



APROXIMACIÓN A LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA MODIFICACIÓN DE LA COBERTERA VEGETAL EN LA HIDROLOGÍA DEL RÍO PAS

Approach to climate change and modification of the vegetation cover effects on the hydrology of the river Pas

Autor: Álvaro Hervás Lloreda

Director: Juan Carlos García Codrón

Departamento de Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio. Universidad de Cantabria

**Grado en Geografía y Ordenación del Territorio
Facultad de Filosofía y Letras
2013 - 2014**

Santander, a 5 de septiembre de 2014



INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN Y PALABRAS CLAVE	3
CAPITULO I. INTRODUCCION	4
1.1.- Objetivos y justificación	4
1.2.- Fuentes de información y metodología empleada	5
1.3.- Caracterización área de estudio	6
1.3.1.- Reseña histórica y organización tradicional del área de estudio	10
1.3.2.- Geología y litología	11
1.3.3.- Edafología	12
1.3.4.- Vegetación	15
1.3.5.- Climatología e hidrología	17
CAPITULO II. EL PAPEL DE LOS PRINCIPALES FACTORES QUE INFLUYEN EN LA HIDROLOGÍA	20
2.1.- Pendiente	20
2.2.- Edafología	22
2.3.- Cobertura del suelo	22
CAPITULO III. ESTUDIO HIDROLÓGICO EN BASE A LA COBERTERA VEGETAL, ANALISIS ESCENARIO ACTUAL	26
3.1.- Análisis del balance hídrico	26
3.2.- Umbral de escorrentía	28
3.3.- Cálculo del caudal de avenida	30
3.4.- Explicación	35
CAPITULO IV. CAMBIOS PREVISIBLES EN FUNCIÓN DE LA EVOLUCIÓN DEL CLIMA Y DE LA CUBIERTA VEGETAL	36
4.1.- Escenarios generales de cambio climático, informe IPCC	36
4.2.- Escenarios regionalizados de cambio climático IEEE	39
4.3.- Supuesto del escenario regionalizado IEEE B1	40
4.4.- Supuesto del escenario regionalizado IEEE A2	42
4.5.- Discusión de resultados	45
CAPITULO V. RESULTADOS Y CONCLUSIONES	47
CAPITULO VI. BIBLIOGRAFIA	49



INDICE DE FIGURAS, CUADROS, GRAFICOS Y TABLAS

FIGURAS

Figura 1.1.- Método racional modificado, Témez 1993, para el cálculo del caudal de avenida	8
Figura 1.2.- Encuadre territorial del área de estudio	9
Figura 1.3.- Cuenca hidrográfica del río Pas	19
Figura 2.1.- Mapa de pendientes	21
Figura 2.2.- Usos del suelo en las cuencas alta y media del Pas en la actualidad	22
Figura 3.1.- Plano guía	33
Figura 3.2.- Esquema síntesis de resultados	35
Figura 4.1.- Escenarios de cambio climático IPCC	37
Figura 4.2.- Escenarios de cambio climático regionalizado IIEE	39
Figura 4.3.- Esquema síntesis de resultados: escenario regionalizado B1 (año 2060)	45
Figura 4.4.- Esquema síntesis de resultados: escenario regionalizado A2 (año 2060)	45
Figura 5.1.- Síntesis general	47

CUADROS

Cuadro 1.1.- Principales grupos litológicos en el área de estudio	12
Cuadro 2.1.- Tipo de suelo y características hidrológicas	22

GRAFICOS

Gráfico 2.1.- Ocupación de las principales entidades de cobertura vegetal	23
Gráfico 3.1.- Precipitación y evapotranspiración en la cuenca del Pas	26
Gráfico 4.1.- Precipitación y evapotranspiración en la cuenca del Pas según el escenario regionalizado B1 (año 2060)	40
Gráfico 4.2.- Precipitación y evapotranspiración en la cuenca del Pas según el escenario regionalizado A2 (año 2060)	42

TABLAS

Tabla 3.1.- Determinación del umbral de escorrentía	29
Tabla 4.1.- Determinación del umbral de escorrentía, escenario regionalizado B1 (año 2060)	41
Tabla 4.2.- Determinación del umbral de escorrentía, escenario regionalizado A2 (año 2060)	44



RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

RESUMEN: en este trabajo se analizan las posibilidades de la modelización estadística para la determinación de criterios hidrológicos en función de la climatología y la cobertura vegetal actuales en la cuenca hidrográfica media y alta del río Pas. Además, sobre dicho escenario se aplican las hipótesis de cambio climático futuras IEEE en función del desarrollo socioeconómico durante los próximos 50 años, teniendo en cuenta el factor territorial común para ambos casos donde se atisba un progresivo abandono de las áreas rurales y la dinámica lógica de recuperación espontánea vegetal. Sobre este hecho o proceso se conjuga un desarrollo socioeconómico más optimista dentro de los mencionados escenarios que no introduciría variaciones significativas. En el otro escenario se contemplan ascensos de temperatura y reducciones de las precipitaciones considerables, por lo que éste, sí que supondría cambios sustanciales sobre la cobertura vegetal y alteraciones graves sobre los recursos hídricos, tanto en términos de cantidad como de distribución espacial y temporal.

PALABRAS CLAVE: cambios en la cobertura vegetal, cambio climático, abandono de las áreas rurales, caudal de avenida.

ABSTRACT: The following paper discusses opportunities on a statistical model utilized to determine key variables within the hydrological reasons as a function of existing climate and vegetation cover within the mid and upper Pas River basin. The study employs the predicted changes in climate, as outlined in IEEE standards, as a function of socio-economic development for the region during the next 50 years. Specifically, the analysis has been carried out taking into account the relationship shared by the expected withdrawal of human activity in rural areas and the corresponding increase in vegetation that would result. The predicted changes in climate would bring about positive socio-economic development as they would not introduce significant changes to the existing model. In the other event that the climate predictions are incorrect and increases in ambient temperatures are coupled with considerable reductions in rainfall are observed, will result in significant changes in vegetation levels and the resulting strain on water resources both in terms of quantity and distribution.

KEY WORDS: changes in vegetation cover, climate change, human withdrawal of rural areas, flow rates.



CAPITULO I. INTRODUCCION

1.1.- OBJETIVOS Y JUSTIFICACION

Mediante el documento que se expone a continuación se trata de abordar una temática amplia y compleja, que implica principalmente los impactos experimentados en la hidrología como consecuencia de la evolución de la cobertera vegetal y del clima, además, de una manera integradora, ya que éstas a su vez están compuestas por diversas ramas de la Geografía que se complementan entre sí, y de hecho no tendría sentido obviar las diferentes "piezas" que constituyen el territorio. Dicho objetivo general, está fundamentado en la aplicación de una amplia gama de conocimientos transversales tales como el propio estudio regional del territorio y el compendio de características adecuado a la presente línea del estudio que singularizan, definen y explican las pautas en la identificación de un determinado espacio. Se aportan también cálculos y metodología estadística aplicada a la climatología e hidrología para la obtención de información relevante en lo que será la construcción del proyecto. Se hace alusión, como bien corresponde, a fundamentos biogeográficos en materia de vegetación y distribución de la misma, puesto que es imprescindible para la evaluación de las dinámicas vegetales en relación a los efectos climáticos y territoriales. Por último el uso de los Sistemas de Información Geográfica son clave como herramienta de visualización, representación, así como para la obtención de resultados numéricos y cartográficos.

Además de ello, por el carácter del ámbito que se trata y su influencia sobre el propio espacio territorial, los resultados obtenidos pueden ser utilizados, dentro del marco del TFG, como criterios para poner en práctica en la Ordenación del Territorio.

El objetivo principal del presente estudio trata de abordar el actual y recurrente tema del cambio climático y sus consecuencias más inmediatas sobre el ciclo hidrológico, así como los cambios consecuentes en la cobertera vegetal; con ello, dicho documento está basado en la estimación y determinación de dichos cambios regionalizados en el área de estudio propuesto.

Además se pretende poner en conocimiento la fragilidad y dependencia entre los distintos componentes que toman parte en el ciclo hidrológico a otros muchos factores de los recursos hídricos y climáticos que se disponen, igualmente señalar el aspecto



dinámico al que constantemente están sometidos por naturaleza; esto significa que los recursos hídricos varían por naturaleza y en proporción en tanto así varíen los parámetros climáticos que los generan y caracterizan. Así pues, de entre todos estos parámetros que repercuten en la disponibilidad hídrica, el estudio apunta concretamente a la influencia de la cobertura vegetal, y sus cambios, los que son tomados como consecuencia climática, y su repercusión conjunta sobre los recursos hídricos.

El estudio de los recursos hídricos y la incidencia de la cobertura vegetal puede ser atendido desde diversos puntos de vista; de entre todos ellos se han tomado los considerados como los directamente relacionados con las variaciones espacio-temporales, esos son el balance hídrico del suelo junto con la evapotranspiración, además de otros más relacionados con la cobertura vegetal como es la escorrentía o el caudal de avenida bajo un episodio de precipitación extraordinaria.

