

**MASTER  
INVESTIGACIÓN EN  
INGENIERÍA PARA EL  
DESARROLLO  
AGROFORESTAL**

# **TRABAJO DE INVESTIGACIÓN TUTELADA**

**“La restauración de las laderas de Saldaña y el capital natural”**



---

**Universidad de Valladolid**

**Alumno:**

Iñigo Oleagordia Montaña

**Cotutores:**

Joaquín Navarro Hevia  
Almudena Gómez Ramos

**Fecha:**

7 de septiembre de 2012

**Centro:**

E.T.S.II.AA. Palencia



---

## Índice de contenido

1	Introducción.....	1
2	Objetivos.....	6
3	Antecedentes.....	7
3.1	Metodologías para la valoración de los servicios ecosistémicos.....	7
3.2	Anualización y actualización de los valores ecosistémicos.....	9
4	La Restauración hidrológico-forestal de Saldaña.....	10
5	Materiales y métodos.....	15
5.1	Valoración de los recursos forestales.....	15
5.2	Valoración de la mejora de la calidad del agua.....	19
5.2.1	Cálculo del volumen de sólidos en suspensión.....	19
5.2.2	Cálculo del coste de depuración de los sólidos en suspensión.....	21
5.3	Valoración de la disminución de los riesgos por deslizamientos de laderas.....	23
5.3.1	Cálculo del riesgo en la población de Saldaña.....	23
5.3.2	Estudio de referencia para la transferencia de beneficios.....	27
5.3.3	Efecto de la renta.....	27
5.3.4	Transferencia de beneficios.....	28
5.4	Valoración del paisaje.....	28
5.4.1	Caracterización de la mejora paisajística.....	29
5.4.2	Fundamentos teóricos para la transferencia de la función de demanda del precio de la vivienda.....	31
5.4.3	Excedente medio derivado del paisaje.....	32
5.5	Agregación de los valores de la restauración hidrológico-forestal.....	35
5.5.1	Proceso Analítico Jerárquico -metodología AHP, "Analytic Hierarchy Process"-.....	35
5.5.2	Consistencia de la matriz de Saaty.....	38
5.5.3	Encuestas para la metodología AHP.....	38



5.5.4 Determinación de los pesos de cada atributo.....	39
6 Resultados.....	40
6.1 Tasa de descuento.....	40
6.2 Valor actual y anual de los servicios ecosistémicos.....	41
6.3 Valor económico total o agregado de la restauración hidrológico-forestal en Saldaña.....	41
7 Discusión de resultados y conclusiones.....	43



## 1 Introducción

El desarrollo tecnológico a través de la razón ha permitido satisfacer las necesidades y deseos humanos a lo largo de la historia, en la búsqueda de una relativa "emancipación de la naturaleza". El culmen de este pensamiento lo constituye la edad moderna a través de la Ilustración, que principalmente se caracterizó, entre otras, justamente de este tipo de desvinculación a través de la razón [Rodríguez, 2001].

Sin embargo, en la actualidad, edad contemporánea, se están reconociendo los bienes y servicios que el medio ambiente genera a la sociedad, planteándose su importancia vital para el desarrollo humano y su urgente necesidad de conservación. Todos los habitantes del mundo dependen de los ecosistemas de la tierra y de los servicios que generan, tales como alimento, agua, protección frente a enfermedades, regulación climática, desarrollo espiritual o disfrute escénico [Millenium Ecosystem Assessment, 2005].

Los servicios ambientales o ecosistémicos (SE en adelante) son los beneficios que la humanidad obtiene de los ecosistemas [Liu, 2010], estableciéndose la siguiente clasificación básica [Millenium Ecosystem Assessment, 2005]:

- 1. Servicios de abastecimiento**, como los recursos forestales, productos agrícolas, recursos hídricos o medicamentos.
- 2. Servicios de regulación**, por ejemplo, filtración de contaminantes mediante humedales, regulación climática, mantenimiento del ciclo hidrológico, polinización o protección frente a riesgos naturales.
- 3. Servicios culturales**, incluyendo actividades recreativas, valores espirituales y estéticos, educación.
- 4. Servicios de soporte**, como la edafogénesis, fotosíntesis o el ciclo de nutrientes.

Desde finales del siglo XX, los esfuerzos de conservación se han justificado por razones científicas o ético-morales, pero la continua presión sobre los ecosistemas hace que estos argumentos no sean suficientes [Morse-Jones, 2011]. La urgencia de su conservación ha generado un movimiento hacia el estudio de las relaciones entre el capital natural y el bienestar humano, a través de acercamientos más sistemáticos para medir, modelizar y cartografiar los SE, efectuar su análisis de gobernabilidad y proceder a su valoración [Turner et al, 2008]. Para ello, se requieren técnicas adaptativas, innovadoras e integradoras que permitan resolver los problemas ecológicos y socio-económicos, tanto presentes como futuros, además de resolver las múltiples cuestiones que se le están planteando a la Ciencia [Ecological Complexity, 2010].

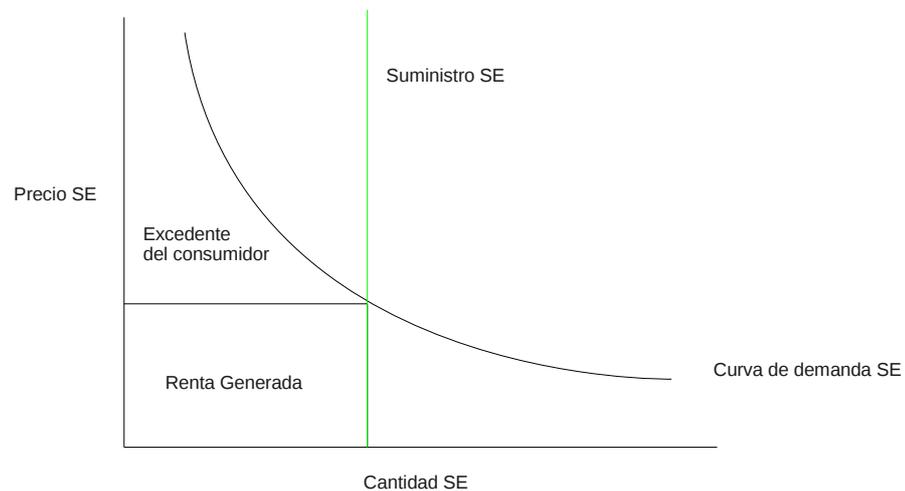
Tal y como establecen [Costanza et al, 1998], a partir del debate generado a partir de su artículo en la revista *Nature* [Costanza et al, 1997] en el que se estimaba la valoración de 17 servicios ecosistémicos -SE- a nivel planetario en 33 trillones \$/año, y que supuso la publicación de una serie de 13 comentarios en la revista *Ecological Economics*, la necesidad de la valoración de los SE deriva de la continuas elecciones e intercambios que los humanos -tanto a nivel individual como social- realizamos continuamente; elecciones que claramente implican un ejercicio de valoración individual o social.

A la hora de realizar la valoración económica de los SE se deben tener en cuenta 5 aspectos básicos [Morse-Jones et al, 2011]: definición espacial y temporal explícita,

análisis marginal, doble contabilidad, no-linearidad de los procesos ambientales subyacentes y el *efecto umbral*. Se procede a continuación a desarrollar cada uno de estos aspectos.

**Definición espacial explícita:** los SE dependen de forma directa de los procesos y funciones ambientales generados en el contexto geográfico y temporal en el que se enmarcan. Por ejemplo, el abastecimiento de agua dependerá de la existencia de un manantial en una cuenca vertiente, efecto que no existirá en otra cuenca aneja, pero que carezca de dicho manantial, aunque sí que pueda contribuir por infiltración a suministrar agua al mismo.

**Análisis marginal:** el ejercicio de valoración es más eficiente cuando estudia cambios medioambientales marginales, dado que permite ir construyendo de forma ordenada el excedente del consumidor (figura 1).



**Figura 1.** Curva de suministro y demanda con la definición de excedente del consumidor para un determinado SE.

El análisis marginal supone estudiar cambios incrementales en cada unidad del bien ambiental, para evaluar cuál es el efecto de ese cambio en el excedente del consumidor. En esencia, esta forma de proceder previene el que el cambio sea tan grande que sus efectos provoquen un cambio sustancial en otro elemento económico -condición "*ceteris paribus*"-, de forma que se produjera un desplazamiento en la curva de demanda tipo representada en la figura 1.

**Doble contabilidad:** se debe evitar la doble contabilidad durante el proceso de agregación en la valoración de los SE, evitando considerar SE competitivos o interdependientes. Los servicios competitivos son aquellos que no pueden coexistir simultáneamente, de forma que la existencia de uno impide la existencia del otro. En el análisis ambiental esto supone que tras la identificación de los SE existentes se deben delimitar aquellos que pueden coexistir, de forma que posteriormente puedan agregarse sus valoraciones.

**No linealidad:** los ecosistemas y otros sistemas físicos responden de forma no-linear a las perturbaciones, lo que debe ser tenido en cuenta tanto en el proceso de modelización, como en la generalización o agregación de los resultados.



---

**Efecto umbral:** se refiere al estado del sistema en el que un pequeño cambio en un factor genera una respuesta brusca en dicho estado.

El rebosamiento de estos límites puede dar lugar a cambios muchas veces incorregibles. [Rockström et al, 2009] han elevado a la máxima agregación dichos límites estableciendo nueve límites que no deberían ser rebasados a escala global, entre los que se incluyen la sobreexplotación de los recursos hídricos, el cambio de uso del suelo y la pérdida de biodiversidad.

Sin llegar a esos niveles de generalización, la valoración ambiental permite resolver también problemas de índole local o regional. El derrame de crudo del *Exxon Valdez* en 1989 sobre la costa de Alaska, fue el primer caso en que la sentencia judicial consideró los **valores de no uso** como parte de los daños generados [Liu et al, 2010]. Su valoración se realizó mediante el método de la "Valoración Contingente", estimando los daños en 2.800 millones \$. La abogacía de la Compañía apeló la falta de conocimiento de las personas implicadas en el estudio, lo que llevó a la Administración Nacional de Asuntos Atmosféricos y Oceánicos (*National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA, EE.UU.*), a desarrollar un estudio sobre la validez de los estudios de Valoración Contingente para la estimación de este tipo de valores, dando como resultado la aceptación del método, siempre que se cumplieran una serie de premisas.

Un campo importante de la aplicación de la valoración ambiental reside en los **análisis Coste - Beneficio** y los **análisis Coste - Eficacia** [Liu et al, 2010], para determinar si los beneficios generados por la ejecución de cualquier acción compensan la pérdida de otros atributos -medioambientales, sociales, etc-; o incluso para la elección entre distintas alternativas. Un ejemplo famoso de esta aplicación la constituye el caso de la *New York Catskills Mountains Watershed*, en el que las Autoridades neoyorquinas junto con la concesionaria de agua potable del área metropolitana, realizaron un análisis coste-eficacia entre la restauración integral de la cuenca vertiente al embalse de abastecimiento, o la construcción de una nueva planta potabilizadora de dimensiones desproporcionadas. El resultado determinó que la viabilidad de la restauración no sólo era superior a la de la construcción de la infraestructura, sino que era hasta un orden de magnitud superior. De esta forma, la Administración invirtió entre 1 y 1,6 billones \$, que supusieron un ahorro de entre 6 y 8 billones \$, una tasa interna de rendimiento del 170% y un período de recuperación de 4-7 años.

Este tipo de análisis, sin embargo, no son muchas veces tenidos en cuenta. La Comisión Europea no los ha implementado para el estudio de los efectos que la regulación comunitaria tiene hasta 1990 [Liu et al, 2010], al contrario que los EE.UU., en los que la Orden Ejecutiva 12911 de 1981, emitida por el Presidente Reagan, ya estableció la obligatoriedad de realizarlos para conocer el impacto de la normativa emitida por la Administración.

De todo ello se desprende que la valoración ambiental se está convirtiendo en una herramienta necesaria para la gestión del territorio y la protección de los servicios ecosistémicos necesarios para el desarrollo de las actividades humanas. Existen varios estudios de valoración de estos servicios ecosistémicos enfocados a la mejora de la gestión medioambiental [Nahuelhual, 2006], con mayor o menor grado de acierto en su valoración.

Con el presente trabajo, se pretende aportar nueva información sobre los servicios que generan unas actuaciones fuertemente arraigadas en nuestro país: las restauraciones



---

hidrológico-forestales -RHF-, centrando el estudio en la RHF realizada por la Confederación Hidrográfica del Duero en 1930 cerca de la población de Saldaña (Palencia).

Para ello, se estimará el valor asociado de cuatro servicios ecosistémicos compatibles entre sí, de forma que se obtenga un Valor Agregado de la mencionada restauración, que permita poner en valor el capital natural adquirido y los servicios ambientales generados gracias a su ejecución. Los servicios ecosistémicos estudiados son los siguientes:

1. Recursos forestales generados, empleando técnicas clásicas de valoración forestal.
2. Aumento de la calidad del agua, mediante el método de los costes evitados, para lo que se ha calculado el volumen de sólidos en suspensión que tendrían entrada en el río Carrión en caso de que no se hubiera ejecutado la restauración, y posteriormente se ha evaluado el sobredimensionamiento necesario de la Estación Depuradora de Aguas Residuales de la población de Saldaña para conseguir su retirada.
3. Defensa frente a riesgos por deslizamientos de las laderas, empleando el método de la transferencia de beneficios a partir de un estudio previo sobre la disponibilidad a pagar -DAP- de una población suiza, que tiene conciencia del riesgo de avalanchas, y adaptándolo a las circunstancias particulares de Saldaña mediante el efecto renta y el efecto del riesgo aplicados a la función de transferencia.
4. Paisaje, evaluando el efecto que el paisaje obtenido tras la ejecución de la restauración de las laderas ha tenido en el precio de la vivienda en la población de Saldaña.

El valor así obtenido, por otro lado, se podría igualmente emplear en cualquier análisis Coste-Beneficio que la población de Saldaña quisiera realizar, para conocer la viabilidad de cualquier proyecto en su territorio.

Se ha intentado que la valoración de estos SE permita poner en valor las actuaciones medioambientales, y más concretamente, las restauraciones hidrológico-forestales, al identificar, evaluar y valorar los principales productos y externalidades generadas. De esta forma, se demuestra que incluso únicamente desde un punto de vista económico, la conservación y restauración medioambientales son un asunto estratégico para el desarrollo de las sociedades [Comisión Europea, 2008], ya que su degradación precisaría de la aplicación de tecnología caras para suplir los efectos positivos generados, mermaría la producción de determinadas materias primas e impediría a la sociedad la posibilidad de satisfacer otros valores indirectos, como por ejemplo, el paisaje y su disfrute escénico.

Del mismo modo, este estudio es un ejemplo de aplicación de la [Directiva Marco del Agua, 2008], dado que responde a la exigencia a los países miembros de valorar de forma integrada las medidas conducentes a la mejora de la calidad de las aguas, demostrando cómo es posible hacerlo de una forma realista pero, a la vez, rigurosa.

El presente estudio se ha organizado de la siguiente forma: en primer lugar se establecen los objetivos buscados; posteriormente, en el apartado de "Antecedentes", se establecen las bases metodológicas empleadas para la valoración ambiental, realizando una breve



descripción de las metodologías existentes y de la ecuación básica para determinar las rentas anuales obtenidas a partir de los valores de los SE actualizados. Tras esto, se procede a describir la situación existente antes de la ejecución de la restauración hidrológico-forestal en los años 30, y los efectos obtenidos tras su ejecución en la actualidad, 80 años después, centrándose en las características hidrológicas, edáficas, de vegetación y erosivas de las laderas de Saldaña, así como en las características fluviales del río Carrión.

Una vez realizada esta descripción, en el apartado de "Materiales y métodos" se presenta el proceso de cálculo realizado para la valoración de cada uno de los SE obtenidos gracias a la ejecución de la mencionada restauración hidrológico-forestal, identificando claramente las variables necesarias para la conversión de los efectos ambientales a términos monetarios y obteniendo, de esta forma, los distintos valores actualizados o las rentas generadas. Posteriormente, se explica la metodología empleada para la agregación de los valores estudiados mediante el Proceso Analítico Jerárquico (metodología AHP, "Analytic Hierarchy Process") y las encuestas desarrolladas para su aplicación.

De esta forma, en el apartado de "Resultados", se presentan todos los valores actualizados, se calculan las rentas anuales obtenidas a partir de ellos, y se obtiene el Valor Económico Total resultado de agregar los valores obtenidos de forma ponderada, en función del peso o importancia relativa obtenido mediante la metodología AHP. Estos resultados se comentan finalmente en el apartado de "Discusión de resultados y conclusiones".



