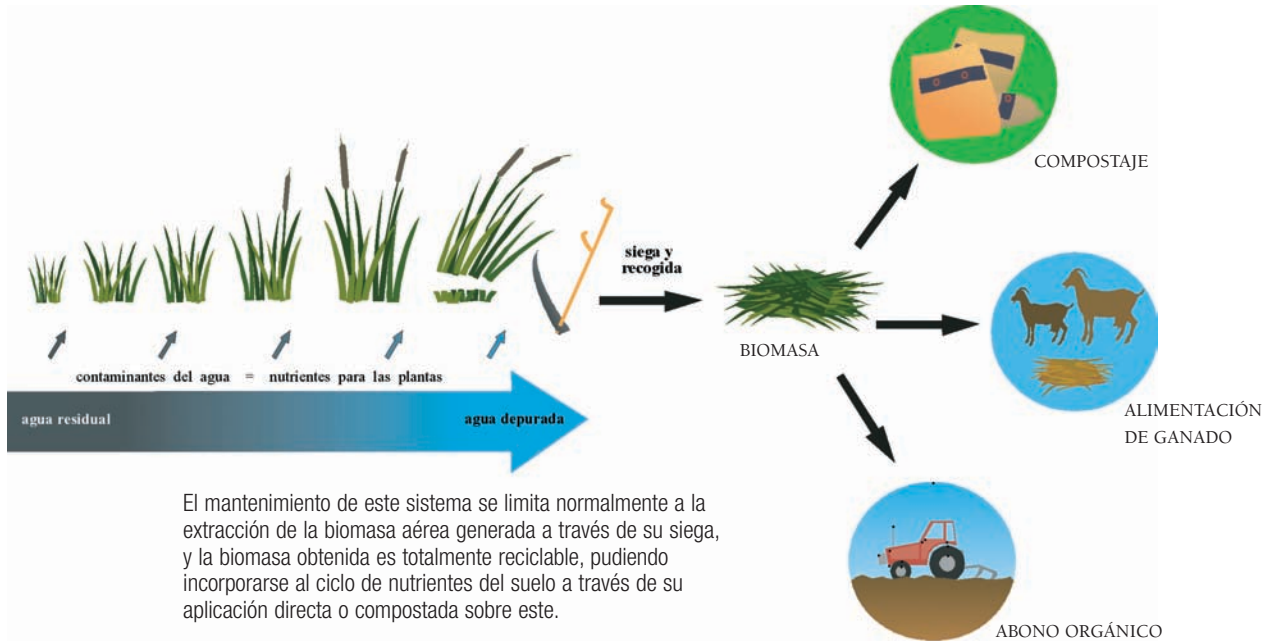
Inicialmente desarrollados en el norte de Europa en los años 80 del siglo pasado, han tenido una amplia difusión en los países más avanzados (Alemania, Francia, Finlandia, Estados Unidos, etc).

Con la **energía solar**, las plantas realizan la fotosíntesis, toman como nutrientes los contaminantes del agua residual, y bombean hasta las raíces el oxígeno que necesitan la **bacterias depuradoras**. Paralelamente se produce una cascada de procesos físico-químicos y biológicos.



Fitodepuradora de Arévalo (Ávila), la primera planta de este tipo construida en España (HYDRA, 1997) y la más extensa hasta el momento, con 4.000 m² de superficie.





El proceso constructivo de la fitodepuradora contempla distintas etapas:

- Discriminación y conducción de aguas desde la fosa séptica existente (tratamiento primario)
- Conformación de balsas
- Impermeabilización de balsas y sustratos
- Elementos de alimentación y regulación de caudales
- Implantación de macrófitos acuáticos (*Typha latifolia*, *Phragmites australis*, *Scirpus lacustris*, *Lemna minor* y *Salix atrocinerea*)
- Cercado del recinto de la depuradora

Restauraciones y estructuras auxiliares

Aquí se han incluido todos los elementos de acondicionamiento, dotación y divulgación necesarios para desarrollar el **programa de uso público** que requeriría la puesta en escena de este proyecto.

■ Rehabilitación del **viejo molino harinero**

Situado frente a las lagunas 3 y 4, y accesible desde Atapuerca a través del «Camino del molino», se reconvertiría en un punto de encuentro de las lagunas. Actuaciones:

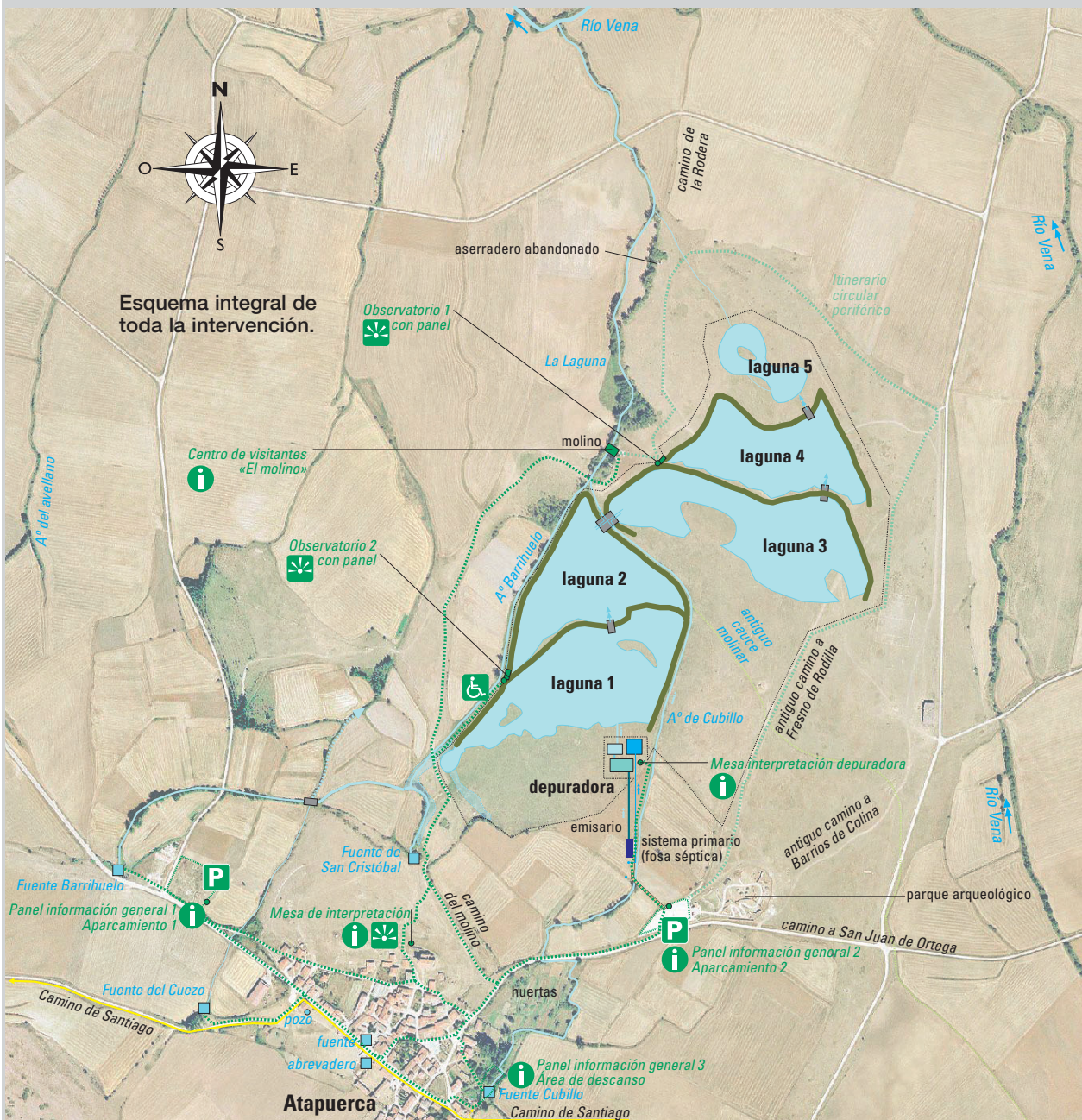
- Acondicionamiento del caz: limpieza, arreglo y rejunte de los muros y reja, y limpieza selectiva del cauce.
- Rehabilitación del edificio del molino. Las intervenciones sobre la estructura actual del edificio serían básicamente el saneo y la reconstrucción de los elementos dañados o no recuperables. Como aspecto más novedoso citaremos que en uno de los dos rodeznos se acoplaría un alternador para producir energía eléctrica que iluminase el interior y que se convirtiera en un recurso educativo.

■ Acondicionamiento del **lavadero de Fuente Cubillo**

Fuente Cubillo, elemento singular del casco de Atapuerca con un manantial que brota agua cristalina y que conserva dos singulares abrevaderos y un lavadero, se acondicionaría como zona de recepción y descanso para visitantes, en especial para los peregrinos en época estival. En ella nace el arroyo del mismo nombre que alimentaría el complejo de las futuras lagunas y tradicionalmente hizo funcionar el «molino harinero» y la «fábrica de carros», por lo que se convertirá en inicio de uno de los «caminos del agua» proyectados.

- **Observatorios y pantallas visuales** naturales
- **Cercados y pasarelas** de madera
- Acondicionamiento de **itinerarios** y **aparcamiento**
- **Panelería** y señales informativas





USO PÚBLICO

«Los caminos del agua»



itinerario opcional

acceso peregrinos

observatorio
mirador



panel con información
centro de información



panel descriptivo



aparcamiento

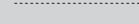


HUMEDAL

dique



vallado actual



vallado nuevo



laguna



compuerta, sifón



Uso público

Recuperar un humedal ante el déficit que existe de estas formaciones en nuestro país y depurar las aguas de una localidad con sistemas de bajo impacto son, por sí mismas, actuaciones necesarias y de indudable **beneficio para el entorno**. Pero su valor intrínseco se puede potenciar mediante un programa de uso público para que, a su vez, sean beneficiosas de forma directa a la población local (recurso educativo y económico) y visitantes (recurso educativo y de ocio), además del beneficio indirecto que genera, ya que la mejora de la calidad ambiental redunda en la mejora de la calidad de vida de las personas. Por ser experiencias innovadoras, surtirán un **efecto demostrativo** para que puedan ser aplicadas en otros lugares.

Su puesta en valor requeriría un programa publicitario que diese a conocer el complejo (ámbito nacional e internacional), y otro informativo/educativo (ámbito local y comarcal) que aproveche tanto los nuevos recursos —humedal y depuradora— como los ya existentes —fuentes, lavaderos, molino— en un entorno relevante de por sí como es la Sierra de Atapuerca.



En teoría, cuando un centro de interés se transforma en un **recurso económico**, se fortalece su conservación: lo respetan aquellos que ven sus valores naturales y los que obtienen algún beneficio directo de él. En este caso hablamos de la creación de un recurso turístico para la comarca (alojamiento, restauración, guías, etc.) y un recurso cinegético, ya que el humedal mejora las poblaciones de algunas anátidas que ya se cazan en el coto.