En una exposición más concreta del desarrollo del estudio se puede exponer que éste se basa en primera instancia en la puesta en práctica de un método de cálculo estadístico, modelizado y adaptado a las necesidades del estudio, para determinar el caudal de avenida del río Pas a su paso por Puente Viesgo en función de las condiciones climáticas actuales así como el estado de la cobertura vegetal; son pues estos dos factores generales los que van principalmente a influir en el hecho de que un episodio de precipitación en la cuenca alta del Pas de lugar a un caudal determinado en la cuenca media.

Sin embargo la elaboración llega más allá, una vez analizado el escenario actual, es hora de poner en relación los resultados obtenidos de los posibles escenarios IEEE ya realizados sobre el cambio climático, los cuales indican una hipotética variación en el clima en función del desarrollo socioeconómico. De tal manera, que extrayendo dichas variaciones de los escenarios de previsión y aplicándolos al modelo estadístico se pueden realizar comparaciones entre los escenarios que se plantean en un futuro de 50 años y el actual.

1.2.- FUENTES DE INFORMACION Y METODOLOGIA EMPLEADA

La metodología pasa en primera instancia por la explicación de los criterios utilizados para la determinación del área de estudio seleccionado, ya que es fundamental para entender la aplicación de este proyecto sobre un área tan concreta. Como se ha dicho previamente, se propone un estudio del cálculo de los recursos hídricos modelizado, es



decir, un sistema de cálculo simplificado basado ciertamente en hipótesis, cuya utilidad puede ser discutida en relación al tamaño del área objeto; sin embargo su utilidad es mayor en cuencas de pequeño tamaño puesto que el error será menor. Por ello se ha llegado a la determinación de aislar las cuencas media y alta del Pas, despreciando la zona baja; dicha discriminación también ha venido dada con el objeto de restar aspectos más diversos, complejos y controvertidos, que hagan irreal y/o desajustada completamente la modelización del territorio; dichos aspectos a evitar están relacionados con la presencia de dinámicas, procesos e impactos territoriales de cuyos efectos no se dispone de una previsión, periodicidad, o en muchos casos, incluso se desconocen totalmente; la gran mayoría de ellos vienen dados por el grado de antropización, lo cual hace que la cuenca baja, mucho más humanizada está sujeta a dinámicas más imprecisas e impredecibles, que si fueran tomadas en cuenta desvirtuarían en gran medida los resultados obtenidos, por ello es que se ha seleccionado la cuenca alta y media puesto que las transformaciones a corto o medio plazo pueden ser estimables y/o se han descrito en otros escenarios territoriales previos y se tiene constancia de ellos.

En esta misma línea se aprovecha para comentar que el punto de medición ya ubicado se sitúa antes de la confluencia de aguas de su afluente principal, el río Pisueña, con el mismo motivo que los casos anteriores, se trata de acotar un área de estudio bien definido territorialmente así como las dinámicas que se desarrollan en él. Por otro lado es la única estación que hay en el Pas, y lo interesante es hacer un estudio de los que ocurre aguas arriba, para lo cual, no hay datos.

A continuación se exponen las diferentes fuentes de información y metodologías empleadas en las distintas fases del ensayo, atendiendo éstas a los objetivos perseguidos.

Las fuentes documentales y monográficas han sido clave para la extracción de la información necesaria y así, llevar a cabo la construcción de un marco cualitativo para el área objeto de estudio. Este tipo de información se recopila en relación a los rasgos antrópicos y sus procesos derivados ya descritos en otros documentos; igualmente caben ciertos rasgos físicos del territorio que no toman parte de manera directa en la aplicación del método pero que contribuyen a su explicación, son por tanto lo relacionado con rasgos tales como la geología, edafología, pendiente o incluso el contexto biogeográfico de la vegetación.



En otra instancia se encuentran las fuentes en las que su cometido se basa en la recogida de datos para su posterior reelaboración en función de las necesidades que se requieran. Éstas tienen una índole diversa entre sí, puesto que pueden ser estadísticas, en forma de bases de datos, como las precipitaciones, la temperatura, horas de sol, etc.; y otras que tienen un carácter digital, sobre todo para la elaboración de cartografía, éstas han sido tales como imágenes de ortofotografía aérea PNOA¹ correspondientes a las cuadrículas geográficas oportunas, o también las capas de vectoriales del CORINE Land Cover²; ambas ofrecen datos numéricos y visuales sobre la cobertura del suelo. Cabe mencionar el carácter oficial de este tipo de fuentes de información, por lo que, a efectos de este trabajo no se cuestionará la precisión ni la correcta conceptualización de la información contenida en ellas y serán directamente adoptadas como punto de partida de la indagación que se pretende.

Finalmente, existe una etapa final en el ensayo donde se conjugan todos los datos recabados y algunos de ellos, transformados ya en datos orientados al estudio, y se procede a la producción propia de información. Ésta se aplica en un doble sentido, puesto que por un lado, se atiende a la metodología SIG tanto para la elaboración de diversa cartografía como la realización de cálculos de ciertos parámetros, como la ocupación de superficie de las diferentes coberturas del suelo.

Otro tipo de procedimientos aplicados son los estadísticos, que son precisamente en los que está basada la parte troncal del trabajo, ya que es en ellos sobre los que se combinan las diferentes partes del estudio en forma de nomenclatura numérica válida para la orientación pretendida.

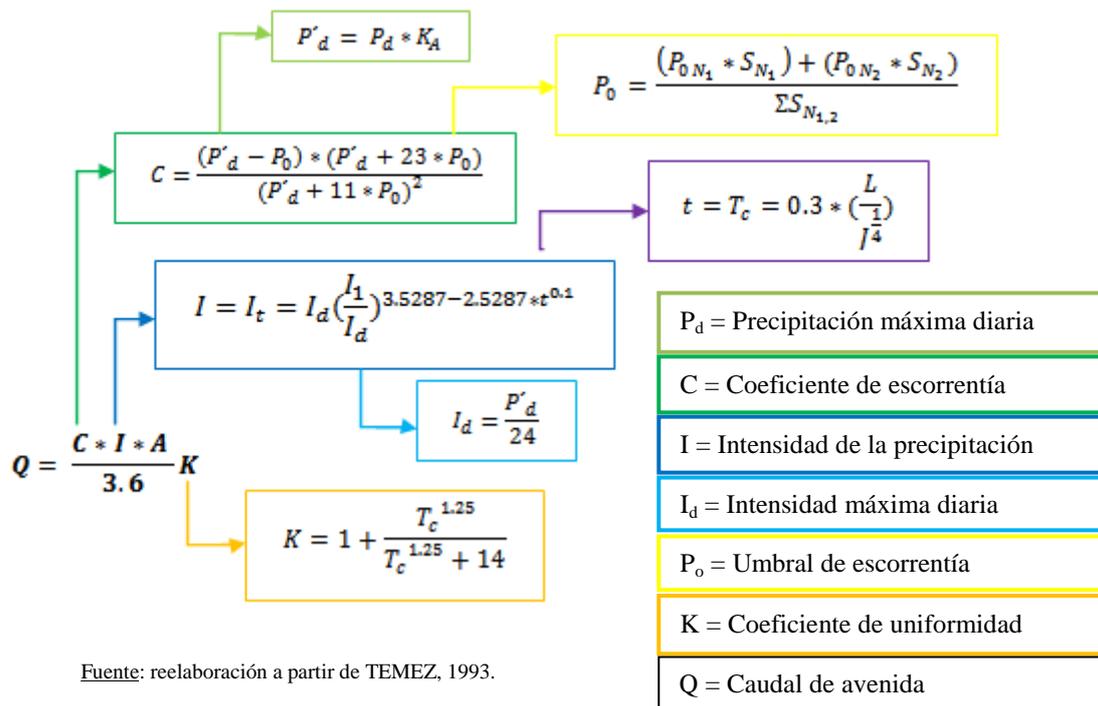
Se muestra, a continuación, el sistema principal para la determinación del caudal de avenida ya que el resto de criterios objeto de estudio resultarán en las diferentes fases de este procedimiento:

¹ Plan Nacional de Ortofotografía Aérea, en él se obtuvieron ortofotografías digitales aéreas de alta resolución, así como modelos digitales de elevaciones. www.fomento.gob

² Se corresponde con el programa CORINE, "*Coordination of Information of Environment*", un proyecto experimental para la recopilación, la coordinación y la homogenización de la información sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales en la Comunidad, a raíz de éste, surge CORINE Land Cover, CLC, con el objetivo de obtener una base de datos europea de ocupación del suelo para el análisis territorial y la gestión de políticas europeas. www.ign.es



Figura 1.1.- Método racional modificado para el cálculo del caudal de avenida



1.3.- CARACTERIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

En cuanto a la explicación de las características genéricas del área de estudio determinado es imprescindible señalar previamente los criterios empleados para su demarcación, así como la mención de la pertenencia a un ente territorial más amplio. Dicho encuadre territorial tiene además su sentido en base a la metodología empleada y la puesta en práctica de una modelización para el estudio, como la estimación de ciertos aspectos hidrológicos influenciados directamente por la cobertera vegetal. El ente territorial está incluido enteramente en la cuenca hidrográfica del río Pas³, sin embargo, dentro del marco del presente proyecto, la gran cantidad de datos, información, procesos territoriales, dinámicas... que se pueden encontrar obligan a tomar una muestra territorial válida y fidedigna en la medida de lo posible para la puesta en práctica de la metodología propuesta.