## 2 Objetivos

El objetivo general del presente estudio es **conocer el incremento en el capital natural de la población de Saldaña** gracias a la ejecución del *Proyecto de restauración y repoblación de las laderas de la margen izquierda del río Carrión*, realizado por [Ayerbe, 1930], mediante la consecución de los siguientes objetivos específicos:

- Valoración de los **recursos forestales** generados tras la plantación de la RHF -valor extractivo directo-.
- Valoración de la **mejora de la calidad de las aguas** como consecuencia de la menor entrada de sólidos en suspensión a la red de drenaje del río Carrión -valor extractivo indirecto-.
- Valoración de la **disminución del riesgo de deslizamientos de laderas** como consecuencia de la disminución de los fenómenos erosivos -valor no extractivo directo-.
- Valoración del **aumento de la calidad paisajística** tras la implantación de la masa forestal y la estabilidad de las laderas -valor no extractivo indirecto-.
- **Agregación** de los anteriores valores para estimar el Valor Económico Total **mediante técnicas AHP** -Analytical Hierarchy Process-.



### **3 Antecedentes**

#### **3.1 Metodologías para la valoración de los servicios ecosistémicos**

Existen múltiples metodologías para la determinación de los valores de los ecosistemas. Incluyen tanto valoraciones monetarias, que emplean como indicador la variable "precio", como no monetarias, también denominadas evaluaciones, que emplean otro tipo de indicadores. Entre estas últimas se incluyen medidas de actitud y de preferencia, valoración cívicas, métodos de decisión científicos, indicadores ecológicos o métodos de preferencia biofísicos [Liu et al, 2010].

Por su naturaleza, los métodos más empleados en la actualidad para los análisis coste-beneficio y para la elección de alternativas son los que estiman en términos monetarios el valor de dichos servicios.

Se procede a continuación a realizar un breve resumen de las principales métodos de valoración monetaria, siguiendo lo indicado por [De Frutos Madrazo, 2008].

##### **Método de los precios hedónicos**

Método de valoración indirecto basado en el hecho de que muchos bienes que se comercializan habitualmente en el mercado son un agregado de características o atributos individuales que no se pueden intercambiar de forma independiente, de forma que el incremento de una unidad adicional de estas características generaría un determinado aumento del precio.

Esta cantidad adicional se denomina precio hedónico. Se podría definir como la "disposición marginal a pagar del consumidor por una unidad adicional de la característica componente" [Azqueta, 1994]. El objetivo de la técnica hedónica consistiría en hacer explícitos los precios sombra de cada uno de los atributos componentes. Por ejemplo, el precio que un cliente está dispuesto a pagar por un servicio turístico depende de las instalaciones en las que se le aloja, su localización y calidad ambiental así como de la cercanía a la red pública de transporte. Por una mejora adicional de cada uno de estos factores el cliente estaría dispuesto a pagar una determinada cantidad adicional, lo que permitiría descubrir el valor asociado a este factor.

##### **Método del coste del viaje**

Método de valoración indirecto basado en la relación de complementariedad entre bienes públicos y privados dentro de la función de utilidad de los consumidores. Esa relación se produce cuando el disfrute del bien ambiental requiere la participación del individuo en otro mercado a través del consumo de otros bienes -acceso al transporte- sin los cuales no sería posible el disfrute del primero.

Se trata de una técnica muy empleada para la valoración de espacios naturales, generalmente situados lejos de los principales núcleos de población.

##### **Métodos basados en las funciones de producción**



---

Existen varias técnicas de valoración ambiental basadas en los servicios o indicadores ambientales como argumentos de la función de producción (Ec. 1)

$$Q=f(L,K,E) \quad (\text{Ec. 1})$$

donde  $K$  y  $L$  son los dos factores productivos que tradicionalmente define la microeconomía -labor y capital- y  $E$  el indicador ambiental. Conocida la anterior función de producción, se conocería el efecto de un cambio en el indicador ambiental  $dQ/dE$ . Posteriormente, este cambio podría transformarse en una medida monetaria mensurable que valorara el cambio medioambiental acontecido.

Hay que decir que la estimación de estas funciones queda fuera del alcance de la teoría económica, al tratarse de aproximaciones más cercanas a ciencias como la física, química, biología, etc.

### **Método de valoración contingente**

Es un método de valoración directo basado en la realización de encuestas directas a la población, con la intención de revelar un mercado hipotético para el bien objeto de estudio. De esta forma, se estiman las diversas medidas del excedente del consumidor utilizando distintas aproximaciones estadísticas y econométricas.

Se trata de un método muy empleado en el campo medioambiental -recordar la referencia a la sentencia del *Exxon Valdez* indicada en la introducción-.

### **Modelos de elección**

Al igual que el método de valoración contingente, se trata de una metodología basada en encuestas que sirven para modelizar preferencias por bienes, pero a diferencia de aquél, los bienes son descritos en términos de sus atributos y de los niveles que pueden alcanzar. A los encuestados se les presentan varias alternativas de un bien, diferenciadas por sus cualidades y valores, y se les pide que ordenen, puntúen o elijan las preferidas. En dichos atributos se incluye el coste de cada opción que debería asumir, de donde se puede inferir, a través de métodos econométricos, la correspondiente disposición a pagar.

Los modelos de elección, al contrario que la valoración contingente, permiten además conocer el efecto marginal de cada factor ambiental en la valoración, lo que muchas veces resulta muy útil.

### **Transferencia de valores ambientales**

También conocida como transferencia de beneficios, se define como la transposición de los valores ambientales monetarios, estimados con técnicas de valoración basadas o no en el mercado, en un sitio (sitio del estudio) a otra situación distinta en la que se pretende actuar (sitio de la política). La razón más importante para estas aplicaciones es el ahorro de costes que supone no tener que volver a aplicar nuevamente la metodología de valoración a la nueva circunstancia. La utilidad de esta metodología para los gestores, ha hecho que se hayan creado importantes bases de datos en la red con estudios de valoración transferibles, para que sus resultados puedan ser adaptados a otros ámbitos de estudio [McComb et al, 2006].

Ha de destacarse que la transferibilidad de estos estudios debe cumplir varios criterios referentes a la correcta definición de los bienes ambientales implicados, los sitios en los cuales se encuentran, los beneficiarios y a la calidad del estudio.

### 3.2 Anualización y actualización de los valores ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos son externalidades que el medio ambiente produce de forma anual, por el simple funcionamiento de los procesos ecológicos y físicos en los que se basan. Asimismo, por su propia naturaleza, también **se puede considerar que el flujo de estos servicios es infinito**.

Suponiendo un valor anual "g" para los SE (figura 2):

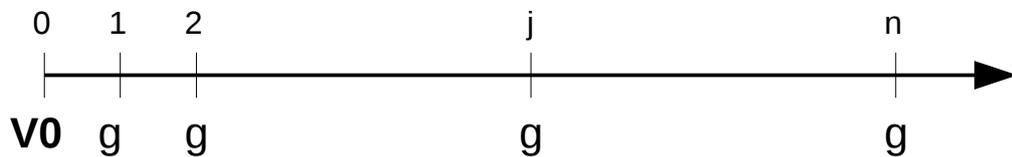


Figura 2. Anualización de los servicios ecosistémicos.

Se obtiene que el valor actualizado  $V_0$  para una tasa de descuento "r" es:

$$V_0 = \frac{g}{(1+r)} + \frac{g}{(1+r)^2} + \frac{g}{(1+r)^3} + \dots = \frac{g}{(1+r)} \cdot \left[ 1 + \frac{1}{(1+r)} + \frac{1}{(1+r)^2} + \dots \right] \quad (\text{Ec.2})$$

El término de la derecha es una progresión geométrica de infinitos términos de razón t:

$$t = \frac{1}{(1+r)}$$

Que tiene por valor el sumatorio "S":

$$S = \frac{a}{(1-t)} \quad (\text{Ec.3})$$

Sustituyendo en la (Ec.2):

$$V_0 = \frac{g}{(1+r)} \cdot S = \frac{g}{(1+r)} \cdot \frac{1}{1 - \frac{1}{1+r}} = \frac{g}{(1+r)} \cdot \frac{(1+r)}{(1+r)-1}$$



Simplificando la anterior ecuación, se obtiene que **el valor actualizado de un flujo infinito de rentas anuales es (Ec. 4):**

$$V_0 = \frac{g}{r} \quad (\text{Ec. 4})$$

**Esta ecuación básica se usará posteriormente en el apartado de resultados para anualizar y/o actualizar a la época actual el valor de los servicios ecosistémicos analizados a lo largo del estudio.**

## 4 La Restauración hidrológico-forestal de Saldaña

Siguiendo lo indicado por [Navarro et al, 2012] sobre la restauración hidrológico-forestal ejecutada por la Confederación Hidrográfica del Duero en las laderas de Saldaña, se procede a continuación a indicar sus principales características.

El entorno de Saldaña se caracteriza por un clima mediterráneo continental con inviernos largos y veranos cortos. Las precipitaciones se reparten regularmente a lo largo de todo el año, lo que supone una erosividad baja. El índice de aridez de la UNEP (P/ETP) es 0,94, lo que aunque corresponde a una zona húmeda, en cuanto a precipitación anual, ésta se puede considerar baja.

Las laderas existentes al este y noreste de la misma (ver **anexo I cartográfico**) se encuadran en una unidad morfoestructural denominada *páramos detríticos* o *rañas*, de edad miocénica o pliocuaternaria. Representan un conjunto de abanicos aluviales procedentes de la erosión de los sistemas montañosos del norte y anterior al sistema sistema fluvial actual, el cual lo modela y excava. Estos materiales geológicos quedaron al descubierto por una intensa y progresiva acción humana, de forma que prácticamente no existía un suelo definido como tal en el momento previo a la restauración. Éstos se podrían haber clasificado como en el orden de los *entisoles*, suborden *orthents* [NRCS, 2003] o *leptosoles* [FAO, 1998]. Se trata de suelos escasamente evolucionados en fuertes pendientes, con apenas un horizonte superficial diferenciado sobre la roca madre subyacente.

Atendiendo a lo establecido por [Navarro et al, 2012], este entorno presentaba a principios del s. XX fenómenos erosivos muy graves: cárcavas crecientes que provocaban coladas de barro y cascajo y caídas de bloques y deslizamientos en sus cabeceras y márgenes. Estos procesos afectaban al núcleo urbano de Saldaña con calles cenagosas durante los episodios fuertes de lluvia, contaminaban las aguas del río Carrión con altas cargas de sólidos en suspensión, colapsaban los canales de riego y provocaban el corte de la carretera entre Saldaña y Osorno.

Como solución a esta situación, la Confederación Hidrográfica del Duero redactó en 1930 el *Proyecto de restauración y repoblación de las laderas de la margen izquierda del río Carrión* [Ayerbe, 1930], mediante el cual se ejecutaron entre 1932 y 1936 algo más de un centenar de diques de gaviones, se estabilizaron las paredes de las cárcavas con palizadas y se repoblaron con unas 3.000 plantas/ha de *Pinus*, *Ulmus* y *Robinia*, principalmente, dichas laderas. La Guerra Civil Española paralizó las obras que no se retomarían hasta 3 décadas más tarde, en 1964, mediante la ejecución de una segunda fase [Azcarretazabal, 1963].

A partir del inventario realizado por [Martínez de Azagra et al, 1998], se obtiene que fueron ejecutados en total 108 diques, casi todos ellos de mampostería gavionada con el perfil escalonado aguas abajo y con el paramento de aguas arriba vertical. El vertedero es rectangular con alas de una hilada de 0,25 m de altura y 0,80 m de espesor. En general, se trata de pequeños diques de menos de 5 m de altura, presentando la mayoría una altura útil inferior a 3 m.



**Foto 1.** Diques nº 66 y 67 localizados en la cárcava nº 27 (JMB, abril 2012)

Los **resultados de la actuación** son más que notables (fotos 2 y 3); se ha conseguido una remarcable transformación del paisaje pasando de laderas desnudas, con evidentes signos erosivos, a una masa forestal bien arraigada en la cabeza, cuerpo y pie de las laderas, convirtiendo el elemento paisajístico vegetación en uno de los predominantes junto con la geomorfología.



**Foto 2.** Estado de las laderas antes de la ejecución de la restauración (Confederación Hidrográfica del Duero, 1930)



**Foto 3.** Estado actual de las laderas (JMB, abril 2012)



**Foto 4.** Movimientos en masa como consecuencia de la inestabilidad generada por los episodios lluviosos (Confederación Hidrográfica del Duero, 1930)



**Foto 5.** Estado actual de las laderas, caracterizadas por su estabilidad (JMB, abril 2012)

Se procede a continuación a resumir los principales efectos ambientales generados [Navarro et al, 2012]:

### Vegetación

El bosque ocupa la mayor parte de la zona degradada de 1930 y ejerce un eficaz control de la erosión y de los sedimentos, de forma que si Ayerbe indicaba la presencia de vegetación en un 15% del ámbito del proyecto, en la actualidad, la fracción de cubierta es cercana al 85%. El grado de aterramiento de los diques, la total protección del suelo por la cubierta herbácea y el dosel arbóreo hacen que los procesos erosivos residuales queden retenidos sin llegar a alcanzar el río.

La especie principal encontrada es *Pinus sylvestris* L., si bien se pueden encontrar en menor proporción coníferas como *Pinus nigra* Arn., *Pinus pinaster* Ait., *Cupressus arizonica* Green, *Cedrus atlantica* Man. y *Picea abies*, y frondosas como *Ulmus minor* Mill., *Robinia pseudoacacia* L., *Populus nigra* L. y *Populus x euramericana* Gui.

El sotobosque está fundamentalmente formado por *Crataegus monogyna* Jacq., *Prunus spinosa* L., *Cistus laurifolius* L., *Rosa canina* L. y *Cytisus scoparius* L.

### Suelo

Existe una evolución positiva del suelo bajo la cubierta forestal durante los 80 años de funcionamiento, si bien no se distinguen todavía con claridad horizontes de diagnóstico. No obstante, se han observado lombrices de tierra, lo que es un claro síntoma de su regeneración y evolución.

Este estado contrasta con lo indicado por [Ayerbe, 1930] según el cual los suelos se caracterizan por la ausencia del horizonte vegetal. [Azcarretazabal, 1963] simplemente señala que son "masas de arcillas amarillo-rojizas que sirven de cemento a tongadas de cantos y otros elementos".

En base a los análisis realizados por [Navarro et al, 2012] y [Martínez de Azagra et al, 1998], se observa que los suelos de los aterramientos en los diques presentan una naturaleza coherente, mientras que las laderas -desnudas o revegetadas- mantienen un



alto contenido en arcilla - entre 29% y 55%-. Los suelos de bosque presentan entre 0,39% y 1,81% de materia orgánica en el horizonte superficial y menos de 0,4% bajo éste. En las zonas desnudas no se ha encontrado presencia de materia orgánica.

Mientras que en las zonas desnudas se desarrollan costras entre 0,5 y 1 cm de espesor y de más de 10 cm de anchura, bajo las que descansa un espesor de regolito de 4 a 6 cm formado por plaquitas de 1 mm de espesor, bajo el bosque, el suelo se muestra uniforme en profundidad sin la presencia de costras ni regolito [Navarro et al, 2012].

### **Procesos erosivos**

A partir de las fotografías de 1930 [Ayerbe, 1930] se pueden identificar procesos como acaravamiento, regueros, reptación en algunos puntos de acumulación de elementos gruesos y deslizamientos planares.

Actualmente, los procesos erosivos se producen únicamente en las zonas que no se han recuperado, limitadas a las cabeceras de las cárcavas, donde las fuertes pendientes dificultan el establecimiento de la vegetación. En las zonas degradadas se observa una abundante meteorización de la roca madre que genera caída de detritus en tiempo seco, acompañados de deslizamientos puntuales y superficiales y pequeñas coladas de barro de corto recorrido. La masa forestal enseguida retiene este material almacenándose en la ladera o en las cuñas de aterramiento de los diques. De esta forma, en la zona arbolada, la erosión y emisión de sedimentos es prácticamente inexistente.

En cuanto a los diques, los más antiguos están totalmente colmatados, muchos de ellos hasta el nivel de las alas del vertedero, habiendo alcanzado el material aterrado la pendiente de compensación.

### **Efectos fluviales**

[Ayerbe, 1930] indica que durante las crecidas, los torrentes procedentes de las cárcavas aportaban al río Carrión un total de 11,55 m<sup>3</sup>/s, que arrastraban "un 20% de guijarro y tierra arcillosa". Esto suponía un aporte de 2,31 m<sup>3</sup>/s de caudal sólido en episodios súbitos y breves, exagerando el carácter anastomosado del río Carrión (foto 6).