Por otro lado es un **recurso cultural** muy interesante para los visitantes potenciales. Una parte estará interesada concretamente en los ecosistemas acuáticos y otra parte la conforman los usuarios circunstanciales: peregrinos de paso y visitantes del yacimiento arqueológico. A todos ellos les queremos hacer llegar un único mensaje: **la importancia del ciclo del agua para la vida**. Las intervenciones realizadas y los recursos que ya posee esta localidad permiten mostrar gran parte de los elementos de este ciclo y sus interrelaciones, ciclo que comienza en un colector singular del agua de precipitación: la Sierra de Atapuerca.



Fuente Ongama nace a los pies de la sierra y conduce hasta el río Vena el agua que se infiltra en el karst de Atapuerca.



El elemento más significativo es el complejo lagunar —a partir de ahora «Las lagunas de Atapuerca»—, por el atractivo natural que tiene el agua en el subconsciente humano en cualquiera de sus formas y favorecido, como hemos dicho, por la repercusión del lugar en el que se encuentra: Atapuerca. Para evitar un uso indiscriminado y masivo que pudiera sobrepasar la capacidad de carga del medio, **su explotación será sostenible, bajo una filosofía de ocio natural/cultural de bajo impacto y con un programa educativo asociado: «Los caminos del agua».**

Es evidente que la puesta en valor de este recurso requiere un control que evite su deterioro y garantice su conservación, por lo que se consideró necesario un servicio de **seguimiento** y vigilancia en el tiempo.

■ Itinerario autoguiado y programa educativo «Los caminos del agua»



Fuente Cubillo antes de la intervención.

Un paseo definido autoguiado o dirigido por intérpretes de la naturaleza para grupos (con reserva previa) enlazaría los centros de interés para **explicar el ciclo del agua** empleando como recurso el entorno de Atapuerca. El recorrido no sería circular y tendría diferentes ramales y combinaciones para realizar en ambos sentidos. Partiría de los dos aparcamientos. Uno ya existe y el otro está previsto en esta intervención. Otro punto de inicio desde un área de descanso en «Fuente Cubillo» (entrada este del pueblo) estaría concebido para los peregrinos que llegan desde Agés haciendo el Camino de Santiago.

En primer lugar se visitarían los manantiales, pozos y fuentes del pueblo, explicando de forma sencilla y amena sus características, historia y usos tradicionales. Paseando por el pueblo se llegaría hasta el alto de la iglesia, un mirador natural que ofrece una buena visual de todo el circuito y que presentaría el complejo lagunar al visitante. Allí encontrarán una mesa de interpretación que explica todo lo que ven y que localiza los observatorios, el centro de visitantes de «El molino» y la fitodepuradora.

Desde la iglesia se podrá bajar hacia los observatorios (Oeste) o hacia la depuradora (Este), comunicados entre sí por el «Camino del molino» y por el antiguo «Camino de Fresno de Rodilla». A las lagunas, valladas, nos aproximaremos desde los dos observatorios. En el centro de visitantes de «El molino» se ofrecerá información tanto de la historia del viejo molino harinero como de la restauración de las lagunas, de su fauna, flora, dinámica, etc. En la depuradora encontrarán otra mesa de interpretación que explicará el interesante proceso de depuración de las aguas residuales de Atapuerca mediante humedales artificiales, a imagen y semejanza de lo que hacen los ríos de forma natural. Las mesas informativas son menos impactante en el paisaje (menor altura) y más cómodas de leer que un panel vertical.

Se regresaría al pueblo o a los aparcamientos.

■ Recursos impresos y difusión

- Folleto-guía sencillo y claro del itinerario y los recursos, con información concisa y amena. Será suficiente para el paseo autoguiado.
- Folleto y cartel publicitario que dé a conocer el complejo lagunar.
- Librito con información pormenorizada de «Los caminos del agua»: fauna, flora, historia, etc.
- Página web para la información y publicidad del programa, descarga de unidades didácticas para trabajar el ciclo del agua en centros educativos, asociaciones culturales, etc. y solicitud de reservas para las visitas concertadas. Se contempla la edición de material publicitario y un programa en los medios de comunicación con fines promocionales.



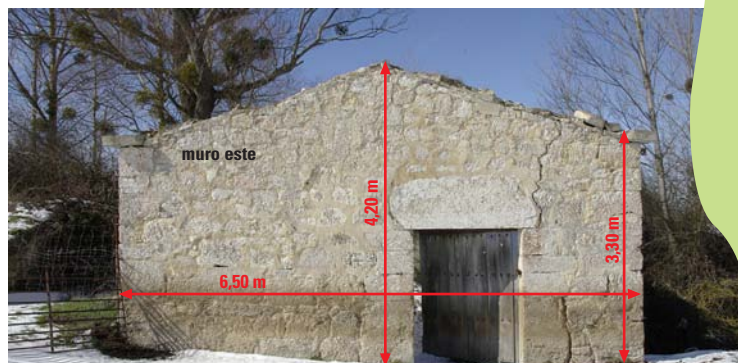
■ Otros soportes informativos y estructuras asociadas

Se plantea restaurar el **antiguo molino harinero** como centro de información sobre este tipo de edificaciones y el aprovechamiento del agua para producir energía mecánica y eléctrica. También contará con paneles que describan la intervención realizada y la fauna y flora que encontraremos en el sistema lagunar. Dos **observatorios, paneles y mesas de interpretación** facilitarán la comprensión del medio.