Dicho área de estudio se trata de la cuenca media y alta del río Pas, que es el ámbito territorial donde se llevará a cabo el estudio sobre la influencia de los cambios en la cobertera vegetal sobre los recursos hidrológicos y viceversa. Es decir, si se contara con

³ Consultar en: Figura 2.1, localización y definición de la cuenca del río Pas, y Figura 2.2, mapa físico de la cuenca del río Pas. "Estudio de los Recursos hídricos de los ríos de la vertiente norte de Cantabria", 2005.



la totalidad de la cuenca se dispondría de un territorio de 620,39 km², en cambio, el ámbito territorial que será objeto de estudio y aplicación se reduce hasta los 361,2 km², algo más de la mitad del total.

Figura 1.2



Fuente: elaboración propia en ArcGIS a partir de las capas BCN 1/25000 disponibles en www.ign.es

El encuadre territorial de la muestra seleccionada como objeto de estudio se corresponde con la cuenca media y alta del río Pas, cuya totalidad de la cuenca se ubica en lo que se llamaría la vertiente cantábrica, junto con otras muchas cuencas de características muy similares que se extienden entre la cordillera y la costa cantábrica. Estas cuencas hidrográficas del norte peninsular se caracterizan por ser pequeñas, donde los ríos principales que las jerarquizan no son muy largos, habiendo escasos kilómetros desde su nacimiento hasta su desembocadura.

Los límites del área de estudio están definidos por las divisorias de las cuencas adyacentes, la occidental se corresponde con la del Saja-Besaya, y la oriental con la subcuenca del Pisueña, aunque la cuenca que hace de divisoria con el total de la del Pas, es la del río Miera. Por el sur, está delimitada por los Montes de Valnera (nacimiento del río principal) y de Samo, que constituye por otra parte el propio límite autonómico.



1.3.1.- Reseña histórica y organización tradicional del espacio

Cabe comentar brevemente cual ha sido la evolución histórica y los procesos asociados que han dado resultado a las transformaciones territoriales del entorno, que además en este caso han sido muy profundas generando un territorio y un paisaje muy peculiar, en el que éstos dos son sometidos a las necesidades socioeconómicas tradicionales, donde el criterio principal es la funcionalidad de todo tipo de espacio. No obstante, los impulsos que han motivado dichas transformaciones no residen únicamente en el área objeto propuesto, sino que comprenden un ámbito territorial más amplio, es decir, dicho modelo territorial tradicional se puede localizar en las cuencas del Pas (incluido el Pisueña), y Miera; exceptuando sus respectivos tramos bajos, ya que éstos gravitan social y económicamente hacia las áreas costeras.

La colonización humana de este territorio se viene dando desde las últimas etapas del Paleolítico, como bien datan los numerosos testimonios tangibles distribuidos por el territorio. (VV.AA, 2001)

Sin embargo el verdadero proceso de transformación territorial, del que hoy se tiene el resultado se comienza a gestar en la baja Edad Media (siglo XI) cuando aún se practicaba una ganadería muy extensiva en monte abierto; en cambio, no es hasta el siglo XVII cuando se empieza a desarrollar el modelo socioeconómico pasiego. Éste se basa en una fuerte interrelación entre el humano y el medio donde predomina el aprovechamiento ganadero y forestal. Así, se crea un territorio y paisaje donde se conjugan zonas de bosques y abruptos relieves rocosos acompañados de grandes superficies de praderías salpicadas de multitud de cabañas dispersas con sus correspondientes muros de cierre. (CORBERA MILLAN, 2008)

En lo que se traduce toda esta construcción territorial, es en una forma de presión del territorio de gran magnitud, ya que todo él está compartimentado funcionalmente según las necesidades de la población. Es decir, las intensas transformaciones adolecidas han supuesto la práctica desaparición de los bosques originales, y su sustitución por áreas de pastos o, en las zonas más bajas, por plantaciones arbóreas de eucalipto y pino. Sin embargo, lo que se está viendo en la actualidad y ya desde algunas décadas es la desaparición de esta forma de vida y el abandono de las áreas rurales, con lo que la mencionada presión territorial en cada menos incidente y la vegetación tiende a la recuperación espontánea.



1.3.2.- Geología y litología

Desde el punto de vista geológico, las rocas sedimentarias meso-cenozoicas dominan en todo el área de estudio, ya que los materiales paleozoicos han quedado cubiertos por dichos sedimentos. Son estas litologías, fracturadas y plegadas en la orogenia alpina, las que determinan el relieve de todo el suroeste de Cantabria, y por tanto, del área de estudio⁴.

Lo que interesa para el trabajo no es la edad de las formaciones litológicas, sino más bien, sus propiedades respecto a la hidrología, como la porosidad y permeabilidad aunque también sería oportuno valorar su espesor y extensión.

Se menciona que las características de los grupos litológicos se consideran como un factor que no cambia significativamente en el periodo de tiempo que se propone, por ello son tomadas como constantes, y por tanto son una cuestión secundaria en relación al objetivo del trabajo. Además no aparece un sistema como en el caso de la edafología o la vegetación para estimar su influencia en la esorrentía e hidrología dentro del modelo estadístico seleccionado; así pues se exponen brevemente para ofrecer una visión general al lector y el mero hecho de no obviarlos, puesto que su incidencia si podría ser valorada en otra instancia o desde otro punto de vista.

Los materiales arcillosos, que ocupan prácticamente la mitad del área de estudio, poseen un alto grado de porosidad, pero los granos que la forman son tan pequeños que no permiten que estos se comuniquen, por lo tanto esta posee una porosidad muy alta, pero nula permeabilidad.

La arenisca y su principal componente, la arena poseen granos más grandes que los de la arcilla que le permiten poseer un alto grado de porosidad y a su vez los huecos dejados por los granos están comunicados entre sí, por lo tanto la arenisca posee una porosidad alta o muy buena, aunada a una excelente permeabilidad (la cual le permite ser excelente roca almacén de agua).

Los materiales de tipo calcáreo son muy permeables por su alta porosidad, que además cuando el agua penetra en la roca se lleva a cabo el proceso de disolución, mediante el que se disuelve el carbonato cálcico; lo que contribuyen en buena medida a la erosión y

⁴ Consultar en, Figura 3.3a, litología de la cuenca del río Pas, "Estudio de los recursos hídricos de la vertiente de Cantabria.", 2005.



al desmantelamiento de estas formaciones sobre todo en áreas de abundantes precipitaciones, como es en el área que se trata. (SILVIA BARREDO, 2006)

Los derrubios, las terrazas fluviales o incluso los conglomerados dependen mucho de su composición para la determinación de las propiedades hidrogeológicas ya que en sí mismos no son si quiera rocas definidas; no obstante en general, se trata de depósitos muy permeables que suelen contener acuíferos significativos (como ocurre en el valle de Toranzo).

Cuadro 1.1.- Principales grupos litológicos en el área de estudio

Reclasificación de las formaciones litológicas	Superficie ocupada	
	Km ²	%
Materiales arcillosos	162,25	45
Areniscas	63,18	17,5
Derrubios, materiales de deslizamiento y terrazas fluviales	48,36	13,4
Calizas	36,09	10
Otras	34,9	9,7
Conglomerados	16,24	4,5

Fuente: reelaboración a partir de Figura 3.3a y 3.3b, formaciones litológicas en la cuenca del río Pas, en: Estudio de los Recursos hídricos de los ríos de la vertiente Cantábrica, 2005.

1.3.3.- Edafología

En el área sobre todo destaca la presencia de suelos de poco espesor y pobres, que por otro lado son escasamente productivos, éstos están relacionados con los litosoles, rankers, y regosoles, que en muchas ocasiones éstos están asociados a zonas de roquedo con fuertes pendientes y con un uso muy escaso; sin embargo, también existen suelos más desarrollados, profundos y de mejor calidad, ubicados sobre todo en los fondos de valle, fluvisoles, y las laderas anejas a estos que son los cambisoles.⁵

Como se comenta estos suelos más desarrollados se suelen ubicar en los fondos de valle asociados a los grandes ríos de la zona, así como en depresiones y rellanos del terreno. Son precisamente estos suelos de mejor aptitud donde se suelen concentrar los aprovechamientos de cultivos forrajeros más intensivos; en cambio las áreas con pendientes altas y medias están ocupadas por grandes pastizales de montaña y afloramientos rocosos improductivos, formados generalmente por suelos pobres. Es en estas áreas donde es más frecuente la erosión y pérdida del propio suelo.

⁵ Consultar en, Figura 3.4: clasificación de suelos de la cuenca del río Pas. "Estudio de los recursos hídricos de los ríos de la vertiente Cantábrica, 2005.