En la actualidad, la menor entrada de sólidos en suspensión de las laderas vertientes ha generado menores perturbaciones en la dinámica fluvial del río Carrión, evitando los continuos movimientos de los distintos brazos. Además, también ha permitido la disminución de los fenómenos de aterramiento del álveo por partículas de pequeño tamaño, permitiendo que el curso adquiriera un lecho de gravas de mayor productividad biológica (foto 7).



**Foto 6.** Vista del río Carrión a su paso por Valcabadillo en 1930. Nótese la alta carga sólida del cauce como se deriva del carácter fuertemente trenzado (foto tomada en Valcabadillo, Confederación Hidrográfica del Duero, 1930)



**Foto 7.** Estado actual del río Carrión, se aprecia claramente el lecho de gravas. La estabilidad de los brazos ha permitido la instalación de la vegetación de ribera (IOM, abril 2012)



## 5 Materiales y métodos

### 5.1 Valoración de los recursos forestales

Los recursos forestales pueden considerarse un valor extractivo directo [De Frutos Madrazo, 2008] generados a partir de la ejecución del proyecto de restauración, ya que anteriormente no existía una masa forestal en las laderas de Saldaña.

El primer paso para su valoración consiste en la **obtención de las existencias forestales maderables actuales** del monte, de forma que se puedan estimar las correspondientes al turno de corta, siendo estas existencias las que generarían la mayor renta, por ser las que maximizan el volumen total de madera para infinitos turnos. Para ello, se realizó una visita el 23 de abril de 2012, en la que se estimó el área basimétrica mediante **muestreo angular empleando la técnica del pulgar**, en la que la longitud del brazo del muestreador y la anchura del pulgar se convierten en un calibre angular.

El área basimétrica -G- así obtenida se define como:

$$G(m^2/ha) = N \cdot BAF \quad (\text{Ec.5})$$

donde  $N$  es el número total de pies cuya sección normal rebasa la anchura del calibre y  $BAF$  es el *Factor de Área Basal*, obtenido mediante la expresión:

$$BAF = \frac{10.000 \cdot \text{longitud calibre}^2}{4 \cdot \text{anchura calibre}^2} \quad (\text{Ec.6})$$

Considerando que, en este caso, la longitud del brazo del muestreador desde la visual es de 52 cm y que la anchura de su pulgar es de 2,3 cm, se obtiene que  **$BAF = 4,9$** .

Determinado un valor de  **$N = 25$**  a partir del muestreo de la visita, se obtiene por tanto:

$$G = 25 \cdot 4,9 = 122,5 m^2/ha$$

A partir de la visita también se estimó que la altura dominante - $H_0$ - de la masa es de 13 m.

Por último, **la edad de la masa se establece en 80 años** dado que la plantación se realizó en 1932.

Considerando que las masas de *Pinus sylvestris* suelen presentar un turno de corta de 120 años, es necesario recurrir a tablas de producción para estimar qué valores dasométricos presentaría la masa del monte en estudio a la edad de corta. Se ha decidido recurrir a las tablas de producción de *Pinus sylvestris* en la Sierra de Guadarrama con un régimen fuerte de claras y calidad de estación muy baja -valor 17- [Madrigal et al, 1999], presentada en la tabla 1.

TABLA DE PRODUCCIÓN DE *Pinus sylvestris* EN LA SIERRA DE GUADARRAMA. REGIMEN FUERTE DE CLARAS (TRATAMIENTO E)  
CALIDAD 17

(A. Rojo y G. Montero, 1996)

Edad	Altura Dominante m	MASA PRINCIPAL ANTES DE LA CLARA					MASA EXTRAÍDA				MASA PRINCIPAL DESPUES DE CLARA			MASA TOTAL		CRECIMIENTO EN VOL. DE MASA TOTAL		Edad
		Nº pies /Ha	Altura Media m	Diámetro C. medio cm	Área Basim. m <sup>2</sup> /Ha	Volumen m <sup>3</sup> /Ha	Nº pies /Ha	Área Basim. m <sup>2</sup> /Ha	Volumen m <sup>3</sup> /Ha	Volumen Acumul. m <sup>3</sup> /Ha	Nº pies /Ha	Área Basim. m <sup>2</sup> /Ha	Volumen m <sup>3</sup> /Ha	Área Basim. m <sup>2</sup> /Ha	Volumen m <sup>3</sup> /Ha	Corrien. Anual m <sup>3</sup> /Ha	Medio Anual m <sup>3</sup> /Ha	
20	2,9	11230	1,9	4,4	-	-	5243	-	-	-	5987	-	-	-	-	-	-	20
30	5,4	5987	4,3	8,2	31,50	143,8	2622	15,30	36,7	36,7	3365	16,20	107,1	31,50	143,8	-	4,8	30
40	7,9	3365	6,7	12,6	41,70	207,4	1726	19,70	69,0	105,7	1639	22,00	138,4	57,00	244,1	10,0	6,1	40
50	10,2	1639	8,9	19,0	46,50	265,4	576	13,40	60,5	166,2	1063	33,10	204,9	81,50	371,1	12,7	7,4	50
60	12,1	1063	10,7	24,2	48,90	312,2	280	10,70	57,7	223,9	783	38,20	254,5	97,30	478,5	10,7	8,0	60
70	13,8	783	12,4	28,7	50,50	354,3	145	7,50	46,0	269,9	638	43,00	308,3	109,60	578,2	10,0	8,3	70
80	15,1	638	13,6	32,1	51,50	386,6	92	6,20	41,8	311,7	546	45,30	344,8	118,10	656,3	7,8	8,2	80
90	16,2	546	14,7	34,9	52,20	413,5	54	4,30	30,7	342,4	492	47,90	382,8	125,00	725,2	6,9	8,1	90
100	17,0	492	15,4	36,9	52,70	433,4	39	3,40	25,8	368,2	453	49,30	407,6	129,80	775,8	5,1	7,8	100
110	17,7	453	16,1	38,9	53,10	451,0	25	2,40	18,7	386,9	428	50,70	432,3	133,60	819,2	4,3	7,4	110
120	18,2	428	16,6	39,9	53,40	463,6	17	1,70	13,8	400,7	411	51,70	449,8	136,30	850,5	3,1	7,1	120
130	18,6	411	17,0	40,8	53,60	473,9	14	1,50	12,1	412,8	397	52,10	461,8	138,20	874,6	2,4	6,7	130
140	18,9	397	17,3	41,5	53,80	481,4	7	0,80	6,4	419,2	390	53,00	475,0	139,90	894,2	2,0	6,4	140
150	19,1	390	17,4	41,9	53,90	486,7	7	0,80	6,6	425,8	383	53,10	480,1	140,80	905,9	1,2	6,0	150
160	19,3	383	17,6	42,4	54,00	491,9	6	0,70	5,8	431,6	377	53,30	486,1	141,70	917,8	1,2	5,7	160
170	19,5	377	17,8	42,8	54,20	497,3	3	0,30	3,0	434,6	374	53,90	494,3	142,60	929,0	1,1	5,5	170
180	19,6	374	17,9	43,0	54,20	500,0	374	54,20	500,0	934,6	-	-	-	142,90	934,6	0,6	5,2	180

Tabla 1. Tabla de producción empleada [Madrigal et al, 1999].



A partir de esta tabla de producción e interpolando en función del valor del área basimétrica, se obtienen los siguientes valores dasométricos:

Edad	Variables dasométricas	Tabla de producción	Monte laderas Saldaña
80 años	G (m <sup>2</sup> /ha)	118,1	122,5
	V (m <sup>3</sup> /ha)	656,3	680,8
120 años	G (m <sup>2</sup> /ha)	136,3	141,4
	V (m <sup>3</sup> /ha)	850,5	882,2

**Tabla 2.** Obtención del área basimétrica y volumen del monte de las laderas de Saldaña para la edad de corta de 120 años a partir de las tablas de producción.

Una vez conocidas, por tanto, las existencias en la edad de corta de 120 años, el valor extractivo directo buscado sería la suma de infinitas cortas descontando los costes de repoblación y ordinarios. Atendiendo a [Ortuño Pérez et al, 2007], el valor del suelo  $Sp$  se calcula como:

$$Sp = \frac{R_T}{(1+i)^T - 1} \quad (\text{Ec.7})$$

Expresión en la que  $R_T$  se corresponde con la renta periódica capitalizada al año  $T$ , es decir [Ortuño Pérez et al, 2007] (Ec.8):

$$R_T = I_T + \sum_{j=1}^K I_j (1+i)^{T-j} + \frac{Ia}{i} [(1+i)^T - 1] - Ce(1+i)^T - \sum_{h=1}^{K'} C_h (1+i)^{T-h} - \frac{Ca}{i} [(1+i)^T - 1]$$

Donde:

$I_T$  = Ingreso de la corta final.

$C_e$  = Costes de instalación de la masa.

$I_a, C_a$  = Ingresos y costes anuales respectivamente.

$I_j$  = Ingresos intercalares en el año  $j$ .

$C_h$  = Costes intercalares en el año  $h$ .

$i$  = Tipo de interés.

Para el cálculo de los ingresos de la madera, se han tomado como referencia los precios de madera en pie del *Boletín Comercial de Productos Forestales de Castilla y León, 2007*, de los que se desprende un precio de **20 €/m<sup>3</sup>**; este valor se debe capitalizar posteriormente al año del turno de corta, empleando para ello una tasa de capitalización del **2,7%**.



Suponiendo unos costes de instalación de la masa de 1.500 €/ha (tabla 3)

Cantidad	Ud	Descripción	Precio unit.	Importe
1,0000	h	Capataz forestal	20	20,00
15,0000	h	Peón forestal	17,03	255,45
2000,0000	ud	Planta forestal	0,46	920,00
4,0000	h	Subsolado	55	220,00
6	%	Costes indirectos	14,1545	84,93
<b>TOTAL</b>				<b>1.500,38</b>

**Tabla 3.** Coste de 1 ha de repoblación forestal.

Y despreciando los ingresos y costes anuales y los intercalares de la (Ec.8), por ser éstos de pequeña cuantía con respecto a los otros, se obtiene la siguiente **renta capitalizada al turno de corta de 120 años** (Ec.8)<sup>1</sup>:

$$R_T = 20 \text{ €/m}^3 \cdot 1,027^{(120-75)} \cdot 882,2 \text{ m}^3/\text{ha} - 1.500 \text{ €/ha} \cdot 1,027^{(120-80)} = 54.160 \text{ €/ha}$$

Dado que la superficie reforestada fue de 317 ha, se obtiene que **la renta capitalizada al turno de corta de 120 años para toda la superficie reforestada es de 17.168.684 €.**

Recurriendo a la (Ec.7) para el cálculo del valor actual de los recursos forestales generados durante infinitos ciclos y una tasa de descuento del 3%:

$$S_p = \frac{R_T}{(1+i)^T - 1} = \frac{17.168.684}{(1+0,03)^{120} - 1} = 509.290 \text{ €}$$

Se obtiene que **los recursos forestales generados por la Restauración Hidrológico Forestal presentan un valor actualizado de 509.290 €.**

1 La actualización del precio de la corta final se ha realizado, tal y como se ha indicado anteriormente, con respecto a los precios del año 2007. Por ello, el valor actualizado es  $20 \text{ €/m}^3 \cdot 1,027^{(120-75)}$



## 5.2 Valoración de la mejora de la calidad del agua

El servicio ecosistémico de mejora de la calidad del agua se puede considerar un valor extractivo indirecto. Para su valoración se empleará el **método de los costes evitados**, calculando en primer lugar el volumen de sólidos en suspensión que presentaría el río Carrión en caso de no haber ejecutado la restauración para, posteriormente, valorar el coste de depurar estos sólidos a partir de los datos de inversión y explotación de los tratamientos físicos en la Estación Depuradora de Aguas Residuales -EDAR-, ya ejecutada en Saldaña.

### 5.2.1 Cálculo del volumen de sólidos en suspensión

A partir de la información dada por [Ayerbe, 1930], se obtiene que las "turbias" del río Carrión transportaban un **caudal sólido de 20 g/m<sup>3</sup> durante las avenidas ordinarias**. Para la hidrología irregular de nuestro país, las avenidas ordinarias, entendidas como las correspondiente al caudal dominante, formador o de *bankfull*, presentan un período de retorno de 1,5 a 7 años, más cercano a este último valor cuanto mayor sera la irregularidad hidrológica -área mediterránea- [Martín Vide, 2002]. Considerando el comportamiento hidrológico de los ríos mesetarios en la vertiente cantábrica sur, se ha considerado el período de retorno de 3 años como el más representativo para la determinación del caudal de estas avenidas.

El primer paso para calcular el volumen de sólidos en suspensión es, por tanto, la determinación del caudal líquido para ese período de retorno. Para ello, se han empleado los datos de caudales de la **estación de aforo de Celadilla del Río** presentadas en el **Anexo II**. Esta estación de aforo es la más cercana a la zona de estudio y presenta las siguientes características:

- Coordenadas UTM: (352.584, 4.719.197)
- Clasificación decimal: 02-01-28-14.
- Superficie cuenca estación: 494 km<sup>2</sup>.
- Nº en CHD: 23.
- Series temporales: 1998/99 - 2006/07.

A partir de la información presentada en el Anexo II, se desprenden los siguientes máximos caudales medios diarios (tabla 4):

Año	Q <sub>max, d</sub> (m <sup>3</sup> /s)
98/99	17,9
99/00	55,9
00/01	99,5
01/02	18,6
02/03	77,7
03/04	24,3
04/05	25,2



Año	Q <sub>max, d</sub> (m <sup>3</sup> /s)
05/06	25,5
06/07	51,1

**Tabla 4.** Máximos caudales medios diarios en la estación Celadilla del Río del río Carrión.

Sabiendo que los caudales máximos se pueden ajustar a una Ley de Gumbel, se obtiene la siguiente función de distribución de los máximos caudales medios diarios:

$$F(x) = P(x \leq X) = e^{-e^{-0,043 \cdot (x-30,82)}} \quad (\text{Ec.9})$$

Para conocer el caudal correspondiente a un período de retorno  $-T-$  de 3 años, se deshace la anterior función:

$$x = \frac{\ln(-\ln(f(x)))}{0,043} + 30,82 \quad (\text{Ec.10})$$

Para  $T=3$  años:

$$f(x) = 1 - \frac{1}{T} = 1 - \frac{1}{3} \quad (\text{Ec.11})$$

Sustituyendo en la Ec.10:

$$x = \frac{\ln(-\ln(f(1-1/3)))}{0,043} + 30,82 = 10 \text{ m}^3/\text{s}$$

Por tanto, se obtiene que la **máxima avenida ordinaria** en el río Carrión presenta un valor estimado de **10 m<sup>3</sup>/s**.

Tal y como puede apreciarse de los datos de caudales presentados en el Anexo II, las avenidas presentan una **duración mínima de 2 días**, dado que existen varios años en los que los máximos caudales instantáneos se producen el día anterior o posterior al día en que se registra el máximo caudal medio diario.

Tomando el valor de [Ayerbe, 1930] del caudal sólido de 20 g/m<sup>3</sup> y el caudal para la avenida ordinaria de 10 m<sup>3</sup>/s, se obtiene el siguiente Volumen de Sólidos en Suspensión Total  $-V_{SST}-$  por avenida:

$$V_{SST} = 20 \text{ g/m}^3 \cdot 10 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 3.600 \text{ s/h} \cdot 24 \text{ h/día} \cdot 2 \text{ días} \cdot 10^{-6} \text{ t/g} = 35,53 \text{ t/avenida}$$

De este cálculo se desprende que, antes de la restauración, el **volumen de sólidos en suspensión en el río Carrión suponía un total de 35,53 t/avenida**.



## 5.2.2 Cálculo del coste de depuración de los sólidos en suspensión

Consultado el "Proyecto de construcción de la Estación Depuradora de Aguas Residuales de Saldaña" redactado por el Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos [López Herrero, 1997], se presenta en la tabla 5 el desglose la **inversión total y la necesaria para el tratamiento físico** de eliminación de los sólidos en suspensión.

En esta misma tabla, se indica este coste capitalizado al año 2012 suponiendo una tasa de capitalización del 2,7%, determinado a partir de la consulta realizada en la página web del Instituto Nacional de Estadística sobre las variaciones del Índice de Precios de Consumo -IPC-.