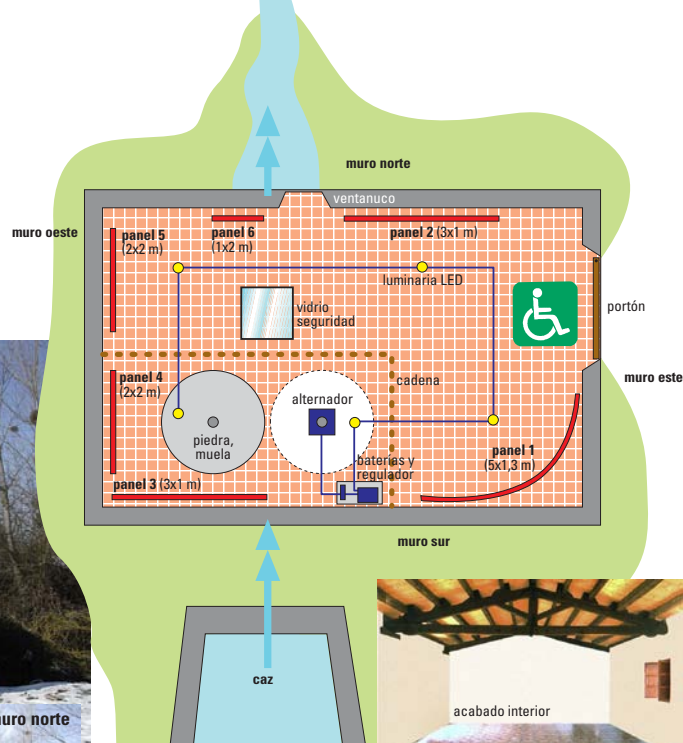
Dos **aparcamientos** en las entradas del pueblo evitarán el colapso del centro urbano. Está prevista la adecuación de una parcela de 1.000 m² junto a la carretera (entrada Oeste, acceso principal desde la N-1). El estacionamiento desde Agés (acceso Este) se resuelve con el aparcamiento de 2.000 m² existente en el parque arqueológico.

Propuesta de portada de la guía «Los caminos del agua en Atapuerca».

Estado inicial del molino (ruinas) y propuesta de reconstrucción como punto de información de las lagunas. Esta adecuación también tiene finalidad educativa, enfocada a la generación de energía: se respeta una de las muelas con su uso tradicional (funcional), energía mecánica para moler grano, pero se adapta el segundo eje para generar la electricidad que iluminará los paneles del molino.



caz



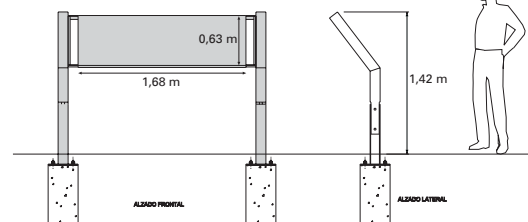
Zona del futuro aparcamiento al oeste del pueblo y soportes informativos.

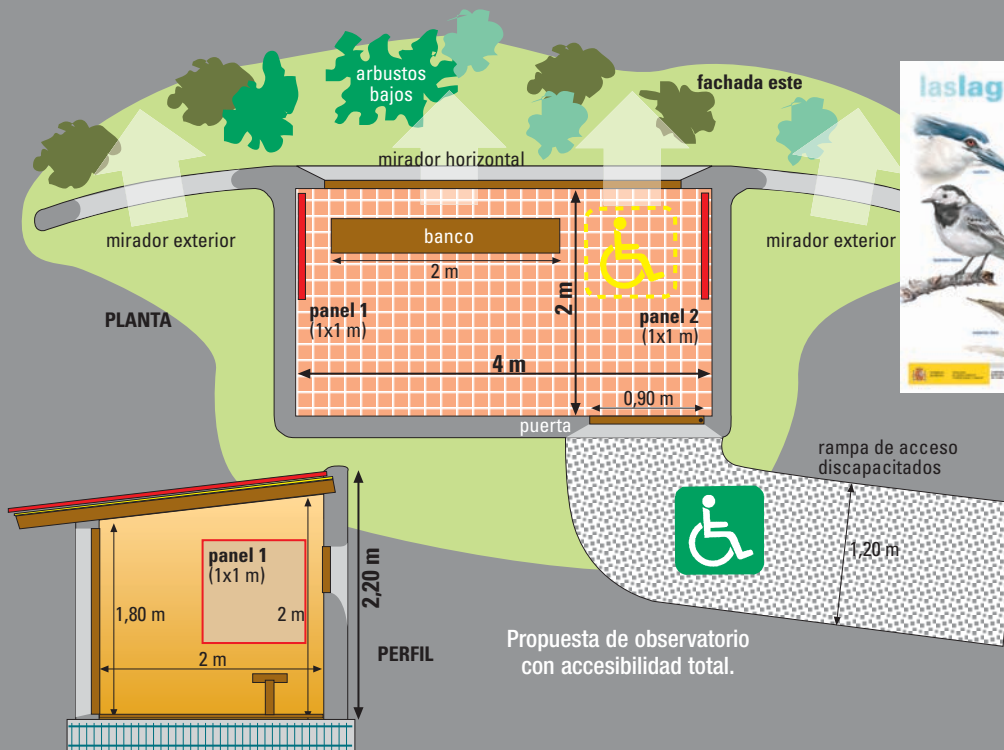


punto de información



zapata de hormigón (0,40 m)





Modelo de panel del observatorio para la identificación de especies.

Ilustraciones de Manuel Sosa.



Modelo de mesa informativa en el mirador de la iglesia.



4

La obra



Descripción general

La puesta en obra de recuperar y recrear zonas húmedas ha constituido un apasionante reto para el equipo técnico de la Confederación Hidrográfica del Duero y sus colaboradores: Hydra s.l., redactora del proyecto y asistencia a la dirección de obra, y Audeca s.l., empresa contratista.