A continuación se procede a la explicación de cada tipo de suelo presente en todo el área de estudio, sus características correspondientes y su ubicación y localización dentro del territorio.

Los litosoles son los suelos ubicados en las zonas de fuerte pendiente. Se trata de suelos muy pobres debido a que se localizan en espacios con abundantes afloramientos rocosos; también están asociados a un tipo de suelo llamado ranker. La principal característica que se le puede atribuir a este tipo de suelos es la escasa profundidad que presentan al estar fuertemente limitados por la presencia de la roca madre muy en superficie, con lo que la capacidad de absorción de agua es muy limitada favoreciéndose el proceso de arroyada y escorrentía. Los más abundantes de esta especie que se pueden localizar son evidentemente los litosoles calizos, localizándose en las zonas de cumbres y áreas kársticas del Pas. Los usos de estos suelos son muy reducidos para el ámbito agrario e incluso para el desarrollo de grandes formaciones vegetales; la vegetación es pobre y abierta, siendo en algunos casos necesario el mantenimiento de la cobertura vegetal para disminuir el intenso proceso erosivo.

Los cambisoles son suelos con una gran importancia, más aún en un ámbito con un terreno tan irregular como este, respecto a lo que son suelos de buena calidad y con un cierto espesor, normalmente se ubican en las zonas de valle de la comarca. Se trata de suelos muy fértiles esenciales para el desarrollo de la agricultura en estas áreas que cuentan con una buena estructura, biológicamente activos y con buenas condiciones para todo tipo de vegetación, por ello admiten una buena cantidad de agua antes de saturarse.

Los fluvisoles, son también denominados como los suelos de vega, éstos generalmente están constituidos por limos y arenas más o menos finas. Son suelos que tienen una variedad de funciones debido a que son jóvenes, profundos, con perfiles homogéneos y poco desarrollados (con poca diferencia entre horizontes), permeables, porosos, poco erosionables y de alta actividad biológica. Frecuentemente tienden a encharcarse aunque son de fácil drenaje. Señalar también que suelen ir asociados a los cambisoles. Son por tanto las mejores tierras de cultivo de la comarca, así que además de prados también se dan cultivos hortícolas, frutales..., dado su excelente rendimiento. Se pueden encontrar



en diversos lugares pero sobre todo allí donde los grandes ríos crean llanuras aluviales de buena envergadura como el área de Toranzo correspondiente al cauce principal del Pas, y algunos sectores del cauce principal del Pisueña.

Los luvisoles se caracterizan por la presencia del horizonte fluvial de arcilla, debido a que el lavado no es excesivamente intenso y el pH tiene valores escasamente inferiores a 7. Además, poseen una saturación muy elevada (superior al 50%), son pobres en materia orgánica, de color oscuro rojizo y que contiene hidróxidos de hierro. Tenemos presente dos tipos de luvisoles, la "terra fusca" que se desarrollan en diferentes tipos de roca calcárea presentando matices rojizos, y la "terra rosa" que son más rojizos que los anteriores. Es en conclusión un suelo de una productividad moderada, pero en el que se pueden obtener unos buenos rendimientos con el manejo adecuado; se tiende a cultivar en ellos donde el espesor es adecuado o más bien suficiente. Son suelos muy erosionables en los que se aconseja regenerar la cubierta vegetal en las fuertes pendientes. Finalmente, decir que estos suelos no son muy abundantes y se extienden en áreas no muy extensas, la mayor de ellos se localiza en las zonas anexas a los fluvisoles de Toranzo principalmente.

Los Gleysoles son unos suelos con gran acumulación de agua y que presentan además un encharcamiento permanente, por lo que la escorrentía es prácticamente directa. Son muy escasos y no disponen de un aprovechamiento agrícola por el gran exceso de agua.

Los Ranker son suelos muy ácidos, pero no tanto como los litosoles, que son los que éste suele ser asociado. Es por tanto un suelo muy limitado para los usos productivos por sus escasos elementos nutritivos. Están situados en zonas montañosas con un predominio del monte bajo. En la comarca aparecen mayoritariamente en las zonas medias y altas de los valles, y están asociados tanto con litosoles y cambisoles.

Los Regosoles son suelos originarios de derrubios de materiales que no están consolidados, su desarrollo se produce en laderas inclinadas por lo que el riesgo de erosión es elevado. Sin embargo, según esté formado a partir de materiales calizos o silíceos serán más o menos fértiles.⁶

⁶ Información relativa a la edafología en, www.redes-cepalcala.org



1.3.4.- Vegetación

Como bien puede apreciarse en el mapa realizado por el Gobierno de Cantabria⁷, la vegetación forestal potencial que tenemos, es decir, la vegetación forestal que es más apta en este tipo de entorno en condiciones de naturalidad varía según puede verse en función de la altitud principalmente, pero puede decirse que es del tipo de bosque planocaducifolio⁸. También es cierto que influyen otro tipo de factores como la orientación, la disposición, o los materiales litológicos o edáficos del soporte, pero sobre todo esta serie de factores contribuye a maximizar o minimizar los procesos esenciales que imponen los pisos de vegetación, los cuales pueden dividirse en:

- Entre los 1600 y 1700 m tenemos el piso subalpino, generalmente se asocia a pastizales, diferentes tipos de matorrales de alta montaña y turberas.
- El piso montano, es el potencialmente forestal en Cantabria, transcurre de forma variable entre los 500 y 1600 m; en este piso en primer lugar encontramos los bosques de altura formados por abedules que resisten mejor el frío, luego tenemos una sucesión de robledales y hayedos que van determinados más que por altitud según las solanas y umbrías, y los tipos de suelo, alcalinos o ácidos.
- En las zonas más bajas, el piso colino (0 - 500 m), originalmente estaba cubierto por un bosque planocaducifolio de carácter termófilo dominado por robles (*Quercus robur*), sin embargo en las áreas de sustrato calizo, más secas, podemos encontrar formaciones esclerófilas con especies de carácter más mediterráneo como las encinas, carrascas y quejigos.

Así pues, como se aprecia en la imagen de vegetación potencial, las formaciones vegetales más habituales en número y extensión son fundamentalmente:

- Bosques planocaducifolio de carácter monoespecíficos, donde el roble y el haya son las especies que suelen componer la mayoría de bosques monoespecíficos

⁷Consultar en: "*Modelo de potencialidad forestal*". Tipificación, cartografía y evaluación de los pastos españoles. Gobierno de Cantabria. Disponible en: www.cartotecaagraria.es

⁸ En especial cubre extensiones importantes del hemisferio Norte y algunas áreas muy reducidas del Sur están ocupadas por este tipo de bosque, principalmente en latitudes medias. Los árboles dominantes pertenecen a las angiospermas, especies con flor y fruto, y tienen hojas planas que pierden durante la estación desfavorable para evitar sufrir daños. www.lareserva.com



européos, es decir, aquellos que están formados no exclusivamente pero sí predominantemente por una especie. Ambos tipos de bosque suelen aparecer acompañados por especies como fresnos (*Fraxinus spp*), arces (*Acer spp*), abedules (*Betula spp*), mostajo (*Sorbus aria*), serbal (*Sorbus aucuparia*), manzanos (*Malus spp*), perales (*Pyrus cordata*), sauces (*Salix spp*) o tejo (*Taxus baccata*).

- Robledal: dominados por el roble (*Quercus robur*), se localizan entre los 500 y 1500 metros de altitud y se sitúan preferentemente en zonas de vertiente baja, con pendientes acusadas y más bien soleadas.
 - Hayedo: protagonizados por el haya (*Fagus sylvatica*), localizados entre los 700 y 1500 metros de altitud y a diferencia de los anteriores prefieren las zonas de umbría.
- Bosques de ribera: componen las franjas de vegetación ubicadas en los lechos mayores de los ríos, las llamadas las riberas fluviales, son áreas muy influenciadas por la presencia constante de agua, que de hecho, es protagonista en la creación de estos espacios. Se puede encontrar el aliso (*Alnus glutinosa*) que es la especie sin duda más característica de los bosques de ribera, junto a ella aparecen fresnos (*Fraxinus excelsior*), olmos (*Ulmus glaba*) y sauces (*Salix alba*).
- Matorrales: este tipo de medio y se localiza de forma natural en los pisos de vegetación superiores a los 1500 metros de altitud. En el resto del territorio es muy abundante como formación de sustitución allí donde el bosque ha sido degradado o en lugares en los que los usos agrarios han sido abandonados y la vegetación espontánea empieza a recuperarse.

Finalmente cabe destacar una serie de formaciones de vegetación que no corresponden con la dinámica natural como se veía en casos anteriores, sino que son producto de las transformaciones territoriales, unas de origen tradicional y otras más modernas:



- Entre los 100 y 500 metros es muy habitual, y de hecho, forma una pieza muy importante del paisaje no solo pasiego sino del cántabro en general, los eucaliptales (*Eucalyptus globulus*) que se dan en forma de repoblaciones forestales, al igual que el pino monterrey californiano (*Pinus radiata*). Éstas son las especies forestales alóctonas más comunes en el área de estudio.