Capítulo	Importe (€)	Importe para tratamiento físico (€)
Emisario	168.258,72	168.258,72
Aliviaderos	26.292,74	26.292,74
Bombeo	36.879,45	36.879,45
Pretratamiento	19.259,20	19.259,20
Biodiscos	14.280,02	,00
Decantador primario	18.870,40	18.870,40
Tanque de tormentas	16.915,46	16.915,46
Decantador secundario	25.822,51	,00
Arquetas y canales	14.658,65	7.329,32
Red de tuberías	13.690,40	13.690,40
Depositor de fangos	12.323,42	12.323,42
Digestor	37.435,38	,00
Equipos I	281.113,14	,00
Equipos II	479.527,41	,00
Edificio de control I	30.867,19	,00
Edificio de control II	10.316,88	10.316,88
Edificio de soplantes	9.682,76	,00
Acceso y urbanización	129.929,23	64.964,62
Instalación eléctrica	233.566,64	116.783,32
Varios	132.660,12	66.330,06
<b>TOTAL 1997</b>	<b>1.712.350 €</b>	<b>578.214 €</b>
<b>TOTAL CAPITALIZADO 2012</b>	<b>2.542.839 €</b>	<b>858.648 €</b>

**Tabla 5.** Importes de inversión asociados a la EDAR de Saldaña.

De la tabla resulta una **inversión necesaria para la realización de los tratamientos físicos de 858.648 €.**

Por otro lado, a partir del **estudio de explotación** incluido en el mencionado proyecto de [López Herrero, 1997], se presentan en la tabla 6 los costes de explotación también capitalizados al año 2012.



	Coste (€)	Coste para tratamiento físico (€)
<b>Fijos</b>	81.917,95	27.663,69
<b>Variables medios</b>	4.636,33	1.565,69
TOTAL	86.554,28	<b>29.229,38</b>
TOTAL CAPITALIZADO 2012	128.533,10	<b>43.405,63</b>

**Tabla 6.** Costes de explotación de la EDAR de Saldaña.

De esta tabla se desprende un **coste anual de explotación de 43.406 €.**

A partir de la "Guía de caracterización de medidas del CEDEX para los Planes Hidrológicos de Cuenca" (2009), se determina que el Coste Anual Equivalente -CAE- se determina a partir de la expresión:

$$CAE = I \cdot \frac{r \cdot (1+r)^n}{(1+r)^n - 1} + CAO \quad (\text{Ec.12})$$

en la que:

I: Inversión.

CAE: Coste Anual Equivalente.

CAO: Costes Anuales Ordinarios (Costes de explotación)

r: tasa de capitalización.

Suponiendo una tasa de capitalización del 3% y una vida útil de la infraestructura de 35 años, se obtiene a partir de los valores de las tablas 4 y 5, un **CAE = 83.336 €.**

$$CAE = 858.648 \frac{0,03 \cdot (1+0,03)^{35}}{(1+0,03)^{35} - 1} + 43.406 \text{ €} = 83.336 \text{ €}$$

Sabiendo que el diseño de la EDAR se realizó para la depuración de 263 kgSST/día [López Herrero, 1997], lo que supone **95,995 t/año**, se tiene, finalmente, que el coste marginal de depuración de sólidos en suspensión es de 868 €/t.

$$\text{Coste marginal} = \frac{83.336 \text{ €/año}}{95,995 \text{ t/año}} = 868 \text{ €/t}$$



Sabiendo por el apartado 5.2.1., que  $V_{SST} = 35,5$  t/avenida, con un período de retorno de 3 años -riesgo equivalente a 1/3-, se obtiene que **el coste anual evitado por eliminación de los sólidos en suspensión es de 10.275 €/año:**

$$\text{Coste evitado} = 868 \text{ €/t} \cdot 35,5 \text{ t/avenida} \cdot \frac{1}{3} \cdot \text{avenida/año} = 10.275 \text{ €/avenida}$$

### 5.3 Valoración de la disminución de los riesgos por deslizamientos de laderas

La disminución de los riesgos por deslizamientos de las laderas se debe a la desaparición de las coladas de barro y otros movimientos en masa que, recurrentemente, se producían en las laderas de Saldaña durante los episodios lluviosos, y que ya no se producen tras la estabilización de las mismas derivada de la RHF ejecutada por la Confederación Hidrográfica del Duero.

Se trata de un **valor no extractivo directo** que la población actual de Saldaña no puede reconocer, por el simple hecho de que las generaciones actuales ya no sufren los efectos devastadores que tenían estos movimientos másicos. Es por ello que se ha decidido recurrir al **método de la transferencia de beneficios** a partir de otra población, que sí presenta conciencia de los riesgos hidrológicos y meteorológicos -un pueblo suizo situado en las faldas de los Alpes y con riesgos de aludes-, empleando el **efecto renta y la valoración del riesgo** en la función de transferencia.

#### 5.3.1 Cálculo del riesgo en la población de Saldaña

El cálculo del riesgo para usar en la función de transferencia se ha realizado mediante la determinación del **coste de limpieza de todas las vías públicas afectadas y valoración de los destrozos materiales en las casas** que se producirían por las coladas de barro en caso de no haber ejecutado la RHF.

Atendiendo a lo especificado por [Gobierno de Cantabria, 2011], se obtiene que el coste de limpieza de una vía para tráfico rodado asciende a 1,08 €/m lineal de carretera (tabla 7):

Cantidad	Ud	Descripción	Precio unit.	Importe
0,0010	h	Capataz	22,81	0,02
0,0050	h	Peón ordinario	19,74	0,10
0,0100	h	Peón señalista	19,74	0,20
		p.p. EPI'S	0,5	0,01
0,0050	h	Motoniveladora 12/15 t	60,93	0,30
0,0050	h	Retroexcavadora sobre ne	53,24	0,27
0,0013	h	Camión de tres ejes	33,67	0,04
0,1500	m3	Canon vertedero	0,25	0,08
	%	Costes indirectos	6	0,06
<b>TOTAL</b>				<b>1,08</b>

**Tabla 7.** Determinación del coste de limpieza de carretera por metro lineal.



Para determinar la longitud total de las vías afectadas, **se han digitalizado sobre ortofotografía** aquellas que, por su situación, serían susceptibles de verse afectadas por los movimientos en masa (imagen 1). Para esta digitalización, se ha empleado el Sistema de Información Geográfica libre -SIG no propietario- **QuantumGIS**.

Realizada la correspondiente consulta al SIG, se obtiene una **longitud total de vías potencialmente afectadas de 5.713 m**. En el Anexo III puede consultarse el resultado completo de esta digitalización.

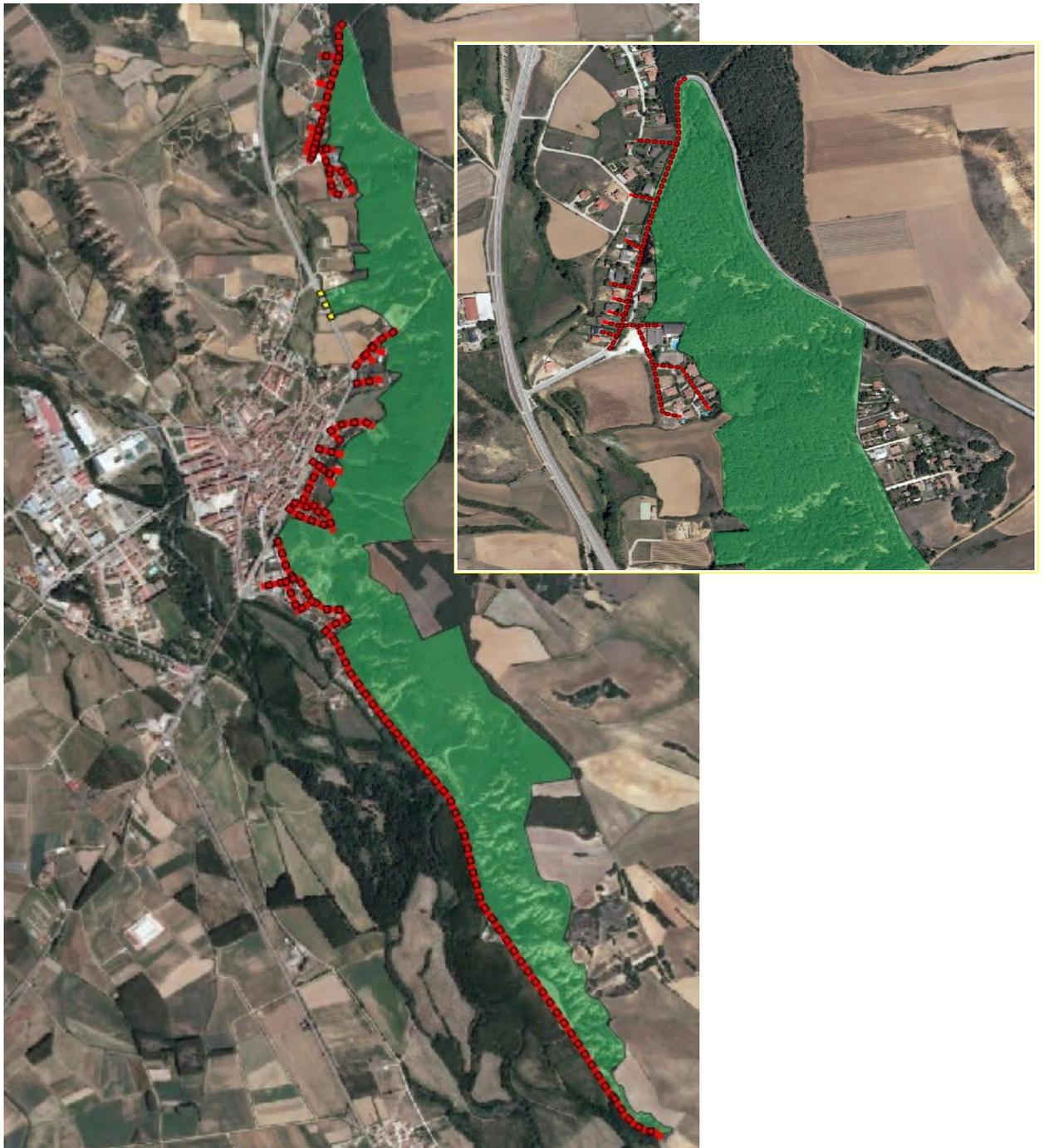
Por tanto, **el coste anual de limpieza de las vías públicas como consecuencia de la erosión de las laderas ascendería a 6.177 €/año:**

$$\text{Coste anual limpieza} = 1,08 \text{ €/m/año} \cdot 5.713 \text{ m} = 6.177 \text{ €/año}$$

Para la valoración de los daños materiales en las casas, se efectuó en abril de 2012 una búsqueda en internet con los precios de las vivienda unifamiliares en Saldaña y su entorno (tabla 8).

Vivienda Saldaña	Tipo	S (m2)	Precio (€)	€/m2
San Pedro, nº 5	Casa-Chalet	241	200.000	830
Luis Vives, 17	Casa-Chalet	180	180.000	1.000
Las Palomas, 8	Casa-Chalet	100	72.000	720
Villaluenga de la Vega	Casa-Chalet	185	175.000	946
Calle del Hospital	Chalet-adosado	170	100.000	588
Valcabadillo	Chalet	80	95.000	1.188
<b>Promedio</b>				<b>879</b>

**Tabla 8.** Estudio de precios de la vivienda en Saldaña y su entorno.



**Imagen 1.** Digitalización de las vías afectadas por los posibles movimientos en masa de las laderas (identificadas por la línea roja)



Considerando la cercanía actual de la mayoría de las viviendas unifamiliares *-chalets-* de Saldaña a las laderas restauradas, se estima que con un período de 25 años se podrían generar afecciones importantes como consecuencia de movimientos en masa. Este valor podría incluso ser más corto, considerando que incluso actualmente es posible apreciar deslizamientos de tierra al pie de las laderas (foto 8).



**Foto 8.** Deslizamientos en el pie de las laderas, a escasos metros de una vivienda unifamiliar (IOM, abril 2012)

Estas afecciones supondrían el siguiente coste anual equivalente en una vivienda unifamiliar de 100 m<sup>2</sup>:

$$\text{Coste anual vivienda} = \frac{879 \text{ €/m}^2 \cdot 100 \text{ m}^2}{25 \text{ años}} = 3.514 \text{ €/año}$$

A partir de la siguiente tabla se desprende que **la valoración del riesgo para la transferencia de beneficios suma un total de 9.691 €/año:**

Coste anual mantenimiento vías	6.177 €
Coste anual reparación viviendas	3.514 €
<b>Riesgo adicional en caso de no existir la restauración (suma)</b>	<b>9.691 €</b>

**Tabla 9.** Medida monetaria del riesgo para la transferencia de beneficios.



### 5.3.2 Estudio de referencia para la transferencia de beneficios

Para la transferencia de la valoración de la disminución de los riesgos hidrológicos y meteorológicos, se empleará como base el estudio de [Olschewski et al, 2012]. Este estudio determina el valor de la defensa frente a avalanchas generadas por la cubierta forestal en los alpes suizos, empleando la metodología de "experimentos de elección" en una población afectada por estos fenómenos: Andermatt, situada en el cantón de Uri y que presenta una población de 1.250 residentes y otros 1.500 turistas.

Estos autores concluyen que la Disponibilidad a Pagar -DAP- de cada familia local es muy similar a la valoración que se hace del riesgo asociado a un evento de 300 años de período de retorno -56 USD frente a 69 USD-, y que el manejo forestal resulta la medida más eficiente en términos económicos para la defensa frente a las avalanchas (tabla 10).

Valoración	Asunción	Anualidad (USD)
Riesgo colectivo	Fenómeno de T = 300 años	69
Disponibilidad a Pagar -DAP-	Reducción del riesgo	56
Costes evitados	Manejo forestal	3
Costes alternativos	Diques de madera	6
	Emparrillado de madera	28
	Redes de acero	87

**Tabla 10.** Costes de defensa y medida del riesgo frente a avalanchas (tomado de [Olschewski et al, 2012])

En este mismo estudio, se valora el riesgo generado por la eliminación de 1 ha de superficie reforestada (considerado en términos de costes evitados) en 30.000 USD/año. Realizando el cambio a € y comparando este valor con la medida del riesgo obtenida en el apartado anterior (también considerada como coste evitado), se obtiene que **el "efecto riesgo" presenta un valor de 0,42.**

$$\text{Efecto riesgo} = \frac{9.691 \text{ €}}{30.000 \text{ USD}} \cdot \frac{1,3 \text{ USD}}{1 \text{ €}} = 0,42$$

### 5.3.3 Efecto de la renta

La Disponibilidad a Pagar -DAP- es función directa de la renta de las poblaciones afectadas, de forma que para transferir esta DAP a la población de Saldaña se debe estudiar el "efecto renta".

Para ello, se ha consultado la información facilitada por el Eurostat -<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/>- sobre los índices de Suiza y España en términos de Paridad de Poder de Compra -PPC- (tabla 11):

País	Índice PPC (2009)	Índice PPC (2010)
Suiza	144	147
España	103	100

**Tabla 11.** Comparación de la PPC entre Suiza y España.



De esta tabla se desprende que la PPC de la población suiza es, a fecha 2010, 47 puntos superior a la española, por lo que el **"efecto renta" presenta un valor de 0,68**.

$$\text{Efecto renta} = \frac{100}{147} = 0,68$$

#### 5.3.4 Transferencia de beneficios

Conocida la DAP de la población suiza a partir del estudio de [Olschewski, R. et al, 2012], el "efecto riesgo" y el "efecto renta", se obtiene que la DAP de una familia de Saldaña será:

$$DAP = 56 \text{ USD} / \text{fam} / \text{año} \cdot \frac{1 \text{ €}}{1,3 \text{ USD}} \cdot 0,42 \cdot 0,68 = 12 \text{ €} / \text{fam} / \text{año}$$

Sabiendo que la población de Saldaña asciende 3.183 hab, lo que supone un número de familias estimado de 796, se obtiene que **el valor anual del efecto de la disminución de los riesgos por deslizamientos de las laderas de Saldaña es de 9.796 €/año**.

$$\text{Valor anual disminución riesgos} = 12 \text{ €} / \text{fam} / \text{año} \cdot 796 \text{ fam} = 9.796 \text{ €} / \text{año}$$

### 5.4 Valoración del paisaje

La mejora paisajística obtenida a partir de la RHF puede considerarse un **valor no extractivo indirecto**. La metodología empleada para su valoración en el presente estudio se basa en los *precios hedónicos*. Ésta se basa en el hecho de que muchos bienes que se comercian habitualmente en el mercado son un agregado de características o atributos individuales que no se pueden intercambiar de forma independiente. Estos bienes multiatributo sirven para satisfacer varias necesidades al mismo tiempo y poseen, por lo tanto, un valor de uso múltiple. Por todas y cada una de ellas estamos dispuestos a pagar una cantidad de dinero adicional [De Frutos et al, 2006].

Esa cantidad adicional se denomina **precio hedónico**, en el sentido de que forma parte del precio de mercado. Por lo tanto, se podría definir como la disposición marginal a pagar del consumidor por una unidad adicional de la característica componente [Azqueta, 1994]. El caso más obvio de aplicación del precio hedónico es el de la vivienda, en la que el precio es función de determinadas variables, cada una de ellas con un peso específico sobre el precio final, y entre las que el paisaje -las vistas- constituyen un factor importante.