Se ha recuperado —con un cierto grado de recreación— el **antiguo humedal de Atapuerca**, que se alimenta hidráulicamente con el sistema kárstico de la Sierra de Atapuerca a través de las numerosas fuentes y manantiales surgentes, así como del nivel freático existente en cada momento. Las cinco lagunas construidas forman un sistema interconectado que amplía las potencialidades de la actuación.

Las unidades mas importantes y de más difícil ejecución han sido las ligadas al **movimiento de tierras**, dado que inicialmente se retiraron y acopiaron para su posterior uso tanto la **tierra vegetal** como el **terreno aluvial**. Posteriormente se construyó el **dique de arcilla local**, procedente del préstamo, para conformar entornos hidráulicos cerrados, y por último se volvieron a colocar y extender los materiales retirados, consiguiéndose un **alto grado de naturalización**.

Colonización de
eneas en la laguna 1.
Noviembre de 2009.



Los sistemas se han diseñado con **criterios de integración en el entorno y progresiva capacidad de naturalización y autorregulación en todos sus aspectos**, desde la conformación batimétrica de cada laguna hasta las actuaciones vegetales y faunísticas encaminadas a acelerar el proceso de colonización. El entorno de las lagunas se ha dotado con elementos como **observatorios, pasarelas, vallas y pantallas vegetales** para permitir la observación de las diferentes especies animales que se instalen en ellas sin perturbar su actividad. Se ha ejecutado la recuperación y adecuación para nuevos usos de diversos elementos de valor cultural y etnográfico ligados al agua, existentes en la población de Atapuerca como el **molino harinero** y un **lavadero cubierto**, habiéndose colocado, por ultimo, **cartelería explicativa**.

Las aguas residuales de la localidad, previo tratamiento primario en la fosa séptica existente, se someten a un **completo proceso de depuración** a través de unos «lechos de plantas acuáticas» también denominados «**humedales artificiales**». El sistema diseñado no genera costes energéticos de explotación puesto que los flujos hidráulicos se producen **por gravedad**, y son las plantas a través de la fotosíntesis las que invierten la energía solar en proporcionar oxígeno al lecho bacteriano depurador que se desarrolla en su entorno radicular y sobre el sustrato granular que las soporta. Los contaminantes del agua son de esta forma asimilados como **biomasa vegetal**.

En conclusión, acabada la obra e iniciada la vida de las lagunas, se ha logrado un conjunto de humedales con un alto grado de naturalización progresiva que suponen una recuperación del dominio público hidráulico, la mejora del buen estado ecológico de las aguas, la adecuación para su uso público y la recreación de unos espacios de alto valor para la fauna.

Vista general de las lagunas desde el mirador de la iglesia. Junio de 2009.



Molino.

Lagunas

- Movimiento de tierras
- Estructuras de regulación y derivación
- Construcción de diques
- Naturalización de los diques
- Plantaciones

Las formaciones compactas de *Carex* en la zona 1 y 2 obligaron a disgregar esta malla natural con un «rotabator» antes de la retirada y almacenaje de esta capa vegetal. Una vez terminados los diques, se recubrieron con estos propágulos desmenuzados para restablecer la flora original en la nueva estructura de contención.



26-07-2007. Se inician las obras con los movimientos de tierra del préstamo, que al final de la obra se transformará en la laguna 5.



Se comenzó la intervención con la retirada de 50 cm del horizonte orgánico de forma selectiva: primero un decapado superficial portador de los restos vegetales frescos, sus órganos reproductores vegetativos y banco de semillas de mayor viabilidad.

Posteriormente se retiraron los 40 a 45 cm restantes y se almacenaron en cordones para su uso posterior en la cubrición de los diques de arcilla.



En las zonas que ocupan las lagunas 3, 4 y 5 se retiraron los 30 cm de suelo orgánico de la misma forma, y posterior retirada selectiva de los 20 a 25 cm restantes.

Los montones de capa vegetal tuvieron unas dimensiones máximas determinadas para evitar su apelmazamiento.



Bajo el horizonte orgánico quedó al descubierto el depósito aluvial de cantos rodados.