- La última gran formación de vegetación que aparece son los pastizales, que sirven como áreas para el desarrollo de las prácticas agroganaderas. Éstas se dan principalmente en las zonas de vega y laderas con suave pendiente. Así pues se disponen los pastizales formados por densas praderas previstas para el pasto, y las formaciones herbáceas formadas sobre todo por leguminosas y gramíneas. (AEDO, 1991)

1.3.5.- Climatología e hidrología

El área de estudio del Pas se encuentra en una región definida por la existencia de un clima atlántico con elevadas precipitaciones y temperaturas suaves a lo largo del año. Se trata en efecto de un tipo de clima templado-húmedo, que a grandes rasgos, abarca la banda que ocupa la cornisa cantábrica y se extiende hacia el norte de Europa.

La suavidad de las temperaturas, la elevada humedad atmosférica, la frecuente nubosidad y la reducida insolación, hacen que la evaporación y la demanda biológica de agua se mantenga lejos de valores extremos.

Dichos rasgos climáticos están determinados por tres factores principalmente, la latitud, la proximidad al mar y la orografía; cabe comentar que la cercanía a grandes masas oceánicas en la fachada occidental del continente europeo determina la existencia de dicho clima oceánico.⁹

En cuanto a la climatología, se señalan como principales factores condicionantes la fuerte orografía predominante y la proximidad al Océano Atlántico, con ello, se pueden establecer tres tipos de influencia climática:

⁹ Información relativa a la climatología en, "Estudio de los recursos hídricos de los ríos de la vertiente norte de Cantabria, 2005."



- En la zona más baja del ámbito de estudio el clima oceánico o atlántico marca una pequeña amplitud de temperaturas anuales. En el verano la temperatura media es de 19°C, y las temperaturas máximas y mínimas medias son de 22° y 16° C respectivamente. Sin embargo, en el invierno, los valores máximos y mínimos medios son de 14° y 8° C, respectivamente; por ello estos serían rasgos climáticos suaves con una oscilación de la amplitud térmica media de unos 8° C.
- En el área de mayor altitud de la cuenca, el clima tiene una caracterización continental de montaña, donde las condiciones son más extremas y las variaciones de la temperatura más bruscas; por encima de los 1200 metros la temperatura media invernal ostenta valores negativos, por ello, estas áreas presentan una mayor amplitud térmica que en las zonas costeras.
- El área más hacia el sur de la cuenca alberga una influencia del clima tipo continental, caracterizado por las variaciones de la temperatura y con unas precipitaciones más marcadas. Sin embargo no deja de ser un tipo de clima oceánico o atlántico cuyas áreas más elevadas de la cabecera son más frías y lluviosas, a la vez que se van continentalizando por efecto de la mayor distancia al mar, lo que da lugar efectivamente a una mayor amplitud térmica.¹⁰

En resumen, se puede concluir, en cuanto a las características termométricas, que la amplitud térmica media es de unos 11° C aproximadamente, la cual asciende desde la zona costera hacia el interior de la cuenca. Dichas diferencias climáticas influyen en buena medida sobre la distribución espacial de las precipitaciones; el área centro-oriental es el que cuenta con mayor precipitación, y las mayores se registran en la zona sur junto con unos valores de precipitación que no superan los 1.000 mm anuales. Con lo que se establece una importante diversidad de los valores de precipitación en la zona más interior de la cuenca, oscilando entre los 1.000 mm en el valle de Luena, y hasta los 1.800 mm en la zona de Selaya y Villacarriedo. Finalmente, en la parte más baja de la cuenca, coincidiendo en cierta manera con la influencia marítima, se encuentran valores de precipitación anual media superiores a los 1.300 mm

¹⁰ Información relativa a los pisos climáticos en, www.dmacantabria.es



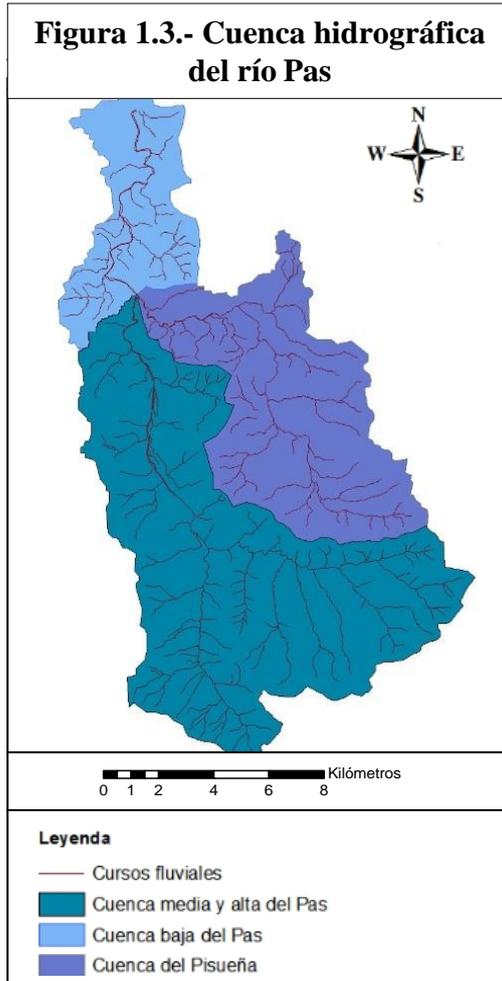
La red de drenaje puede definirse como dendrítica donde los cauces que componen la red se extienden en una ramificación arborescente; además los cauces tributarios al cauce principal se suelen unir formando ángulos rectos, y como corresponde a las circunstancias generales o teóricas este tipo de red se asocia a sustratos más bien homogéneos, rocas sedimentarias blandas, como es nuestro caso.

La red de drenaje está relativamente bien jerarquizada y se dispone muy rectilínea ya que las pendientes acusadas imprimen ese carácter; el orden jerárquico de los cauces no está muy desarrollado debido a las fuertes pendientes que hacen que transcurran rápidamente hacia el cauce principal; la mayoría de ellos son de orden I, II y III.

Otro carácter intrínseco por la pendiente es la presencia de numerosos valles en "V", de origen fluvial, resultado de la fuerte incisión que dicha pendiente otorga a los ríos.

En el mismo sentido, se alude a los fuertes procesos de erosión que se generan por la combinación de las abundantes precipitaciones y las pendientes acentuadas, sin embargo la distribución es relativamente homogénea a lo largo del año.

El primer afluente con el que se encuentra el Pas desde su nacimiento es el río Pandillo, que coincide con una llanura de inundación y un notable ensanchamiento en este tramo. En este sector nos encontramos con una zona de montaña caracterizada por un cauce estrecho y abundante vegetación de ribera compuesta por árboles y arbustos, de hecho el río es inaccesible en algunas zonas; es un tramo poco habitado lo que por otro lado determina que las presiones sobre el río sean también muy escasas.



Fuente: elaboración propia a partir de las capas vectoriales BCN200-0301y 0302. Disponibles en www.ign.es



El siguiente tramo es el que transcurre hasta la depuradora de Vega de Pas, con un característico valle en "U" debido a la presencia de un relleno aluvial por la coincidencia del fondo del valle con un estrato resistente. La presencia humana es aún muy escasa, únicamente en la parte inferior de este tramo ya se refleja una mayor presión con la presencia de fincas que acotan la margen del río mediante sobre todo los muros de piedra. La vegetación en este sector es mayor que en otros tramos, haciendo que éste se encuentre sombreado en buena parte del recorrido.

El segundo afluente de importancia que confluye es el río Magdalena, en un tramo que presenta una cierta sinuosidad con respecto al resto del río; las llanuras de inundación se van abriendo a medida que se desciende aguas abajo. La vegetación de ribera presenta aún una elevada cobertura.

Es a la altura del puente de Alceda donde comienza el encauzamiento con la fijación del cauce en los márgenes. La llanura de inundación es más amplia en esta zona, donde destaca la vegetación arbustiva.

El tramo hasta San Vicente de Toranzo se encuentra totalmente encauzado; la vegetación dominante es la herbácea y árboles plantados recientemente. Hasta Soto Irúz el cauce transcurre casi completamente rectilíneo y con una morfología muy artificial.¹¹

Finalmente, llega la confluencia con el río Pisueña donde el río discurre encajado por la presencia de una sierra prelitoral, es este sector y a partir de él, se pueden ya señalar las presiones típicas de aglomeraciones urbanas más numerosas tales como edificaciones, tendidos eléctricos, vertidos, residuos, áreas extractivas... En cualquier caso, este sector no estaría comprendido en el área de estudio.