Para determinar el valor del paisaje en el caso de Saldaña, primero se caracterizará dicha mejora mediante diversos métodos para, posteriormente, emplear la función de demanda calculada por [De Frutos et al, 2006] para la estimación del valor de las zonas verdes

urbanas en la ciudad de Soria sobre el precio de la vivienda. La naturaleza periurbana de la RHF permite la transferencia de esta función de demanda, adaptada al precio de la vivienda en Saldaña.

#### 5.4.1 Caracterización de la mejora paisajística

Realizando un análisis de los efectos paisajísticos, se observa que el aumento de la calidad visual derivada de la RHF se debe, principalmente, al aumento de la componente forestal en el entorno, que aumenta el contraste cromático con las zonas desnudas de vegetación -suelo desnudo-, y resalta las formas del terreno. Se presenta a continuación un conjunto de fotografías comparando el estado previo a la RHF y el estado actual.



**Fotos 9 y 10.** Laderas de Saldaña completamente desnudas antes de la ejecución de la RHF (Confederación Hidrográfica del Duero, 1930)



**Fotos 11 y 12.** Estado actual de las laderas de Saldaña, resalta el componente vegetación, existe mayor diversidad cromática, se resaltan las formas del terreno (JMB, abril 2012)

La **Oficina de Ordenación del Territorio del Departamento de Interior de EE.UU.** -Bureau of Land Management- desarrolló en 1980 un sencilla metodología para la **caracterización del paisaje** en función de los siguientes factores: morfología, vegetación, agua, color, fondo escénico, rareza y actuaciones humanas. En función de la



valoración de cada uno de los factores, se clasifica la calidad escénica en función de una puntuación agregada:

- CLASE A: áreas que reúnen características excepcionales para cada aspecto considerado. Zonas de calidad alta = 19 a 33 puntos.
- CLASE B: áreas que reúnen una mezcla de características excepcionales para algunos aspectos y comunes para otros. Zonas de calidad media = 12 a 18 puntos.
- CLASE C: áreas con características y rasgos comunes en la región fisiográfica considerada. Zonas de calidad baja = 0 a 11 puntos.

A partir de esta metodología, se presenta en la siguiente tabla la caracterización que se realiza en el presente estudio para las laderas en Saldaña:

Factor	Puntuación
Morfología	3
Vegetación	3
Agua	0
Color	5
Fondo escénico	5
Rareza	1
Actuaciones humanas	0
<b>total</b>	<b>17</b>

**Tabla 12.** Caracterización paisajística de las laderas de Saldaña según metodología de la *Oficina de Ordenación del Territorio del Departamento de Interior de EE.UU.*

**De esta tabla se desprende una calidad paisajística media-alta (clase B).**

Por otro lado, del análisis de la **Capacidad de Absorción Visual** del paisaje (Yeomans, 1986), se deriva una **alta fragilidad**, principalmente como consecuencia de las altas pendientes, la uniformidad de la vegetación forestal -preponderancia de los pinares- y la existencia, todavía, de algunos fenómenos erosivos en las laderas.

La metodología de Yeomans (1986) determina la Capacidad de Absorción Visual -CAV- mediante la siguiente expresión (Ec. 13):

$$CAV = P \cdot (E + R + D + C + V) \quad (\text{Ec.13})$$

donde:

- P: Pendiente, siendo el factor más significativo.
- E: Erosionabilidad.
- R: Capacidad de Regeneración de la vegetación.
- D: Diversidad de la vegetación.
- C: Contraste de color entre suelo y roca.
- V: Contraste entre suelo y vegetación.



Y establece la siguiente clasificación de la CAV:

- 5-15: CAV baja.
- 15-30: CAV moderada.
- 30-45: CAV alta.

Aplicando esta metodología, los valores de cada uno de los factores son los siguientes (tabla 13):

Factor	CAV
Pendiente	1
Diversidad de vegetación	2
Erosionabilidad y estabilidad	2
Contraste Suelo – Vegetación	3
Regeneración vegetación	1
Contraste Roca – Suelo	2
<b>CAV</b>	<b>10</b>

**Tabla 13.** CAV según la metodología de Yeomans (1986).

De esta tabla se deriva una **Capacidad de Absorción Visual baja-moderada**.

#### 5.4.2 Fundamentos teóricos para la transferencia de la función de demanda del precio de la vivienda

[De Frutos et al, 2006] desarrollaron la siguiente **función de demanda** para explicar el precio de la vivienda en la ciudad de Soria, a partir de la información de 60 observaciones, número bastante significativo teniendo en cuenta el tamaño del mercado inmobiliario en esa ciudad:

$$\ln(\text{Precio}) = b_0 + b_1 \cdot \text{Superficie} + b_2 \cdot \text{Vistas} + b_3 \cdot \text{Calefaccion} + b_4 \cdot \text{Orientacion} + \varepsilon$$

La variable *Vistas* es dicotómica, por lo que únicamente puede presentar el valor "0", en caso de que la vivienda no presente vistas a una zona verde, y el valor "1", en caso de que sí las presente.

El efecto de las vistas sobre el precio -P-, manteniendo el resto de las variables constantes, será, por tanto:

$$\frac{d(\ln(P))}{dVistas} = b_2 \rightarrow \frac{1}{P} \cdot \frac{dP}{dVistas} = b_2 \rightarrow \frac{dP}{dVistas} = b_2 \cdot P$$



Es decir, el incremento en el precio de la vivienda como consecuencia de la existencia de vistas a zonas verdes es directamente proporcional al precio de la vivienda, siendo el factor de proporcionalidad justamente el coeficiente de la regresión para la variable "Vistas".

Para obtener el **excedente individual por efecto de las vistas**  $-E_i$ , sólo hace falta integrar el anterior resultado entre los límites de la variable "Vistas" [De Frutos et al, 2006], es decir, entre 0 y 1; dando como resultado:

$$\int_0^1 dP = \int_0^1 b_2 \cdot P \cdot dVistas \rightarrow E_i = b_2 \cdot P$$

El **excedente medio** será por tanto:

$$Media(E_i) = b_2 \cdot Media(P_i) \quad (Ec.14)$$

Y es este **excedente medio** el valor que recogería el efecto del paisaje sobre el precio de la vivienda, esto es, **el valor del paisaje buscado empleando la metodología de los precios hedónicos**.

Finalmente, indicar que en la función de demanda obtenida por [De Frutos et al, 2006], el coeficiente de la regresión para la variable vistas presenta un valor de  $b_2 = 0,232$ , que es el que se transferirá para determinar el excedente medio derivado del paisaje en Saldaña.

### 5.4.3 Excedente medio derivado del paisaje

Para determinar el excedente medio generado por el paisaje en el precio de la vivienda de Saldaña, es necesario determinar, según lo indicado en el apartado anterior, el precio medio de la vivienda en esta población. A partir de la búsqueda en internet de los precios de las viviendas unifamiliares *-chalets-* en Saldaña, se obtienen los siguientes valores ya indicados previamente:

Vivienda Saldaña	Tipo	S (m2)	Precio (€)	€/m2
San Pedro, nº 5	Casa-Chalet	241	200.000	830
Luis Vives, 17	Casa-Chalet	180	180.000	1.000
Las Palomas, 8	Casa-Chalet	100	72.000	720
Villaluenga de la Vega	Casa-Chalet	185	175.000	946
Calle del Hospital	Chalet-adosado	170	100.000	588
Valcabadillo	Chalet	80	95.000	1.188
<b>Promedio</b>			<b>137.000</b>	<b>879</b>

**Tabla 14.** Estudio de precios de la vivienda en Saldaña y su entorno.



De esta tabla se desprende que el precio medio de este tipo de viviendas es de **137.000 € y 879 €/m<sup>2</sup>**.

El excedente del paisaje sobre el precio de la vivienda, **sólo se genera en aquellas que tienen vistas a las laderas restauradas**. De hecho, tal y como se comprobó en la visita realizada a la zona de estudio el 23 de abril de 2012, las viviendas de mayor valor económico se localizan, justamente, al pie de las laderas restauradas, principalmente al norte y al sur del núcleo de población. Esto es significativo sobre la importancia del paisaje en el establecimiento de las viviendas de alto valor.

Para localizar estas viviendas, se realizó una identificación sobre ortofotografía (imagen 2) de las mismas mediante el Sistema de Información Geográfica *QuantumGIS*, resultando **un total de 51 chalets con vistas directas a la superficie forestal**.

El **excedente medio** para la población de Saldaña será, por tanto (Ec.14):

$$\text{Excedente medio} = 0,232 \cdot 137.000 \text{ €} = 31.784 \text{ €}$$

Y considerando un total de 51 viviendas afectadas por este excedente, el **excedente medio agregado tendrá un valor de 1.620.984 €**:

$$\text{Excedente medio agregado} = 31.784 \text{ €} \cdot 51 \text{ viviendas} = 1.620.984 \text{ €}$$



**Imagen 2.** Identificación de las viviendas unifamiliares con vistas a la superficie restaurada mediante el SIG *QuantumGIS*.



## **5.5 Agregación de los valores de la restauración hidrológico-forestal**

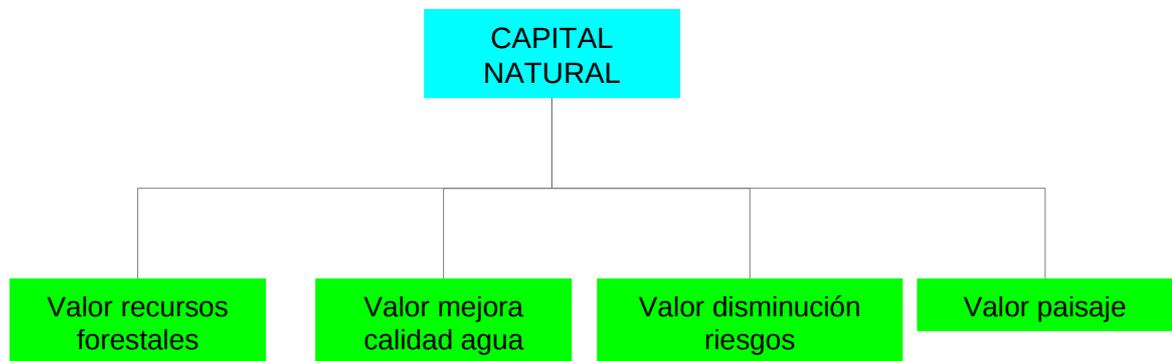
Para obtener el **Valor económico** de la RHF estudiada se podrían sumar directamente cada uno de los valores obtenidos según los apartados anteriores. Sin embargo, esto obviaría el hecho de que los individuos, en su ejercicio de valoración, demuestran unas marcadas preferencias individuales que es necesario tener en cuenta para la agregación de los anteriores valores.

Recientemente, se han venido consolidando las "técnicas de decisión multicriterio" para la valoración de bienes y servicios ambientales. El enfoque multicriterio conjetura que en muchos contextos de decisión, los agentes económicos no optimizan sus decisiones en base a un solo criterio; sino que, por el contrario, buscan un equilibrio entre unos objetivos en conflicto, o bien pretenden satisfacer, en la medida de lo posible, una serie de metas asociadas a dichos objetivos. Esta misma lógica ofrece la posibilidad de resolver problemas de valoración de bienes y servicios no comerciales, en los que el problema a abordar es la selección de alternativas -bienes y servicios ambientales- en base al grado de bienestar que éstas proporcionan a los individuos y, por extensión, al conjunto de la sociedad.

### **5.5.1 Proceso Analítico Jerárquico -metodología AHP, "Analytic Hierarchy Process"-**

Entre los métodos multicriterio utilizables para la valoración de bienes y servicios ambientales destaca el método creado por [Saaty, 1980], conocido como el *Proceso Analítico Jerárquico -Analytic Hierarchy Process, AHP, en inglés-*, definido como la "herramienta analítica basada en matemáticas sencillas, que permite comparar explícitamente factores tangibles e intangibles con el propósito de resolver conflictos o establecer prioridades".

En la metodología AHP, en primer lugar, debe ser fijado el objetivo principal o meta que se pretende alcanzar, que en este caso es la **obtención del Valor Económico de la RHF en estudio**. El siguiente paso es definir los **atributos o criterios** que van a permitir conseguir dicho objetivo. Para este estudio, estos atributos son los valores obtenidos para cada uno de los **servicios ecosistémicos** estudiados; es decir (figura 3):



**Figura 3.** Atributos asociados al capital natural de la población de Saldaña como consecuencia de la ejecución de la Restauración Hidrológico-Forestal.

Una vez definidos los atributos, se debe determinar el peso  $w_i$  de cada atributo  $i$  para la consecución del objetivo. Por definición, se debe cumplir que:

$$\sum_{i=1}^{i=n} w_i = 1$$

Para la determinación de estos pesos, la metodología AHP propone un procedimiento indirecto: en lugar de averiguar directamente el valor de las mismas preguntando a un experto en la cuestión, se realizan comparaciones por pares de los diferentes subobjetivos o atributos, estableciendo de esta manera las *razones* -cocientes- correspondientes a la importancia relativa de cada uno de los atributos considerados en cada comparación. La conveniencia de emplear estas razones -comparaciones dos a dos- debe a que para un individuo es más fácil realizar comparaciones dos a dos, que con todos los elementos a la vez.

Así, para cada clúster jerárquico -grupo de objetivos y subobjetivos o atributos-, el decisor debe emitir una serie de juicios a través de comparaciones pareadas simples de todas las posibles combinaciones de pares para el cumplimiento del objetivo. De esta forma, se puede generar una matriz -llamada "**matriz de Saaty**"- para cada individuo  $k$  con la siguiente estructura:

$$\begin{bmatrix} a_{11k} & a_{12k} & \dots & a_{1nk} \\ a_{21k} & a_{22k} & \dots & a_{2nk} \\ \dots & \dots & a_{ijk} & \dots \\ a_{n1k} & a_{n2k} & \dots & a_{nnk} \end{bmatrix}$$



Matriz en la que  $a_{i,j,k}$  representa el valor de comparación entre el atributo  $i$  y el atributo  $j$ ; es decir, el número de veces que el atributo  $i$  satisface mejor que el atributo  $j$  el objetivo buscado.

Esta matriz tiene las siguientes propiedades:

1. Es una matriz cuadrada de orden  $n$ .
2. Todos los elementos de su diagonal principal tienen el valor  $a_{ijk} = 1$ .
3. Se debe verificar la propiedad de reciprocidad, según la cual  $a_{ijk} = 1/a_{jik}$ .

La propiedad de reciprocidad establece que, dado un clúster de jerarquía de decisión, al comparar de forma pareada dos atributos  $(i,j)$  cualesquiera, se debe cumplir que  $a_{ijk} = 1/a_{jik}$  para todo  $i$  y  $j$ . Es decir, si el atributo  $i$  es preferido 3 veces sobre el atributo  $j$ , entonces el atributo  $j$  será preferido 1/3 veces sobre el atributo  $i$ .

Otros aspecto a tener en cuenta es la asignación de los valores de preferencia de un atributo sobre otro, dado que el decisor emitirá respuestas cualitativas en las comparación a pares de los atributos. En el presente estudio, se ha establecido la siguiente clasificación (tabla 14):

Grado de importancia	Definición de la escala
1	Ambos atributos tienen la misma importancia
3	El atributo preferido tiene una <i>importancia ligeramente superior</i> al otro
5	El atributo preferido tiene una importancia <i>superior</i> al otro
7	El atributo preferido tiene una importancia <i>muy superior</i> al otro
9	El atributo preferido tiene una <i>preferencia absoluta</i> sobre el otro

**Tabla 15.** Definición de la escala de preferencia para las comparaciones pareadas de atributos.

Una vez obtenidas las matrices de Saaty para cada uno de los individuos encuestados, se debe determinar el peso  $w_i$  de cada atributo. En el caso de perfecta consistencia del decisor, los  $n$  pesos podrían fácilmente determinarse a partir de los  $n \cdot (n-1)/2$  valores de  $a_{ijk}$  que éste ha declarado. Sin embargo, dado que raramente se da la perfecta consistencia cuando la subjetividad del encuestado entra en juego, se han propuesto diversos métodos para la estimación del vector de prioridades, siendo los más comunes el del *vector propio principal* y la *media geométrica por filas*.

Dado que en la literatura no se encuentran evidencias sobre la superioridad de unos métodos sobre otros, **en el presente estudio se ha calculado el vector agregado de cada atributo -peso  $\hat{w}_i$ - mediante la media geométrica por filas para cada una de las encuestas**, es decir:

$$\hat{w}_{ik} = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^{i=n} \hat{a}_{ijk}} \quad \forall \quad i, j \in n$$



donde:

$\hat{w}_{ik}$  = peso del atributo  $i$  para el decisor  $k$ .