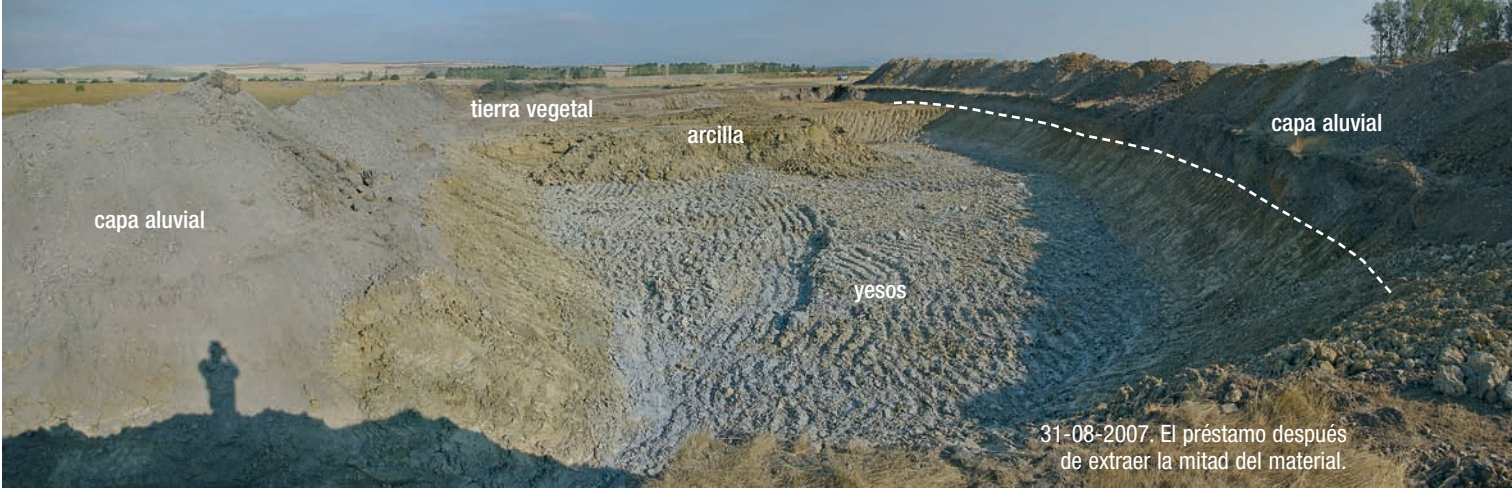
Movimiento de tierras

Préstamo y obtención de arcillas



El préstamo (futura laguna 5) es la zona de extracción de las arcillas impermeables utilizadas para construir los diques. Esta bolsa de arcillas fue localizada en los trabajos previos de prospección, y ha evitado el tener que transportar este material del exterior. Los sondeos iniciales también determinaron que el volumen de este depósito era suficiente para construir los 4 diques.





Bajo la capa de arcillas afloran yesos que no deben formar parte del dique por ser solubles en agua. El trabajo de extracción, por lo tanto, fue meticuloso y preciso: en las tongadas sólo debía haber arcilla.



11-05-2008. La zona de préstamo inundada.





Estructuras de regulación y derivación



11-9-2008. Encofrado y hormigonado del azud del arroyo Cubillo.



20-9-2007. Armazón de acero corrugado para la estructura de regulación de la laguna 3. Dos fases.





Los diques de las lagunas 3 y 4 requerían la excavación de un tacón sobre el que se recrecería la estructura de contención.



Construcción de diques



Dique de arcilla terminado, en su cota de coronación. Inmediatamente después fue cubierto con una capa de tierra orgánica.



Pata de cabra compactando y amasando las capas de arcilla dentro del tación.



El control de la humedad y la densidad de la arcilla compactada en el dique era continuo.





20-4-2008. El carácter higromorfo de éste terreno se ha hecho patente a lo largo de toda la obra. Desde noviembre que comenzaban las lluvias hasta el verano, las obras se detenían por quedar toda la zona anegada.



Recubrimiento de diques



31-8-2007. La capa orgánica retirada inicialmente se extiende inmediatamente después de finalizar la compactación de cada tramo de dique para evitar la pérdida de humedad de las arcillas. También se cubren las zapatas de compresión que discurren paralelas al núcleo.



Desagüe natural del sistema lagunar por rebose en la cota más baja de la orilla de la laguna 5 hacia el arroyo Barrihuelo.



Plantaciones



14-2-2009. Cola de la laguna 4.



10 de diciembre de 2008.





Laguna 2 helada.

Fitodepuradora

- Excavación de las balsas
- Membranas
- Sistemas de regulación
- Plantación



26-10-2007. Excavación de las balsas.



10-10-2008. Extendiendo el relleno granular.





Diferentes momentos de la construcción del colector que llega a la fitodepuradora.







2-6-2009. Plantación de helófitos en las balsas de gravas.



28-9-2009. Evolución de la plantación.



Restauraciones

- Molino y su dotación expositiva
- Lavadero



Cámara que aloja los rodeznos.



Desmantelamiento interior del molino.

Molino

Cimiento del
muro oeste.





Rehabilitación
de la cubierta.



Caz del molino tras las obras
de limpieza y adecuación.





Restauración del mecanismo hidráulico de molienda.

Lavadero



Distintas fases de la recuperación del lavadero de Fuente Cubillo.



Otras actuaciones

- Aparcamiento
- Observatorios 1 y 2 de las lagunas y pantallas visuales
- Estructuras para la fauna (posaderos, cajas nido, refugios vegetales)
- Pasarelas sobre diques y arroyos
- Vallado perimetral de las lagunas
- Paneles y mesas de información



80

20-6-2010. Colocación del cartel informativo en el mirador de la iglesia sobre un soporte vertical.



Aparcamiento nº 1.

Colocación de los postes para el vallado perimetral.



12-11-2010. Soporte vertical con panel informativo en el aparcamiento nº 2.

Pasarela de madera sobre estructura de regulación 1.



Colocación de pantallas visuales en el observatorio 1.





Distintas fases de la colocación del observatorio
nº 2 sobre la solera de hormigón.



Fin de obra



Pasarela.



Observatorio
y pantallas
visuales.



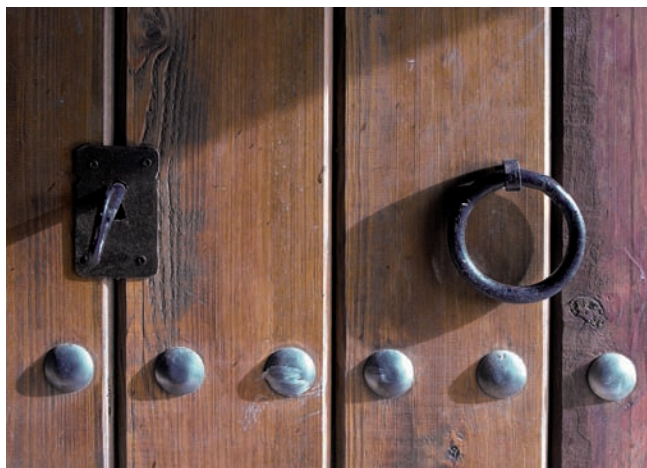
Fitodepuradora.



Aspecto exterior del molino tras su restauración.