CAPITULO II. EL PAPEL DE LOS PRINCIPALES FACTORES QUE INFLUYEN EN LA HIDROLOGÍA

2.1.- PENDIENTE

La formación de la pendiente tiene que ver aunque no necesariamente con las diferencias de altitudes, ya que los cursos fluviales, y en especial el cauce principal que modela su propio valle a través de la propia erosión fluvial, cuya acción rebaja

¹¹ Información relativa a los tramos del río Pas en, www.dmacantabria.com

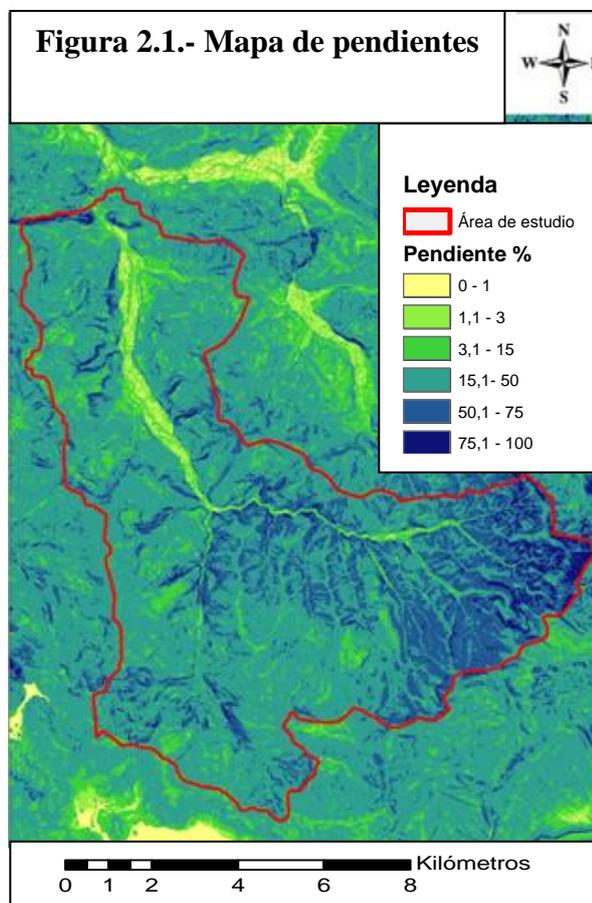


progresivamente el cauce hacia altitudes cada vez menores; sin embargo, esta acción excavadora no puede rebasar nunca el nivel de la desembocadura. La tendencia de la erosión fluvial es en definitiva la reducción de todo relieve que quede dentro del área de su influencia al nivel general de base, o a alturas próximas a él.

En general se obtiene como conclusión que es una zona muy accidentada por la importancia de los desniveles, las pendientes más intensas se localizan en especial en la zona de cabecera ya que el nacimiento de todos los afluentes salvan mucha altitud en muy poco recorrido y de ahí la gran excavación de valles transversales al cauce principal.

Es clave también saber que prácticamente todo el territorio salvo las llanuras de inundación y ciertas lomas tendidas diseminadas por el territorio se encuentran con una pendiente superior al 3 %, lo cual va a ser fundamental para la estimación del umbral de escorrentía más adelante.

Todo ello aplicado al ámbito de estudio que concierne explica que las pendientes son muy acusadas en ambos lados del valle, y que no siempre tiene que ver con la altitud ya que incluso en el tramo medio se localizan desniveles pronunciados delimitando la llanura de inundación del río, y sin embargo, en la subcuenca del río Magdalena, que es la zona de mayor altitud del área de estudio, representa casi el mismo desnivel que el tramo medio. En la de cabecera dominan los procesos de arranque de material ya que es en este sector donde el río va a ser más enérgico para alcanzar el perfil de equilibrio porque a su vez es donde éste salva también una mayor altitud. A medida que se descende, del mismo modo que la altitud es menos elevada, también es menos pronunciada la pendiente donde el río transcurre de forma menos incipiente debido a que éste se va aproximando a la horizontal por lo que su curso se hace cada vez más



Fuente: Elaboración propia desde arcGIS a partir de las capas raster MDT25-0034, 0058, 0059, 0083 y 0084 disponibles en www.ign.es



tendido. Por ello, el proceso dominante es sobre todo el transporte de material y progresivamente de sedimentación, a medida que va perdiendo fuerza también pierde carga; sin embargo el proceso de sedimentación total no se refleja en el área de estudio propuesto ya que se excluye la zona baja de la cuenca donde domina dicho proceso.

2.2.- EDAFOLOGIA

La edafología y las características de cada tipo de suelo¹² son muy decisivas en lo que respecta al ciclo hidrológico y en primera línea, sobre la escorrentía superficial.

Así pues, para la determinación de las características del suelo de manera que sean aplicables al proyecto se debe recurrir a una reclasificación significativa para evaluar el drenaje, a través de la nomenclatura implícita en el modelo MOPU¹³ 1990. Con ello se aplica una correspondencia relacional entre los tipos de suelos definidos y explicados en el apartado pertinente con dicha clave, y la extensión de los grupos hidrológicos de suelos es ponderada según el significado de cada clasificación así como por su relación con la vegetación instalada en cada tipo de suelo.

Cuadro 2.1.- Tipos de suelo y características hidrológicas

Tipo de suelo	Extensión %	Grupos hidrológicos de suelos usados por el SCS	
Cambisoles	27,8	A	Bajo potencial de escorrentía
Fluvisoles	3,7	B	Moderado bajo potencial de escorrentía
Luvisoles y Regosoles	26,3	C	Moderado potencial alto de escorrentía
Litosoles, Ránkers y Gleysoles	42,2	D	Alto potencial de escorrentía

Fuente: reelaboración a partir de Figura 3.4 y Tabla 3.3, clasificación de suelos en la cuenca del río Pas, en: Estudio de los Recursos hídricos de los ríos de la Vertiente Cantábrica, 2005.

2.3.- COBERTURA DEL SUELO

En primer lugar, es necesario comprender que, en su mayor parte, la fisonomía y características territoriales de las que hoy se dispone, son producto de la organización tradicional del espacio ya explicada anteriormente, y por la cual, la vegetación existente está muy lejos de lo que sería la vegetación potencial, por lo que si tiene en cuenta que la capacidad climática admite que el climax¹⁴ de vegetación puede desarrollarse muy por encima de la situación actual. En tanto a este hecho se toma que la situación actual

¹² Consultar en, Grupos hidrológicos de suelos usados por el SCS. MOPU, 1990.

¹³ Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.

¹⁴ Cuando la vegetación ha llegado a su evolución máxima, según las determinadas condiciones geográfico-climáticas, y solo influyen los factores físicos.



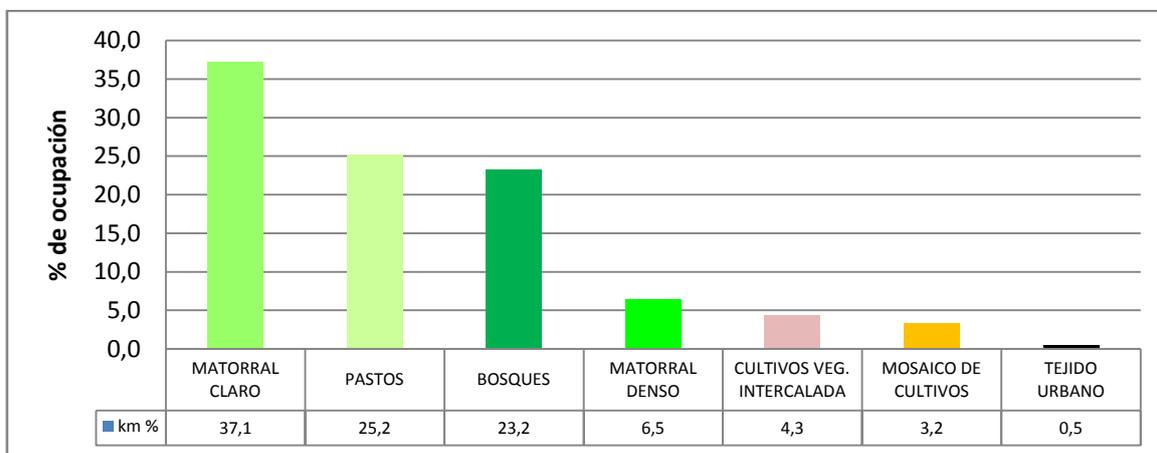
sobre la cobertera vegetal, o también, la misma que se toma como situación de partida para luego establecer los supuestos, está por debajo de sus posibilidades potenciales debido a la presión antrópica constante basada en el mantenimiento de praderas, prados y extensas áreas abiertas de matorral conjugado con pastos de montaña, siempre dispuesto para la producción ganadera.

Para el cálculo del umbral de esorrentía en el escenario actual que se dispone de la cuenca alta y media del Pas, es necesario en primer lugar realizar un evaluación y análisis previos de la distribución de los usos de la cobertera vegetal junto con sus respectivos datos de ocupación en el territorio.

Dichos datos numéricos y digitales han sido extraídos del CORINE Land Cover y contrastados con las imágenes PNOA de máxima actualidad (2010), correspondiéndose con las cuadrículas de ubicación geográfica oportunas para el área de estudio designadas; dicha información ha de ser reelaborada en información útil para el presente estudio y ajustada territorialmente.