$\hat{a}_{ik}$  = valor de comparación para el atributo  $i$ ,

Una vez obtenidos los pesos  $\hat{w}_{ik}$ , se procede a normalizarlos, de forma que se cumpla que:

$$\sum_{i=1}^{i=n} \hat{w}_{ik} = 1$$

### 5.5.2 Consistencia de la matriz de Saaty

La consistencia en las respuestas a las encuestas se mide mediante el *Ratio de Consistencia CR*, definido como [Saaty, 1980]:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (\text{Ec.15})$$

siendo:

CI: Índice de consistencia *-Consistence Index-*, que mide la "distancia" de los valores de la matriz de Saaty a una matriz perfectamente consistente.

RI: Índice aleatorio de consistencia *-Random Index-*, siendo el CI para una matriz de tamaño  $n \times n$  aleatoria.

Se establece que las respuestas son inconsistentes para valores  $CR < 10-20\%$ , con lo que éstos, en principio, deberían ser desechados.

### 5.5.3 Encuestas para la metodología AHP

Para el presente estudio, se ha elaborado un **cuestionario de comparación de los distintos valores de los servicios ecosistémicos estudiados**, siguiendo la metodología AHP y empleando la escala de preferencia de la tabla 14. Esta encuesta puede ser consultada en el **Anexo IV**.

En total, han cumplimentado este cuestionario **10 expertos en asuntos hidrológicos y medioambientales** pertenecientes al ámbito de la Administración y de la empresa privada, durante el mes de mayo de 2012. En el **Anexo V** pueden consultarse las matrices de Saaty derivadas, junto con los índices de consistencia  $CR$ . Estos últimos se han calculado empleando la hoja de cálculo facilitada por el Área de Economía, Sociología



y Política Agraria de la Universidad de Valladolid, que determina los vectores propios y analiza la consistencia para las matrices de Saaty de entrada.

#### 5.5.4 Determinación de los pesos de cada atributo

A partir de las matrices de Saaty presentadas en el Anexo V, se obtienen los siguientes pesos para cada atributo calculados como la media geométrica de cada peso por encuestado:

Atributo	$w_i$ agregado	$w_i$ agregado y normalizado	
		t.p.u.	%
Recursos forestales	0,6009	0,1265	12,65%
Mejora de la calidad del agua	1,3640	0,2871	28,71%
Disminución de riesgos	2,2474	0,4730	47,30%
Mejora del paisaje	0,5394	0,1135	11,35%
suma	4,7516	1,0000	100,00%

**Tabla 16.** Pesos calculados para cada uno de los atributos estudiados.

De la tabla 15 se desprende que los servicios de generación de recursos forestales y de mejora de la calidad paisajística presentan una importancia similar -11% y 13% respectivamente-, siendo los efectos de disminución de riesgos por desprendimientos de laderas primero -47%-, y de mejora de calidad de las aguas después -29%-, los de mayor peso según los expertos encuestados.

Estos pesos  $w_i$  serán los empleados para la ponderación de los valores de cada servicio ecosistémico en el apartado de resultados.



## 6 Resultados

### 6.1 Tasa de descuento

Siguiendo a [Del Saz, 2008], "el descuento es la técnica mediante la cual los economistas tratan de comparar los efectos inmediatos de medidas de política económica con los efectos que éstas tendrán en el largo plazo", actualizando para ello al momento presente el valor de esos efectos futuros. El descuento afecta al ritmo de explotación de los recursos naturales de tal forma que cuanto mayor sea la tasa de descuento, mayor será también el ritmo de explotación de los recursos naturales, dado que mayor será su valor presente en relación con su valor futuro.

La tasa de descuento elegida condiciona de forma definitiva el resultado de la valoración: si consideráramos un horizonte temporal de 100 años, el coste actualizado de un daño ambiental futuro valorado en 1€, sería de 0,14 € en el presente para una tasa de descuento del 2%, pero tan sólo sería de 0,0005 € en el caso de que la tasa empleada fuera del 8%; es decir, un valor prácticamente nulo. En este último caso, no existirían en la actualidad argumentos para defender medidas que evitaran ese daño futuro.

Si se emplean tasas de descuento altas o muy altas, se estaría aplicando lo que se conoce como "tiranía del presente"; por el contrario, si las tasas de descuento son bajas o muy bajas, se aplicaría la "tiranía del futuro" pues el valor presente del impacto futuro sería prácticamente igual que si se hubiera producido en la actualidad. Como consecuencia de este hecho, la visión recibida es que se deben utilizar tasas de descuento más bajas cuanto mayor sea el horizonte temporal [Del Saz, 2008]. De esta forma, se está teniendo en cuenta la **equidad intergeneracional** [Correa, 2006], es decir la medida en que las generaciones actuales tienen en consideración los efectos que pueden ejercer sobre las generaciones futuras.

Para el presente estudio, **se ha empleado una tasa de descuento del 3%** propuesta por [Arrojo et al, 1998] para el cálculo de los efectos ambientales y sociales de las grandes obras hidráulicas, por tener en cuenta un horizonte temporal suficientemente largo y ser de aplicación a los asuntos medioambientales, como es el presente estudio.

No obstante, esta tasa no se ha empleado para el cálculo del valor anual del efecto de la mejora paisajística, dado que al haber empleado el método de los precios hedónicos, se saben determinadas características del mercado de la vivienda que pueden emplearse para la determinación de la tasa de descuento.

Siguiendo a [Martínez & Maza, 2003], se obtienen los siguientes índices:

- El crecimiento medio del precio de la vivienda en España desde los años 90, incluyendo inflaciones y deflaciones, es del 4,75%.
- El efecto de la depreciación, según el tipo aplicable desde el 1 de enero del 2003 según la Ley IRPF 40/98, es del 3%.



De ello se deriva, que la tasa de descuento para anualizar el valor del paisaje según el método de los precios hedónicos es del 1,75%.

## 6.2 Valor actual y anual de los servicios ecosistémicos

Para la determinación de los valores actuales que recojan las infinitas rentas anuales generadas por los servicios ecosistémicos, se recurre a la Ec.4 presentada en el apartado 3.2 del presente estudio.

$$V_0 = \frac{g}{r}$$

Donde:

$V_0$  = valor actual.

$g$  = renta anual o valor anualizado.

$r$  = tasa de descuento.

Dando como resultado los valores indicados en la siguiente tabla:

Servicio Ecosistémico	Tasa de descuento ( $r$ )	Valor anualizado (€/año)	Valor actualizado (€)
1. Recursos forestales	3,00%	15.279	509.290
2. Mejora de la calidad del agua	3,00%	10.275	342.492
3. Disminución de riesgos	3,00%	9.796	326.529
4. Paisaje	1,75%	28.367	1.620.984

**Tabla 16.** Valores actuales y anualizados de los servicios ecosistémicos.

De esta tabla se desprende que es el paisaje el que mayor efecto económico genera, seguido por la generación de recursos forestales y siendo la mejora de la calidad del agua y disminución del riesgo por desprendimiento de laderas, los que presentan valores semejantes.

## 6.3 Valor económico total o agregado de la restauración hidrológico-forestal en Saldaña

Teniendo en cuenta los valores de la tabla 16 y los pesos  $w_i$  de cada atributo ambiental-servicio ecosistémico- obtenidos según la metodología *AHP*, se obtienen los valores ponderados de las tablas 18 y 19.



Servicio Ecosistémico	w (AHP)	Valor anualizado (€/año)	Valor anualizado ponderado (€/año)
1. Recursos maderables	0,127	13.751	1.746
2. Mejora de la calidad del agua	0,286	10.275	2.939
3. Disminución de riesgos	0,473	9.796	4.634
4. Paisaje	0,114	28.367	3.234
<b>suma</b>	<b>1,000</b>	<b>62.189</b>	<b>12.552</b>

Tabla 18. Valores anualizados ponderados.

Servicio Ecosistémico	w (AHP)	Valor actualizado (€)	Valor actualizado ponderado (€/año)
1. Recursos maderables	0,127	509.290	64.680
2. Mejora de la calidad del agua	0,286	342.492	97.953
3. Disminución de riesgos	0,473	326.529	154.448
4. Paisaje	0,114	1.620.984	184.792
<b>suma</b>	<b>1,000</b>	<b>2.799.295</b>	<b>501.873</b>

Tabla 19. Valores actuales ponderados.

Para "m" atributos, el Valor Agregado será (Ec. 16):

$$\text{Valor agregado} = m \cdot \sum_{i=1}^m w_i \cdot V_i$$

De lo que se obtiene:

$$\text{Valor anual agregado} = 4 \cdot 12.552 \text{ €/año} = 50.208 \text{ €/año}$$

y

$$\text{Valor actual agregado} = 4 \cdot 501.873 \text{ €} = 2.007.492 \text{ €}$$

Por tanto, se desprende que el **valor agregado de la restauración hidrológico-forestal de Saldaña**, teniendo en cuenta únicamente los servicios ecosistémicos de generación de recursos forestales, mejora de la calidad del agua, disminución de los riesgos por deslizamientos de ladera y mejora del paisaje, es de **2.007.492 €**, lo que supone un excedente **para la población de Saldaña de hasta 50.208 €/año**.



## 7 Discusión de resultados y conclusiones

En el presente estudio se ha valorado el incremento en el capital natural generado a partir de la restauración hidrológico-forestal (RHF) ejecutada por la Confederación Hidrográfica del Duero en la población de Saldaña en los años 30 [Ayerbe, 1930]. Antes de su ejecución, las laderas de esta localidad eran una importante fuente de sedimentos debido a los fuertes procesos erosivos que se producían en forma de cárcavas y deslizamientos en masa. Estos procesos afectaban al núcleo urbano de Saldaña con calles cenagosas durante los episodios fuertes de lluvia, contaminaban las aguas del río Carrión con altas cargas de sólidos en suspensión, colapsaban los canales de riego y provocaban el corte de la carretera entre Saldaña y Osorno [Navarro et al, 2012].

Tras la ejecución de más de 100 diques en las cárcavas y la reforestación de las laderas, 80 años después puede observarse que se han evitado los procesos erosivos, se ha conseguido el arraigo de la vegetación en las laderas iniciándose procesos edafogénicos apreciables, se ha producido una mejora significativa en la calidad paisajística del entorno, e incluso el río Carrión se ha beneficiado de una mejora en la calidad de las aguas como consecuencia de la menor entrada de sólidos en suspensión [Navarro et al, 2012].

Los efectos económicos de este proyecto se han presentado en forma de evidentes servicios ecosistémicos (SE) que, hasta el día de hoy, no habían sido cuantificados. Son los siguientes:

1. Recursos forestales maderables.
2. Aumento de la calidad del agua del río Carrión.
3. Defensa frente a riesgos por deslizamientos de las laderas.
4. Incremento de la calidad paisajística.

Estos SE presentan una definición espacial explícita [Morse-Jones et al, 2011] en las laderas del municipio, siendo la población beneficiada por los mismos la propia población de Saldaña. Tampoco son servicios competitivos entre sí, lo que asegura que no se haya producido una doble contabilidad [Morse-Jones et al, 2011], permitiendo de esta forma la agregación de sus valores. Asimismo, ha sido evidente la generación de un "efecto umbral" positivo, dado que la restauración hidrológico-forestal ha supuesto cambios evidentes en los fenómenos erosivos, el paisaje, la edafología de las laderas y la calidad del agua del río Carrión.

Este efecto umbral ha impedido la realización de un análisis marginal de los efectos ambientales de la restauración, de forma que su valoración se puede considerar un análisis estático de la situación actual, habiéndose tratado la restauración de forma íntegra. Este hecho no menosprecia el valor del estudio, primero, porque el objetivo del mismo ha sido evaluar la situación actual, 80 años después de la ejecución del proyecto, el valor de los efectos ambientales desarrollados, y segundo, porque en ningún momento ha sido necesaria la obtención de la curva del excedente del consumidor en dicha población. De hecho, tal y como indican [Rockström et al, 2009] son muy pocos los



estudios válidos que recogen el valor económico en términos marginales y el efecto umbral habría impedido de cualquier modo este análisis marginal.

Para la valoración de cada uno de los SE indicados, se ha empleado la metodología de cálculo más conveniente [De Frutos Madrazo, 2008]: métodos de valoración forestal para los recursos forestales, el método de los costes evitados para la mejora de la calidad de las aguas del río Carrión, la transferencia de beneficios para los efectos de la disminución del riesgo de deslizamientos de laderas, empleando la valoración del riesgo y el efecto renta para dicha transferencia, y el método de los precios hedónicos para la mejora paisajística.

De este análisis se desprende que es el paisaje el que mayor efecto económico genera -1.600.000 €-, seguido por la generación de recursos forestales -algo más de 500.000 €- y siendo la mejora de la calidad del agua y disminución del riesgo por desprendimiento de laderas, los que presentan valores semejantes -alrededor de 350.000 €-.

La agregación de estos resultados no se ha realizado de forma homogénea, sino que se ha tenido en cuenta la importancia relativa de cada uno de los SE obtenida mediante un *Proceso Analítico Jerárquico* (también conocido como *Analytic Hierarchy Process, AHP*). Para ello, se ha elaborado un cuestionario en el que se compara por parejas la importancia de cada SE y que ha sido cumplimentado por 10 personas expertas en asuntos hidrológicos y medioambientales, tanto de la empresa privada como de la Administración. De dicho proceso se obtiene que los servicios de generación de recursos forestales y de mejora de la calidad paisajística presentan una importancia similar -11% y 13% respectivamente-, siendo los efectos de disminución de riesgos por desprendimientos de laderas primero -47%-, y de mejora de calidad de las aguas después -29%-, los de mayor peso según los expertos encuestados.

**Del resultado de la agregación se obtiene que la restauración hidrológico-forestal ejecutada por la Confederación Hidrográfica del Duero en los años 30 ha supuesto un incremento en el capital natural de esta población de 2.000.000 €, lo que supone un excedente anual de 50.200 €/año para una tasa de descuento del 3%.**

Este valor se podría emplear para cualquier análisis coste-beneficio de proyectos o programas a desarrollar en la población de Saldaña y que supusieran una merma del **capital natural**, de forma que se exigiera un incremento en el **capital social**, por lo menos, equivalente a la pérdida generada.

El rigor en la aplicación de las metodologías, la definición de los SE estudiados y una delimitación espacial explícita puede que hayan supuesto un excesivo "conservadurismo" en su valoración. Sin embargo, considerando el efecto de la escala espacial, el resultado obtenido no entra en conflicto con el obtenido por [Costanza et al, 1997]. Si acaso, **el valor obtenido se podría interpretar como el mínimo valor para los SE generados a partir de la ejecución de la restauración hidrológico-forestal.**

**De hecho, existen otros SE no valorados en el presente estudio, que no son competitivos con los aquí analizados, y que deberían ser considerados para obtener el Valor Económico Total de la RHF:**



- Recursos Forestales no maderables, principalmente hongos.
- Efectos en la disminución de riesgos por crecidas del río Carrión, fundamentalmente debido a la disminución del caudal sólido, que explica buena parte de las sobre-elevaciones que las avenidas cargadas de sólidos presentan frente a las avenidas de "aguas claras" [Martín Vide, 2002]
- Efectos en la productividad forestal de las vegas fluviales, principalmente populicultura.
- Mejora de la calidad del aire.
- Captación de CO<sub>2</sub>.
- Aumento de la biodiversidad.
- Oportunidad recreativas.

La valoración monetaria de los servicios ambientales se está convirtiendo en una herramienta muy necesaria para integrar la conservación ambiental en las políticas económicas, en aras a conseguir un desarrollo económico compatible con el mantenimiento de los recursos naturales que sin duda sostienen el crecimiento económico. Este efecto se ha mostrado beneficioso, sobre todo considerando que las razones científicas y ético-morales no han sido suficientes para evitar las pérdidas del capital natural que se están produciendo en la actualidad [Morse-Jones et al, 2011] y que se está comprometiendo la posibilidad de obtener los mismos beneficios derivados de estos SE en el futuro [Millenium Ecosystem Assessment, 2005].

Existen no obstante, otras formas de valoración que no se reducen al aspecto monetario. Tal y como establece [Martínez Alier, 2008], podemos convertir el valor de los servicios ecosistémicos en unidades monetarias, de forma que puedan introducirse en la contabilidad económica tradicional, pero esto no exime de la legitimidad de otros lenguajes de valoración, no estrictamente monetarios. La cuestión no es pues si el valor económico sólo se determina en mercados realmente existentes ya que los economistas han desarrollado métodos para la valoración monetaria de los servicios y bienes ambientales y de sus externalidades. La cuestión es, más bien, si todas las evaluaciones pertinentes deben reducirse a una medida común, a la única dimensión monetaria.