Turbina, regulador y sistema de baterías de carga lenta que generarán la energía eléctrica necesaria para iluminar los paneles informativos del molino.



Vista aérea de las lagunas de Atapuerca
en noviembre de 2009.





5

Mantenimiento y seguimiento





Las especiales características del sistema de depuración y de las lagunas diseñadas en el proyecto obligan al desarrollo de trabajos de mantenimiento y de un control y seguimiento de los procesos depurativos y naturales que garantice el buen funcionamiento de todo el sistema, asegurando que evoluciona dentro del marco establecido.

Mantenimiento del complejo

■ **Trabajos de mantenimiento del sistema de depuración.** El sistema de depuración diseñado se basa en el funcionamiento de un complejo ecológico, por lo que requiere un mantenimiento menos intenso y constante que los sistemas convencionales, y que se minimizará conforme el sistema alcance grados de madurez.

La metodología para el control y supervisión técnica de las operaciones de mantenimiento y gestión del sistema de depuración de aguas residuales, llevadas a cabo por la empresa adjudicataria de las obras de ejecución durante el primer año que abarca el periodo de garantía, fue la siguiente:

- Establecimiento del programa de actuaciones de mantenimiento y asesoramiento y supervisión de las mismas.
- Realización de visitas por técnicos especialistas con periodicidad variable en función de la época del año y las necesidades de mantenimiento.
- Medición *in situ* de parámetros físico-químicos y toma de muestras para determinaciones específicas de laboratorio del agua entrante y saliente del sistema, así como interpretación de resultados.
- Análisis y evaluación del estado de la vegetación helofítica y las comunidades de microorganismos que contribuyen en conjunto a la depuración del agua.
- Atención de imprevistos y asesoramiento en actuaciones extraordinarias de mantenimiento y gestión.

■ **Trabajos de mantenimiento de las lagunas y otras instalaciones.** Aunque se trata de una actuación con un alto grado de naturalidad, es preciso en los primeros años realizar labores de mantenimiento y gestión de la vegetación (posibles riegos, siegas, tratamientos, ...) y de las instalaciones (control hidráulico, reparación y reposición de elementos dañados, mantenimiento de equipos, ...) que «dirijan» la evolución del sistema hacia su autosostenimiento.

Todos estos trabajos requieren un buen conocimiento del estado y la evolución del sistema, por lo que se considera necesario un adecuado seguimiento y control técnico que establezca las directrices de mantenimiento y gestión posterior.

La metodología para el control y supervisión de las operaciones de mantenimiento y gestión del sistema de lagunas y de las instalaciones desarrolladas de acuerdo con el proyecto ha sido:

- Establecimiento del programa de actuaciones de mantenimiento y asesoramiento a partir de los resultados del seguimiento técnico del sistema.
- Realización de visitas por especialistas con periodicidad variable en función de la época del año y las necesidades de mantenimiento.
- Atención de imprevistos y asesoramiento en actuaciones extraordinarias de mantenimiento y gestión.

Trasplante de
eneas en zonas
descubiertas.



Seguimiento de la evolución del sistema

Para **conocer la evolución y maduración del entorno húmedo creado** aplicaremos un protocolo de muestreo y tutoría de los diferentes elementos bióticos, abióticos y de las relaciones que se existen entre ellos.

El seguimiento es **fundamental para la adecuada toma de decisiones sobre la gestión del humedal**: es necesario un conocimiento preciso de los procesos que operan en el sistema. Tanto la fitodepuradora como el complejo lagunar son «**obras vivas**» **que crecen y evolucionan**, de elevada incertidumbre en los procesos ecológicos, por lo que **se requiere un preciso «manual de instrucciones»** realizado en base a la comprensión de estos procesos.

Además, este tipo de restauraciones, por su carácter pionero, presentan un deficiente conocimiento científico en muchos de sus aspectos. El sistema de depuración y las lagunas de Atapuerca constituyen una gran oportunidad para la ampliación del conocimiento de estos sistemas y su extrapolación a otros proyectos similares. Las unidades o áreas de trabajo en las que se estructura el trabajo son:

■ Registro del funcionamiento hídrico del sistema

Control y medición de las entradas y salidas de agua del sistema, registrando caudales en los arroyos vertientes y cotas de lámina de agua y volumen en las lagunas. El seguimiento de esta información, junto con el registro meteorológico y la evolución de las comunidades biológicas serán quienes determinen el régimen de funcionamiento de los sistemas de derivación y regulación de agua.





■ Caracterización química, física y microbiológica de las aguas

Conocimiento de las características físico-químicas y microbiológicas del agua del sistema de depuración y de las lagunas y arroyos, así como su interrelación e influencia en los procesos bióticos.

El seguimiento de este elemento se lleva a cabo a través del establecimiento de transectos de muestreo fijos en cada laguna, en los que se realizan mediciones *in situ* con periodicidad mensual mediante sonda multiparamétrica, estableciendo perfiles en profundidad con medición de los parámetros considerados a intervalos de 0,5 m, con la finalidad de evaluar el comportamiento diferencial de las masas de agua. Así mismo se toman muestras inalteradas de agua mediante «botella tomamuestras limnológica» a diferentes profundidades para su posterior traslado y análisis en laboratorio.

- Se analizan *in situ* los siguientes parámetros: T^a , turbidez, conductividad eléctrica, salinidad, O_2 disuelto, % saturación de O_2 , pH, potencial redox.
- Se analizan en laboratorio los siguientes parámetros: nitratos, nitritos y nitrógeno Kjeldhal, fósforo total y soluble, dureza, alcalinidad, carbonatos y bicarbonatos, sulfatos, calcio, sodio-potasio, cloruros y sólidos en suspensión.