A continuación se realiza una reclasificación de las distintas entidades de la cobertera vegetal, convirtiéndola en información útil y significativa para el estudio que compete, en este caso se puede observar cuales son las principales unidades de ocupación territorial y también identificar aquellas entidades de transición vegetal, es decir, que se corresponden con formaciones vegetales que no son definitivas en los eslabones de recuperación espontánea dentro de cada área de vegetación potencial hacia el clímax biogeográfico.

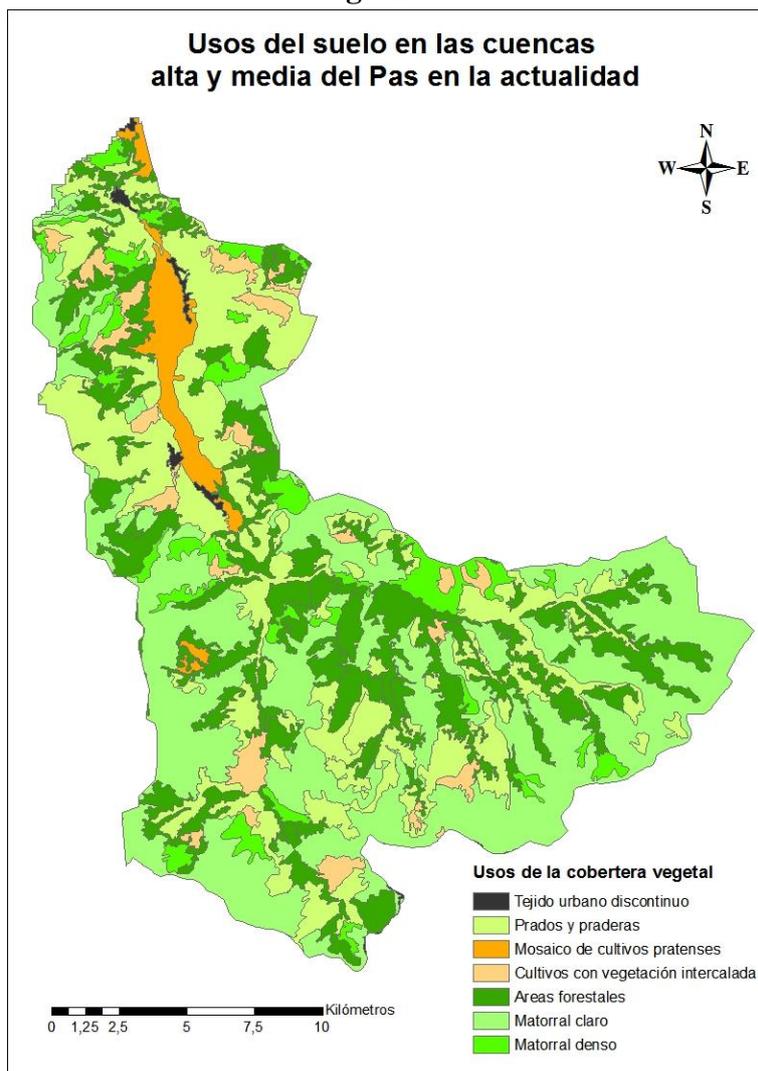
Gráfico 2.1.- Ocupación de las principales entidades de cobertura del suelo



Fuente: elaboración propia, datos obtenidos mediante la metodología SIG a través de las capas del CLC06. www.cnig.es



Figura 2.2



Fuente: elaboración propia a partir del CORINE Land Cover 2006. www.cign.es

La cantidad y distribución de cada una de las "categorías" de uso del suelo es el simple reflejo o la traducción de la construcción territorial tradicional, que aún conserva buena parte de su fisonomía original.

La predominancia del matorral claro en casi un 40% y de pastos en un 25% nos revela el hecho de la fuerte orientación ganadera, ya que todas estas zonas son conservadas en buena media para la alimentación del ganado en régimen de semilibertad. Es posible apreciar un cierto patrón en la distribución de la vegetación; el matorral claro ocupa las áreas más elevadas e impracticables, es decir, son terrenos en los que mediante prácticas ganaderas como quemas o el propio pastoreo, se las impide desarrollarse quedando solo matorral disperso y alternado con vegetación herbácea o incluso rocas. Sin embargo, cabe comentar, que no todo el matorral claro es producto del humano, puesto que hay



ciertas áreas, en especial de la cabecera del área de estudio, que por la altitud y limitaciones edáficas, conservan este estado naturalmente.

Las áreas forestales son en general, en el área de estudio, bosque residuales o repoblados, y que suponen la tercera categoría con casi 1/4 de extensión; respecto esta entidad se puede añadir que han sido zonas muy castigadas y menguadas en este sector y que en la cuenca alta han sido relegadas sobre todo a los valles y subcuencas y situándose en los márgenes fluviales que los crean, incluso en el tramo del cauce principal. Sin embargo, en la cuenca media, la presencia de una vega fluvial tan amplia ha desplazado las zonas forestales a pequeñas y medianas extensiones esparcidas, sobre todo en áreas de monte bajo.

En este sentido, otro hecho que se puede deducir es que en esta zona de vega, en la cuenca media, la distribución de los usos se organiza en: cultivos pratenses, los que sitúan en márgenes más próximos al cauce, y en el siguiente "anillo" se encontrarían pastos y praderas, después, áreas forestales, y finalmente el matorral claro.

Respecto a los prados y praderas en la cuenca alta, se puede vislumbrar que son creadas por el humano ya que en cuanto a distribución ocupan áreas potencialmente forestales.

El matorral denso no tiene una extensión significativa y ocupa "salpicaduras" en el territorio allí donde el matorral claro, los pastos, o zonas de cultivos, se encuentran en un proceso de abandono y evolución hasta llegar a formar bosque. Son sobre todo áreas de transición en la vegetación.

Los cultivos intercalados con vegetación son la muestra del paulatino abandono de las áreas rurales donde los cultivos pratenses son necesarios y van siendo abandonados, en especial en aquellas zonas que son más inaccesibles; y la permanencia de los cultivos de forma íntegra de este tipo prácticamente se localiza en las vegas que origina el cauce principal en sus márgenes.

Como apunte final se señala que las categorías de vegetación dedicadas a la producción ganadera son el matorral claro, los prados y praderas, y los cultivos pratenses; si sumamos la extensión de ellos, se dispone que un 67 % del área de estudio dispone de una vegetación asociada a la actividad ganadera.

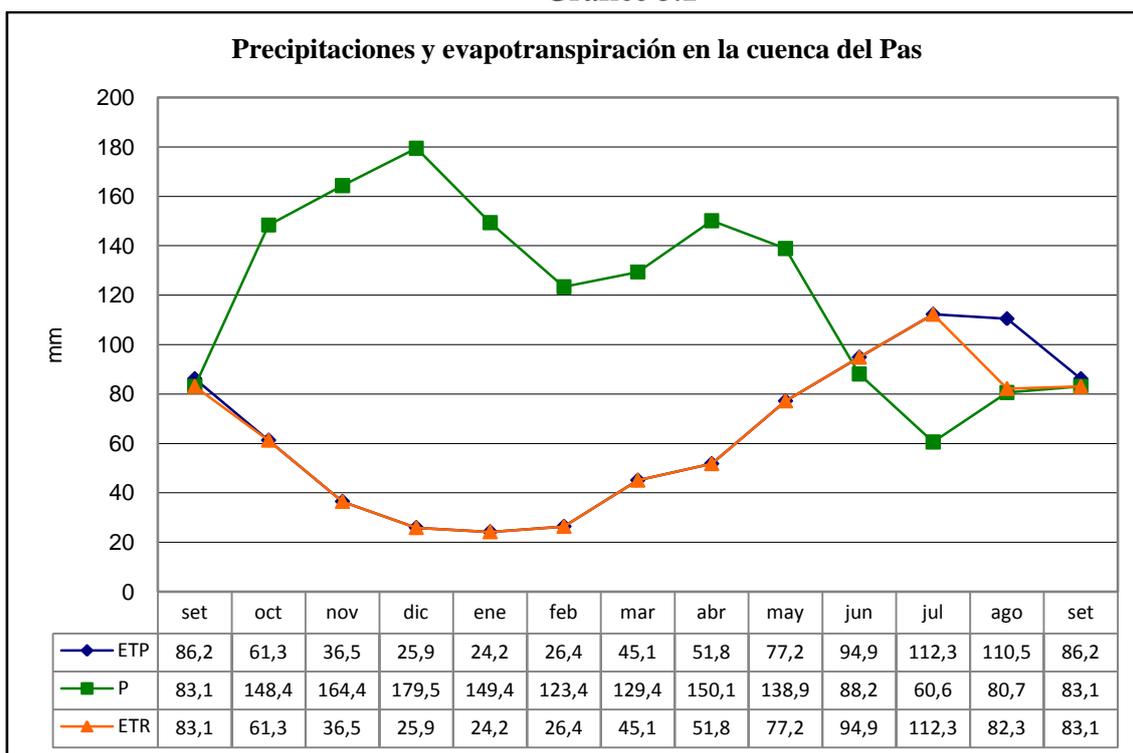


El tejido urbano ocupa una porción muy reducida del territorio, puesto que son áreas con una densidad de población muy baja y toda ella rural, únicamente en la cuenca baja es donde existe mayor magnitud de poblamiento.