Este tipo de valoraciones son propios de la economía ecológica [Hoepner et al, 2012], que reconoce la importancia de los flujos de energía y de materiales que sustentan los sistemas económicos para la toma de decisiones públicas. Se trata éste de un asunto que sobrepasa los objetivos de este estudio, pero de un inmenso valor y que debería ser desarrollado en el futuro.



## BIBLIOGRAFÍA

- Arrojo Agudo, P., Bernal Cuenca, E., Fernández Comuñas, J. & López Gracia, J.M.: *El análisis coste-beneficio y su vigencia relativa en la valoración de grandes proyectos hidráulicos*. Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación de Aguas. Zaragoza. 1998.
- Ayerbe, J.M.: *Proyecto de restauración y repoblación de las laderas de la margen izquierda del río Carrión*. Confederación Hidrográfica del Duero. 1930.
- Azcarretazabal, D.: *Proyecto de repoblación forestal, restauración de laderas y consolidación de márgenes en el río Carrión*. Confederación Hidrográfica del Duero. 1963.
- Azqueta, D: *Valoración económica de la calidad ambiental*. Ed. McGraw-Hill. 1994.
- Comisión Europea: *La Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad*. Oficina de publicaciones de las Comunidades Europeas. Luxemburgo. 2008.
- Correa, F.: *La tasa social de descuento y el medio ambiente*. Lecturas de Economía. 2006.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. & van den Belt, M.: *The value of ecosystem services: putting the issues in perspective*. Ecological Economics. 1998.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. & van den Belt, M.: *The value of the world's ecosystem services and natural capital*. Nature. 1997.
- De Frutos Madrazo, P: *Estimación de los beneficios de los ecosistemas forestales regionales para los habitantes de la Comunidad Autónoma de Castilla y León*. Revista de Investigación Económica y Social de Castilla y León. 2008.
- De Frutos Madrazo, P. & Esteban Laleona, S.: *El valor de las zonas verdes urbanas. Aplicación del método de los precios hedónicos al mercado inmobiliario de la ciudad de Soria*. XXXII Reunión de Estudios Regionales de la AEER. Ourense. 2006.
- Del Saz, S.: *Medio ambiente y desarrollo: una revisión conceptual*. Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa. CIRIEC - España. 2008.
- Editorial: *Ecosystem services - Bridging ecology, economy and social sciences*. Ecological Complexity. 2010.
- FAO: *World Reference Base for Soil Resources*.FAO. UN. Roma. 1998.
- Foley, J.: *Planetary boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity*. Ecology and Society. 2009.
- Gobierno de Cantabria: *Justificación de precios. Revisión Nº 7*. Gobierno de Cantabria. Consejería de Obras Públicas, Ordenación del Territorio, Vivienda y Urbanismo. Servicio de Proyectos y Obras. 2011.



Hoepner, A.G.F., Kant, B., Scholtens, B. & Shan Yu, P.: *Environmental and ecological economics in the 21st century: an age adjusted citation analysis of the influential articles, journals, authors and institutions*. Ecological Economics. 2012.

Liu, S., Costanza, R., Farber, S. y Troy, A.: *Valuing ecosystem services: theory, practice and the need for a transdisciplinary synthesis*. Annals of New York Academy of Sciences. 2010.

López Herrero, Julio A.: *Proyecto de construcción de la Estación Depuradora de Aguas Residuales de Saldaña*. Confederación Hidrográfica del Duero. 1997.

Madrigal Collazo, A., Álvarez González, J.G., Rojo Alboreca, J.G. y Rodríguez Soalleiro, A.: *Tablas de producción para los montes españoles*. Fundación Conde del Valle Salazar. 1999.

Martín Vide, J.P.: *Ingeniería de ríos*. Ed. Politecnos. Universidad Politécnica de Catalunya. 2002.

Martínez Alier, J.: *La crisis económica, vista desde la economía ecológica*. Ecología Política. 2008.

Martínez de Azagra, A., Seseña, A., Fernández de Villarán, R., Méndez, C., Fernández, M., Díez, J.M. & Navarro Hevia, J.: *Estudio para la elaboración de una metodología de análisis de la eficacia de obras transversales de corrección hidrológico-forestal ubicadas en escarpes de páramo*. Proyecto financiado por CEDEX (Ministerio de Fomento). U.D. de Hidráulica e Hidrología. E.T.S. de Ingenierías Agrarias. Universidad de Valladolid. Palencia. 1997.

Martínez, J. & Maza, L.A.: *Análisis del precio de la vivienda en España*. Documento de Trabajo nº 0307. Banco de España. Servicio de Estudios. 2003.

McComb, G., Lantz, V., Nash, K & Rittmaster, R.: *International valuation databases: Overview, methods and operational issues*. Ecological Economics. 2006.

Morse-Jones, S., Luisetti, T., Kerry Turner, R. & Fisher, B.: *Ecosystem valuation: some principles and a partial application*. Environmetrics. 2011.

Nahuelhual, L., Donoso, P., Lara, A., Núñez, D., Oyarzún, C. & Neira, E.: *Valuing ecosystem services of chilean temperate rainforests*. Environment, Development and Sustainability. 2007.

Navarro Hevia, J., Mongil Manso, J., de Araújo, J.C. & Martínez de Azagra Paredes, A.: *Assessment of 80 years of ancient-badland forest and hydrologic restoration in Saldaña (Palencia, Spain)*. En revisión. 2012.

NRCS: *Field Book for Describing and Sampling Soils*. NRCS-USDA. Lincoln. 2003.

Olschewski, R. et al, 2012: Olschewski, R., Bebi, P., Teich, M., Wissen Hayek, U. & Grêt-Regamey, A.: *Avalanch protection by forests - A choice experiment in the Swiss Alps*. Forest Policy and Economics. 2012.



Ortuño Pérez, S.F., Madrigal Collazo, A. & González Doncel, I.: *Apuntes de Valoración Agraria y Forestal*. Departamento de Economía y Gestión Forestal. E.U.I.T.F. UPM. 2007.

Parlamento Europeo y Consejo. *Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el marco de la política de aguas*. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, L 327/1. 2000.

Rockström et al, 2009: Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F.S., Lambin, E., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J., Nykvist, B., de Wit, C.A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörling, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V.J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. & Foley, J.: *Planetary boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity*. Ecology and Society. 2009.

Rodríguez Rial, Nel: *La razón de Europa. Sobre el devenir de la cultura filosófica europea en la modernidad*. Universidad de Santiago de Compostela. 2001.

Saaty, T: *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill. Nueva York..1980

Turner R.K. & Daily, GC.: *The ecosystem services framework and natural capital conservation*. Environmental and Resource Economics. 2008 .

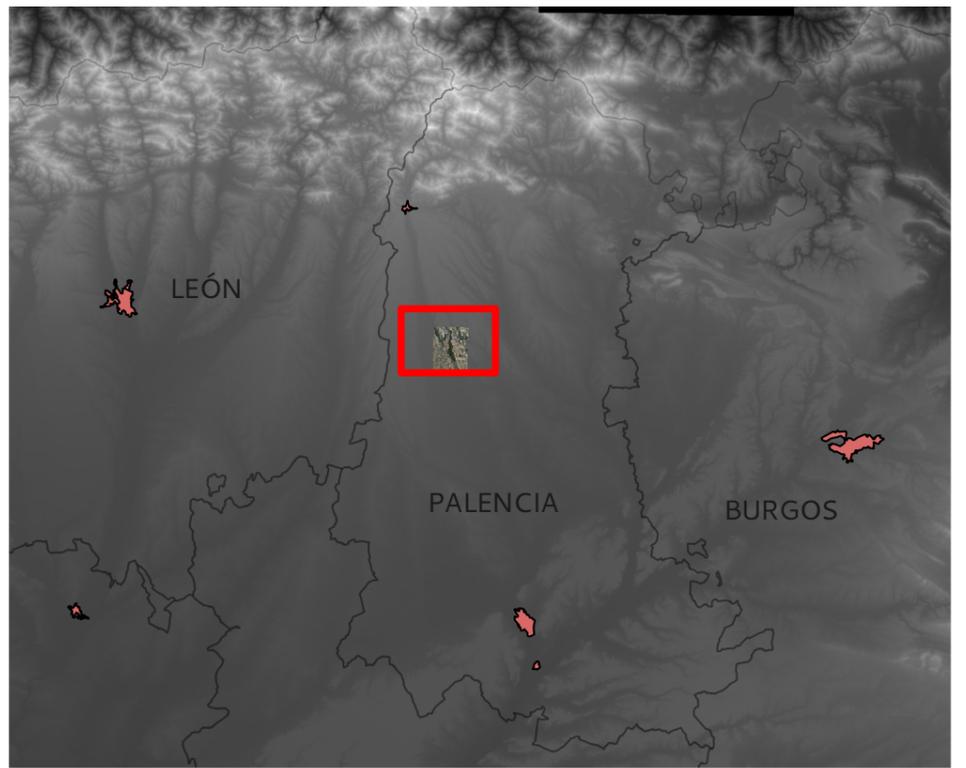
Varios autores: *Millenium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Island Press, Washington Press, DC. 2005.



Máster en Investigación para el Desarrollo Agroforestal

Trabajo Fin de Máster: *"La restauración de las laderas de Saldaña y el capital natural"*

## ***ANEXO I: PLANO DE SITUACIÓN***



**Leyenda**  
Contorno restauración  


**TRABAJO FIN DE MASTER:**  
**"La Restauración de las laderas de Saldaña y su capital natural"**  
**Iñigo Oleagordia Montaña**

MAPA DE SITUACIÓN e:1/15.000



Máster en Investigación para el Desarrollo Agroforestal

Trabajo Fin de Máster: "La restauración de las laderas de Saldaña y el capital natural"

**ANEXO II:  
DATOS DE LA ESTACIÓN DE AFOROS DE  
CELADILLA DEL RÍO**

## RESUMEN HISTÓRICO DE DATOS DE LA ESTACIÓN

ESTACIÓN DE AFOROS Nº: 23

Río: CARRIÓN

En: CELADILLA DEL RÍO

Clasificación decimal: 02-01-28-14

Superficie cuenca estación: 494 Km<sup>2</sup>

UTM X: 352584 UTM Y: 4719197

AÑOS	DATOS ANUALES			APORTACIONES MENSUALES EN Hm <sup>3</sup>												CAUDALES MÁXIMOS ANUALES					
	PREC	APORTACIÓN		OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Q <sub>c</sub>		Q <sub>cl</sub>		Fecha	
	mm.	mm.	Hm <sup>3</sup>													m <sup>3</sup> /s	mes	día	m <sup>3</sup> /s	mes	día
1998-99	-	501	247,5	10,48	10,21	11,31	12,29	11,08	13,76	21,74	26,39	39,34	42,17	31,48	17,20	17,9	7	6	17,9	7	5
1999-00	-	853	421,5	19,31	25,28	19,26	20,62	6,03	9,01	68,29	70,51	50,51	45,13	54,62	32,88	55,9	4	26	58,9	4	26
2000-01	-	1682	830,7	16,94	21,58	111,11	153,71	103,45	148,83	44,84	46,61	39,50	53,91	57,99	32,25	99,5	3	8	102,0	3	8
2001-02	-	467	230,9	13,63	8,18	8,00	9,59	8,06	13,55	14,40	33,34	37,59	37,54	32,00	14,99	18,6	7	1	19,9	6	27
2002-03	-	1168	577,2	8,07	10,75	49,93	91,03	65,65	88,81	50,16	48,74	42,66	48,56	48,46	24,34	77,7	12	30	78,3	12	30
2003-04	-	610	301,3	12,20	13,38	27,53	18,28	6,65	22,79	20,59	30,50	38,15	48,42	37,62	25,19	24,3	3	13	28,1	3	12
2004-05	-	506	250,0	11,23	11,04	7,30	7,14	4,20	6,11	20,97	38,15	40,94	46,32	39,11	17,44	25,2	5	10	26,5	5	9
2005-06	-	597	294,7	6,73	6,65	8,10	7,33	6,48	16,94	28,48	47,32	44,54	52,13	46,03	23,98	25,5	7	13	29,4	7	13
2006-07	-	1011	499,2	25,87	33,70	65,89	24,05	45,72	39,37	48,99	40,44	37,58	54,10	48,75	34,73	51,1	11	29	69,2	11	29

## VALORES

MEDIOS:	-	822	405,9	13,83	15,64	34,27	38,23	28,59	39,91	35,38	42,44	41,20	47,59	44,01	24,78	44,0	-	-	47,8	-	-
MÁX.:	-	1.682	830,7	25,87	33,70	111,11	153,71	103,45	148,83	68,29	70,51	50,51	54,10	57,99	34,73	99,5	-	-	102,0	-	-
MÍN.:	-	467	230,9	6,73	6,65	7,30	7,14	4,20	6,11	14,40	26,39	37,58	37,54	31,48	14,99	17,9	-	-	17,9	-	-
CAUDAL MEDIO (m <sup>3</sup> /s)		12,87	5,16	6,03	12,79	14,27	11,82	14,90	13,65	15,85	15,90	17,77	16,43	9,56							

**CAUDALES CLASIFICADOS**

ESTACIÓN DE AFOROS Nº: 23

Río: CARRIÓN

En: CELADILLA DEL RÍO

Clasificación decimal: 02-01-28-14

Superficie cuenca estación: 494 Km<sup>2</sup>

UTM X: 352584 UTM Y: 4719197

Años	Q Caudal Medio (Módulo)	Q <sub>CI</sub> Caudal Máximo instantaneo	Q <sub>C</sub> Caudal Máximo medias diarias	Q <sub>MC</sub> Caudal Máximo característico	Q <sub>30</sub> Caudal superado días	Q <sub>60</sub> Caudal superado días	Q <sub>90</sub> Caudal superado días	Q <sub>120</sub> Caudal superado días	Q <sub>150</sub> Caudal superado días	Q <sub>180</sub> Caudal superado días	Q <sub>210</sub> Caudal superado días	Q <sub>240</sub> Caudal superado días	Q <sub>270</sub> Caudal superado días	Q <sub>300</sub> Caudal superado días	Q <sub>330</sub> Caudal superado días	Q <sub>ME</sub> Caudal mínimo característico	Q <sub>E</sub> Caudal mínimo medias diarias
1998-99	7,85	17,93	17,93	16,27	15,81	14,44	11,36	9,06	7,85	5,16	4,60	4,60	4,24	4,06	3,88	3,88	3,70
1999-00	13,33	58,89	55,90	36,36	30,29	21,61	19,24	17,55	15,42	12,66	9,85	6,10	4,37	3,11	2,26	2,07	1,89
2000-01	26,30	102,00	99,50	79,80	56,70	46,40	39,00	23,30	21,30	19,60	17,70	15,10	12,70	10,20	5,99	3,52	2,80
2001-02	7,32	19,90	18,60	18,00	14,90	13,00	11,60	10,20	6,62	4,52	3,60	3,21	3,12	3,03	2,96	2,67	2,31
2002-03	18,30	78,30	77,70	60,00	42,90	26,00	21,60	19,40	17,40	15,60	13,50	10,70	9,17	4,95	3,33	2,61	2,49
2003-04	9,53	28,10	24,30	21,30	18,20	14,80	12,00	10,60	10,20	9,83	8,01	6,39	4,22	3,94	3,17	2,41	1,36
2004-05	7,93	26,50	25,20	20,40	18,10	15,30	13,90	10,10	6,47	4,61	4,12	3,23	2,36	2,22	1,58	1,55	0,96
2005-06	9,35	29,40	25,50	23,00	20,30	17,60	15,10	14,00	10,80	6,84	3,95	2,76	2,64	2,46	2,08	1,82	1,03
2006-07	15,80	69,20	51,10	36,60	28,40	22,60	20,20	17,60	15,90	14,00	13,50	12,00	10,60	8,79	7,19	3,91	2,67