■ Seguimiento limnológico

La productividad biológica de las lagunas y su capacidad para albergar formas diferentes de vida está condicionada en gran medida por el desarrollo y evolución que experimenten el fitoplancton y zooplancton como elementos basales de la cadena trófica. Por otra parte, el desarrollo cualitativo y cuantitativo de los diferentes organismos acuáticos, con especial atención al bentos, constituye un excelente indicador de la evolución del sistema. Su conocimiento se revela muy importante para la gestión integrada.

Se han establecido puntos de muestreo fijos en los que, con periodicidad estacional, se realiza toma de muestras de fitoplancton, zooplancton y bentos, con instrumental y metodologías específicas de muestreo y fijación para su determinación en laboratorio y estimación de productividad a través de medición de «clorofila A».



Con ello se persigue:

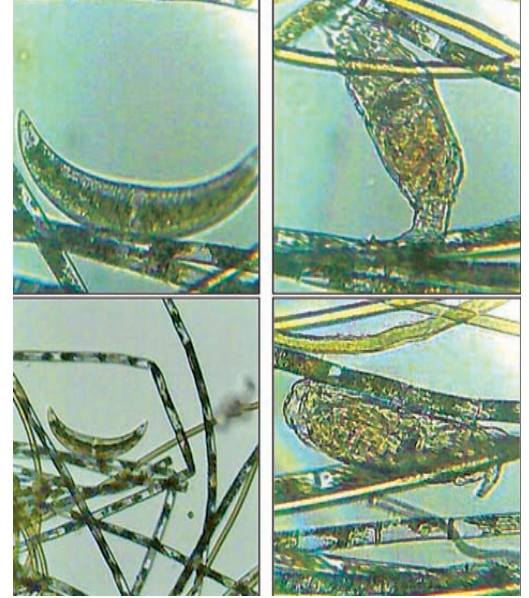
- Caracterizar las comunidades planctónicas (zoo y fitoplancton) y de macroinvertebrados bentónicos.
- Analizar las relaciones entre las especies de estas comunidades y las condiciones físico-químicas del agua, prestando especial atención al estado trófico del ecosistema.

Esta caracterización implica:

- Determinación de los taxones encontrados (nivel de especie).
- Cálculo de la «clorofila A» del fitoplancton.
- Cuantificación de cada uno de los taxones de fitoplancton (nº indiv./litro).
- Cuantificación de macroinvertebrados en parcelas acotadas y extrapolables.
- Cálculo de índices de calidad biótica de los subsistemas del humedal, en base a la información obtenida.

■ Seguimiento de la flora y la fauna

Se debe estudiar el grado de establecimiento y desarrollo de la vegetación en su colonización natural espontánea, con atención especial a las comunidades acuáticas.



Laguna 1.



La fauna resulta habitualmente el elemento más visual y atractivo en este tipo de proyectos, al menos para el gran público. Su mayor o menor presencia y diversidad depende en gran medida del tipo de gestión que se lleve a cabo (desarrollo de vegetación alcanzado, productividad de la masa de agua o intervención sobre ella, ...). Modo de ejecución:



Remero (chinche acuática).

1. Antes de iniciar las obras se debe verificar la presencia, distribución, densidad y estado de conservación de las diferentes especies de vertebrados en la zona.
2. Hay que valorar la dinámica y posibilidades de colonización faunística de los ambientes húmedos recuperados/recreados.
3. Correlacionar la dinámica de colonización con las características de los medios físico y biótico generados.
4. Evaluar las posibilidades de dispersión natural y valorar posibles acciones para favorecerlas.
5. Detectar presencia de especies introducidas o dañinas a la evolución natural del sistema, proponer y llevar a cabo actuaciones de gestión específica.

Para ello se realizarán muestreos periódicos específicos de toda la superficie de la actuación y zonas de influencia, con identificación de especies de flora y fauna y medición del desarrollo de comunidades vegetales y animales de interés, para la realización de:

- Cartografía de la evolución anual de las diferentes comunidades vegetales.
- Inventario florístico exhaustivo y seguimiento de colonización.
- Inventarios de especies de fauna y seguimiento de colonización.
- Elaboración de manual de conclusiones y recomendaciones de actuación.



Sapo corredor.

Actuaciones de gestión

Las operaciones de gestión del sistema de depuración y las lagunas son diferentes a las del simple mantenimiento y se basan en el buen conocimiento de la evolución del sistema. Entre las actuaciones posibles están por ejemplo la renovación extraordinaria o el cambio en el régimen de entradas de agua del sistema de lagunas mediante apertura o cierre de compuertas, el establecimiento de oscilaciones periódicas en su nivel, la realización de tratamientos de control selectivo de vegetación acuática, el desarrollo de operaciones de control de especies invasoras

(poblaciones de cangrejo, peces invasores, etc), el control de elementos perturbadores, la introducción de especies animales procedentes de centros de recuperación, la instalación de sistemas que faciliten la colonización de nuevas especies, la mejora de elementos de anidamiento, la introducción controlada de especies vegetales y/o animales propias de la zona cercana con dificultades de colonización natural o con poblaciones en regresión por pérdida de sus hábitats naturales, la señalización de especies vegetales, el acondicionamiento de zonas de ribera anejas o las operaciones de limpieza y recuperación.



Cangrejo rojo.

Estas acciones englobadas dentro de la gestión del sistema se deben llevar a cabo de forma dinámica, en tiempo real y a la vez programadas y coordinadas en función de la evolución de los diferentes elementos vivos del sistema (fauna, flora, limnos), es decir en base a los resultados y conclusiones del seguimiento técnico.