**VALORES**

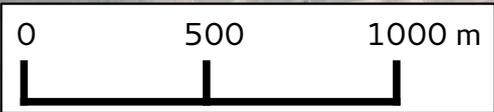
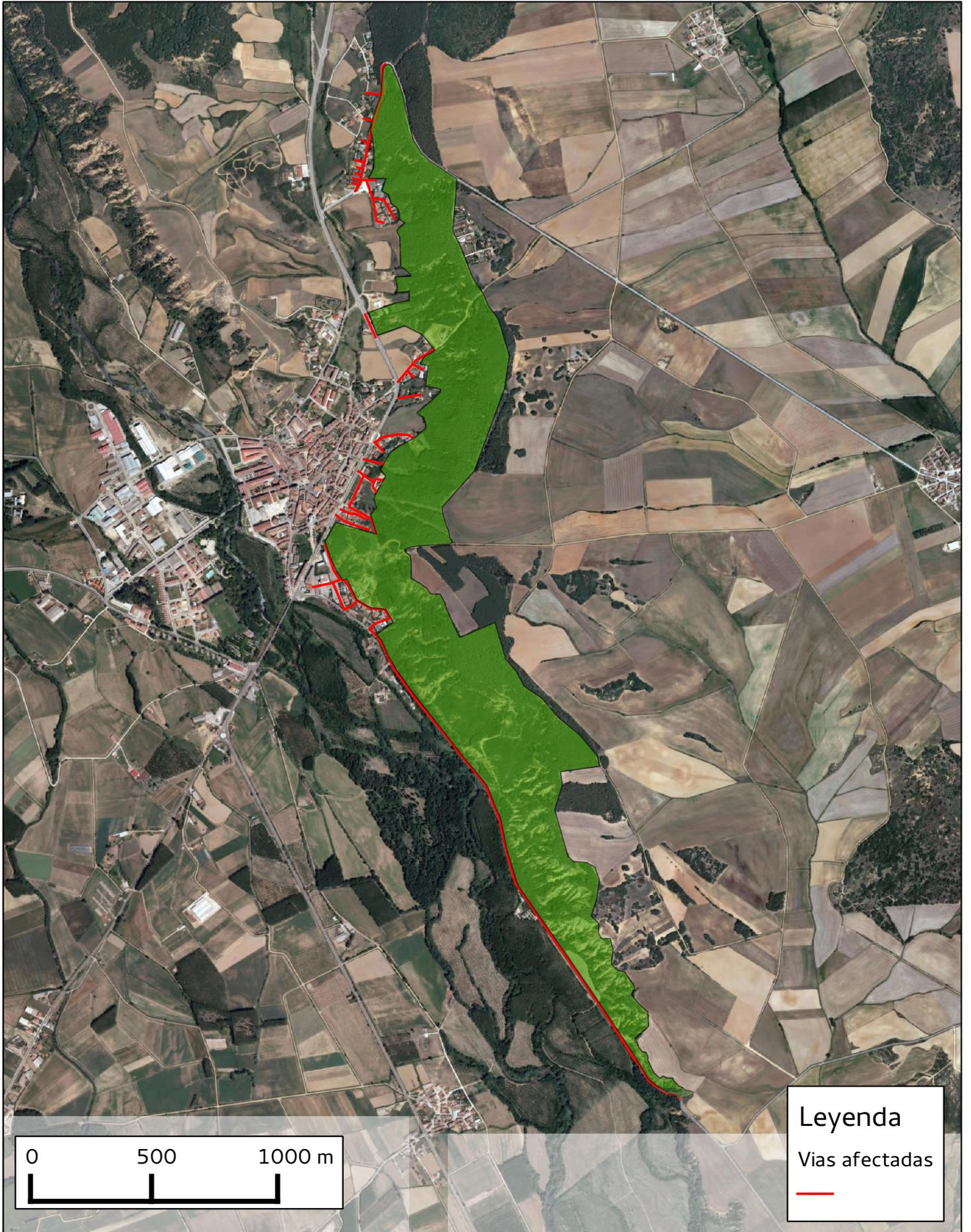
MEDIOS:	12,86	47,80	43,97	34,64	27,29	21,31	18,22	14,65	12,44	10,31	8,76	7,12	5,94	4,75	3,60	2,72	2,13
MÁX. :	26,30	102,00	99,50	79,80	56,70	46,40	39,00	23,30	21,30	19,60	17,70	15,10	12,70	10,20	7,19	3,91	3,70
MÍN. :	7,32	17,93	17,93	16,27	14,90	13,00	11,36	9,06	6,47	4,52	3,60	2,76	2,36	2,22	1,58	1,55	0,96



Máster en Investigación para el Desarrollo Agroforestal

Trabajo Fin de Máster: "La restauración de las laderas de Saldaña y el capital natural"

**ANEXO III:  
LONGITUD DE LAS VÍAS DIGITALIZADAS PARA LA  
ESTIMACIÓN DEL EFECTO RIESGO**



Leyenda  
Vías afectadas  
—

Anexo III:  
Digitalización de vías para cálculo del efecto riesgo  
escala: 1/20.000

Vías afectadas (digitalización en Qgis)

wkt_geom	cat	Longitud (m)
LINESTRING(357722.796784 4710896.879705, 357713.091740 4710887.174662, 357710.935063 4710870.999588, 357713.091740 4710812.769325, 357714.170078 4710790.124223, 357708.778387 4710766.400782, 357691.524976 4710711.405533, 357682.898270 4710682.290402, 357664.566520 4710615.433433, 357641.921418 4710510.834626, 357624.668007 4710437.507628, 357613.884624 4710408.392496, 357604.179581 4710390.060747)	0	527
LINESTRING(357648.391447 4710432.115937, 357674.271564 4710357.710601, 357688.289961 4710270.365206, 357715.248416 4710263.895176)	0	195
LINESTRING(357654.861476 4710576.613257, 357631.138036 4710593.866669)	0	29
LINESTRING(357679.663255 4710669.350343, 357638.686403 4710679.055387)	0	42
LINESTRING(357710.935063 4710775.027488, 357649.469785 4710781.497517)	0	62
LINESTRING(357635.451389 4710505.442935, 357607.414595 4710512.991303)	0	29
LINESTRING(357631.138036 4710478.484480, 357611.727948 4710484.954509)	0	20
LINESTRING(357625.746345 4710453.682701, 357604.179581 4710460.152731)	0	23
LINESTRING(357618.197977 4710434.272613, 357596.631213 4710440.742643)	0	23
LINESTRING(357616.041301 4710414.862526, 357592.317860 4710422.410893)	0	25
LINESTRING(357618.197977 4710434.272613, 357681.819932 4710434.272613)	0	64
LINESTRING(357677.506579 4710359.867277, 357717.405093 4710355.553924, 357760.538621 4710278.991911)	0	128
LINESTRING(357774.557018 4709627.675633, 357844.649001 4709712.864351, 357917.976000 4709755.997880)	0	195
LINESTRING(357836.022296 4709694.532602, 357870.529118 4709677.279190)	0	39
LINESTRING(357811.220517 4709668.652485, 357833.865619 4709647.085720)	0	31
LINESTRING(357776.713694 4709561.897002, 357859.745736 4709574.837060)	0	84
LINESTRING(357681.819932 4709385.049535, 357718.483431 4709407.694638, 357776.713694 4709417.399682, 357813.377193 4709415.243005, 357831.708943 4709404.459623)	0	160
LINESTRING(357681.819932 4709385.049535, 357714.170078 4709349.464375)	0	48
LINESTRING(357616.041301 4709269.667347, 357677.506579 4709224.377142)	0	76
LINESTRING(357638.686403 4709317.114228, 357717.405093 4709297.704140)	0	81
LINESTRING(357677.506579 4709224.377142, 357686.133284 4709239.473877, 357714.170078 4709233.003848)	0	46
LINESTRING(357677.506579 4709224.377142, 357673.193226 4709207.123731, 357687.211623 4709187.713643)	0	42
LINESTRING(357638.686403 4709254.570612, 357579.377802 4709127.326703, 357645.156433 4709092.819881, 357668.879873 4709075.566469, 357688.289961 4709017.336206)	0	305
LINESTRING(357548.105994 4709116.543321, 357578.299464 4709102.524925, 357609.571272 4709098.211572, 357641.921418 4709079.879822)	0	102
LINESTRING(357528.695906 4709093.898219, 357555.654361 4709073.409793, 357598.787890 4709055.078043, 357657.018153 4709035.667956)	0	142

LINestring(357486.640716 4708973.124339, 357518.990862 4708872.838886, 357542.714303 4708837.253725, 357563.202729 4708832.940372, 357579.377802 4708808.138593, 357608.492933 4708756.378359, 357664.566520 4708720.793198, 357719.561769 4708718.636522, 357742.206871 4708683.051361, 357682.898270 4708660.406259, 357661.331506 4708638.839494)	0	516
LINestring(357542.714303 4708835.097049, 357507.129142 4708822.156990, 357437.037158 4708807.060255)	0	110
LINestring(357515.755847 4708823.235328, 357559.967714 4708716.479845)	0	116
LINestring(357611.727948 4708750.986668, 357594.474537 4708733.733257, 357559.967714 4708716.479845)	0	63
LINestring(357661.331506 4708638.839494, 357692.603314 4708607.567686, 357713.091740 4708573.060864, 357754.068592 4708483.558792, 357842.492325 4708359.549898, 357982.676292 4708189.172461, 358008.556409 4708152.508962)	0	601
LINestring(358279.219300 4707565.892976, 358382.739768 4707411.690612, 358514.297030 4707222.981425, 358609.190792 4707080.640781, 358709.476245 4706921.046726, 358729.964671 4706899.479962)	0	805
LINestring(358729.964671 4706899.479962, 358768.784847 4706833.701331, 358817.310066 4706793.802818, 358852.895227 4706777.627744, 358878.775344 4706777.627744, 358893.872079 4706759.295995)	0	228
LINestring(358729.964671 4706899.479962, 358768.784847 4706833.701331, 358817.310066 4706793.802818, 358852.895227 4706777.627744, 358878.775344 4706777.627744, 358893.872079 4706759.295995)	0	98
LINestring(358729.964671 4706899.479962, 358768.784847 4706833.701331, 358817.310066 4706793.802818, 358852.895227 4706777.627744, 358878.775344 4706777.627744, 358893.872079 4706759.295995)	0	658



Máster en Investigación para el Desarrollo Agroforestal

Trabajo Fin de Máster: "La restauración de las laderas de Saldaña y el capital natural"

**ANEXO IV:  
CUESTIONARIO AHP PARA LA DETERMINACIÓN DEL PESO  
DE CADA VALOR ECOSISTÉMICO**

**EVALUACIÓN DE LA RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO-FORESTAL DE LA CHD EN SALDAÑA**

Teniendo en cuenta los beneficios ambientales generados por las Restauraciones Hidrológico - Forestales, ¿podría indicar, según su criterio, **cuál de los siguientes beneficios obtenidos es más importante?**

- 1
- a) Los **recursos forestales** generados
  - b) La mejora de la **calidad del agua**

Importancia similar


En caso de que considere que la importancia NO es similar, indique por favor el grado de superioridad:

- Ligeramente superior     Superior     CheckBox3     Preferencia absoluta

- 2
- a) Los **recursos forestales** generados
  - b) La **defensa frente a riesgos hidrológicos y meteorológicos**

Importancia similar


En caso de que considere que la importancia NO es similar, indique por favor el grado de superioridad:

- Ligeramente superior     Superior     Muy superior     Preferencia absoluta

- 3
- a) Los **recursos forestales** generados
  - b) La creación de **paisaje**

Importancia similar


En caso de que considere que la importancia NO es similar, indique por favor el grado de superioridad:

- Ligeramente superior     Superior     Muy superior     Preferencia absoluta

- 4 a) La mejora de la **calidad del agua**  
b) La **defensa frente a riesgos hidrológicos y meteorológicos**

Importancia similar


En caso de que considere que la importancia NO es similar, indique por favor el grado de superioridad:

- Ligeramente superior     Superior     Muy superior     **Preferencia absoluta**
- 

- 5 a) La mejora de la **calidad del agua**  
b) La creación de **paisaje**

Importancia similar


En caso de que considere que la importancia NO es similar, indique por favor el grado de superioridad:

- Ligeramente superior     Superior     Muy superior     **Preferencia absoluta**
- 

- 6 a) La **defensa frente a riesgos hidrológicos y meteorológicos**  
b) La creación de **paisaje**

Importancia similar


En caso de que considere que la importancia NO es similar, indique por favor el grado de superioridad:

- Ligeramente superior     Superior     Muy superior     **Preferencia absoluta**



Máster en Investigación para el Desarrollo Agroforestal

Trabajo Fin de Máster: "La restauración de las laderas de Saldaña y el capital natural"

## ***ANEXO V: MATRICES DE SAATY RESULTADO DE LOS CUESTIONARIOS***

Cod	Atributo
A	Recursos forestales
B	Mejora de la calidad del agua
C	Disminución de riesgos
D	Mejora del paisaje

**Matriz cuestionario 1 (Entrevistado: Responsable Técnico, Gerencia de Servicios Forestales, TRAGSATEC)**

	A	B	C	D	VECT. AG.	VECT. AG. NORM
A	1	0,2	0,2	1	0,447	0,08
B	5	1	1	7	2,432	0,43
C	5	1	1	7	2,432	0,43
D	1	1/7	1/7	1	0,378	0,07
CR	0,53%			suma	5,690	1,00

**Matriz cuestionario 2 (Entrevistado: Responsable Técnico, Gerencia de Asuntos Medioambientales, TRAGSATEC)**

	A	B	C	D	VECT. AG.	VECT. AG. NORM
A	1	1/7	1/5	3	0,538	0,09
B	7	1	5	7	3,956	0,64
C	5	0,2	1	3	1,316	0,21
D	1/3	1/7	1/3	1	0,354	0,06
CR	15,54%			suma	6,165	1,00

**Matriz cuestionario 3 (Entrevistado: Técnico, Gerencia de Servicios Forestales, TRAGSATEC)**

	A	B	C	D	VECT. AG.	VECT. AG. NORM
A	1	1	1/5	1	0,669	0,14
B	1	1	1	5	1,495	0,31
C	5	1	1	5	2,236	0,46
D	1	1/5	1/5	1	0,447	0,09
CR	12,97%			suma	4,847	1,00

**Matriz cuestionario 4 (Entrevistado: Técnico, Gerencia de Servicios Forestales, TRAGSATEC)**

	A	B	C	D	VECT. AG.	VECT. AG. NORM
A	1	1/5	1/7	1	0,409	0,06
B	5	1	1/7	5	1,368	0,21
C	7	7	1	7	4,304	0,66
D	1	1/5	1/7	1	0,411	0,06
CR	13,42%			suma	6,491	1,000

**Matriz cuestionario 5 (Entrevistado: Jefa de Departamento de Servicios Forestales y Asuntos Medioambientales, TRAGSATEC)**

	A	B	C	D	VECT. AG.	VECT. AG. NORM
A	1	1	1/3	5	1,133	0,21
B	1	1	1/3	7	1,233	0,23
C	3	3	1	7	2,817	0,52
D	0,2	1/7	1/7	1	0,253	0,05
CR	4,69%			suma	5,436	1,00

**Matriz cuestionario 6 (Entrevistado: Técnico, Gerencia de Servicios Forestales, TRAGSATEC)**

	A	B	C	D	VECT. AG.	VECT. AG. NORM
A	1	1	1/7	1	0,612	0,13
B	1	1	1/7	1	0,612	0,13
C	7	7	1	1	2,646	0,54
D	1	1	1	1	1,000	0,21
CR	19,11%			suma	4,869	1,00

**Matriz cuestionario 7 (Entrevistado: Técnico, Gerencia de Servicios Forestales, TRAGSATEC)**

	A	B	C	D	VECT. AG.	VECT. AG. NORM
A	1	1/5	1/5	1/3	0,339	0,06
B	5	1	1/3	1/3	0,859	0,16
C	5	3	1	5	2,943	0,56
D	3	3	1/5	1	1,158	0,22
CR	19,44			suma	5,299	1,00

**Matriz cuestionario 8 (Entrevistado: Jefe de Área de Asistencia Técnica y Programación, Dirección Técnica, Confederación Hidrográfica del Duero)**

	A	B	C	D	VECT. AG.	VECT. AG. NORM
A	1	3	1/7	1/7	0,492	0,09
B	1/3	1	1/3	1/5	0,384	0,07
C	7	3	1	1	2,141	0,39
D	7	5	1	1	2,432	0,45
CR	16,59%			suma	5,450	1,00

**Matriz cuestionario 9 (Entrevistado: Jefe de Sección, Dirección Técnica, Confederación Hidrográfica del Duero)**

	A	B	C	D	VECT. AG.	VECT. AG. NORM
A	1	1	3	5	1,968	0,38
B	1	1	3	5	1,968	0,38
C	1/3	1/3	1	7	0,934	0,18
D	1/5	1/5	1/7	1	0,275	0,05
CR	10,42%			suma	5,145	1,00

**Matriz cuestionario 10 (Entrevistado: Jefe de Obra, EHISA Norte, grupo ELECNOR)**

	A	B	C	D	VECT. AG.	VECT. AG. NORM
A	1	1/5	1/7	1	0,409	0,07
B	5	1	1	5	2,236	0,40
C	7	1	1	5	2,432	0,44
D	1	1/5	1/5	1	0,447	0,08
CR	0,60%			suma	5,525	1,00