CAPITULO III. ESTUDIO HIDROLÓGICO EN BASE A LA COBERTERA VEGETAL. ESCENARIO ACTUAL

3.1.- ANALISIS DEL BALANCE HIDRICO

Gráfico 3.1



Fuente: reelaboración a partir de "Cálculo de la ETP mediante la fórmula de Thornthwaite". En www.hidrologia.usal.es

El balance hídrico está directamente relacionado con el caudal, ya que permite conocer la situación de aportaciones hídricas en el área objeto, y gracias a ello saber cuál es la correspondencia entre la disponibilidad de agua, la cobertera vegetal para poder establecer así nuevas situaciones respecto a las variaciones que se estimen.

Por tanto, éste no deja de ser un método para contabilizar o medir el flujo entrante y saliente de agua dentro de un área determinado, el mencionado método se lleva a cabo por medio de las precipitaciones atmosféricas (P) y la evaluación de la cantidad de agua que no llegan a la superficie terrestre a causa de la evapotranspiración (ET); esto es ocasionado ya que parte de estas precipitaciones se evaporan en contacto con el aire o son absorbidas por las plantas y después transpiradas por las mismas.



La evapotranspiración potencial (ETP), se toma como la máxima evaporación posible bajo las condiciones existentes determinadas, es decir, cuando el suelo está abundantemente provisto de agua o que ha alcanzado su nivel de saturación y con una cubierta vegetal completa. En cambio la evapotranspiración real (ETR), hace referencia a la evaporación producida en condiciones reales teniendo en cuenta que no siempre la cobertura vegetal es total ni el suelo se encuentra en estado de saturación.¹⁵

En líneas generales sabemos que las aportaciones en forma de lluvia son abundantes prácticamente durante todo el año salvo en los meses estivales donde éstas se pueden reducir considerablemente. Así pues desde octubre hasta mayo se producen unos excedentes hídricos puesto que durante este periodo la ET se sitúa muy por debajo de las aportaciones de precipitación debido a las temperaturas suaves y abundantes lluvias, localizándose el máximo de excedentes de octubre a enero. La suma de los excedentes¹⁶ mensuales acumulados nos da una cifra de 775,1 mm anuales, y teniendo en cuenta que la suma de las precipitaciones es de 1496,1 mm al año, esto nos indica que prácticamente la mitad de la cantidad de agua que llueve es directamente devuelta a la atmósfera, y el resto, es decir, la otra mitad es la que pasará a formar parte de la escorrentía superficial y subterránea.

Sin embargo, durante los meses estivales, de junio a septiembre, se produce una situación inversa donde al coincidir, un aumento de las temperaturas y un descenso acusado de las precipitaciones, la evaporación está por encima de las aportaciones de agua, por ello se origina una situación de déficit¹⁷ hídrico que se sitúa en 31,4 mm a lo largo del año y acumulándose durante este periodo de verano. Esta situación no es muy extensa temporalmente y los niveles de déficit no son tan elevados como para que se hable de un auténtico periodo de sequía estival. Además es muy oportuno comentar que el déficit no se alcanza justo al concluir el periodo de aportaciones sino que éstas dan lugar a unas reservas¹⁸ hidrológicas que garantizan un abastecimiento en función de dichas aportaciones, y de hecho son fruto de la inercia de las lluvias, que ya no constituyen una aportación en el momento de uso de la reserva puesto que como decíamos la ETR está por encima de las precipitaciones. Las reservas acumuladas actúan de paréntesis entre el periodo de aportaciones y déficit; y a medida que

¹⁵ Nociones de evapotranspiración en, "Trabajo nº 4, Balance Hídrico" www.filo.uba.ar

¹⁶ Excedentes: donde P está por encima de ETR en el gráfico 3.1 corresponde a almacenamiento en reserva + excedentes.

¹⁷ Déficit: entre ETP y ETR en la figura 3.1.

¹⁸ Uso de reserva: cuando ETR está por encima de P en la figura 3.1.



transcurre el periodo estival van disminuyendo progresivamente, y dándose conjuntamente con el fenómeno de déficit, hasta que dichas reservas se agotan y el déficit se da en su totalidad.

3.2.- UMBRAL DE ESCORRENTIA

El umbral de escorrentía es un parámetro hidrológico, que además de aportarnos un dato clave para el cálculo del coeficiente de escorrentía, a su vez es necesario para el posterior cálculo del caudal; ya que nos ofrece una visión significativa sobre la incidencia de los usos de la cobertura vegetal en la hidrología. (FERRER, 1993)

Es determinante la humedad inicial del suelo previamente a la precipitación y características de la cuenca tales como el uso del suelo, la cobertura vegetal o la pendiente entre otros factores. Es igualmente un criterio muy válido que influye de forma directa sobre la cobertura vegetal y revela información relevante sobre cómo se comporta la escorrentía.

Para el cálculo del umbral de escorrentía en el escenario actual que se dispone de la cuenca alta y media del Pas, es necesario en primer lugar realizar una reclasificación de las entidades de cobertura vegetal que eran útiles para analizar su composición, distribución y posibles cambios, pero ahora, se deben de agrupar dichas entidades en clave hidrológica, o dicho de otra manera, convertirlo en información útil y significativa para el estudio donde ya la vegetación no viene expresada en sus propios términos, sino que viene reflejada en base a la capacidad de absorción hídrica de cada clase; esto se lleva a cabo mediante los factores de estimación del umbral de escorrentía incluidos en la Instrucción 5.2-IC, MOPU, 1990; donde dicha capacidad de absorción también está determinada por la pendiente y el tipo de suelo sobre el que se asienta la vegetación. Es a partir de toda esta información donde surgen las nuevas clases, que tienen una ponderación sobre el total del umbral de escorrentía de todo el conjunto según sea la extensión de cada una de estas clases.

En el estudio se ha de tener en cuenta que en el caso de estar trabajando con los datos de un chubasco real, el umbral de escorrentía de las tablas debiera corregirse dependiendo de si los 5 días anteriores hubieran sido lluviosos o secos; pero al tratarse de precipitaciones modelizadas, se toma que la precipitación tratada no se ha producido, sino que procede de un tratamiento estadístico, en cuyo caso, no pueden ser considerados los días anteriores, y según recomienda el MOPU, se ha de hacer una



corrección al alza, es decir, como si el estado previo del suelo fuera seco, donde se multiplica P_0 por un factor corrector, en este caso 1,5 que es el asignado para la franja norte peninsular.

Tabla 3.1.- Determinación del umbral de escorrentía

Características de la cuenca	Umbral de escorrentía	Superficie	
		Km ²	%
Roca permeable; pendiente <3%	5	1,7	0,5
Praderas buenas; pendiente<3%; suelo C	22	22,8	6,3
Praderas medias; pendiente<3%; suelo B	35	31,9	8,8
Praderas pobres; pendiente<3%; suelo C	12	36,4	10,1
Rotación cultivos pobres <3%; N, suelo B	19	19,5	5,3
Masa forestal espesa; pendiente<3% suelo B	47	83,7	23,2
Masa forestal media; pendiente <3% suelo B	22	31,1	8,5
Masa forestal clara; pendiente <3% suelo C	10	80,5	22,3
Masa forestal muy clara; pendiente <3% suelo D	5	53,6	14,9
Total umbral escorrentía	22.5		
Total umbral de escorrentía corregido (1,5)	33.8		

Fuente: reelaboración a partir de M.O.P.U. (1990).- *Instrucción de Carreteras 5.2-IC "Drenaje superficial"* . Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.

$$Total P_0 = \frac{(P_{0A} * S_A)(P_{0B} * S_B)(P_{0C} * S_C) \dots (P_{0N} * S_N)}{S_A + S_B + S_C \dots S_N}$$

$$Total P_0 = \frac{(5 * 1,7) + (22 * 22,8) + (35 * 31,9) + (12 * 36,4) + (19 * 19,5) + (47 * 83,7) + (22 * 31,1) + (10 * 80,5) + (5 * 53,6)}{1,7 + 22,8 + 31,9 + 36,4 + 19,5 + 83,7 + 31,1 + 80,5 + 53,6}$$

$$Total P_0 = \frac{8,5 + 501,6 + 1116,5 + 436,8 + 370,5 + 3933,9 + 684,2 + 805 + 268}{361,2}$$

$$Total P_0 = \frac{8124,4}{361,2} = 22,5$$

Así pues, como resultado de este apartado se obtiene que para el conjunto del área de estudio es necesario disponer de 33,8 mm de precipitación para que el suelo no admita más agua y comience a generarse la escorrentía superficial hasta discurrir directamente sobre los cauces afluentes que se conectan al principal.



3.3.- CALCULO DEL CAUDAL DE AVENIDA

En este momento ya se está en disposición de calcular el caudal de avenida del río Pas, el cual se realizará tomando como punto de medición la propia estación de aforo de Puente Viesgo, la que en sí misma ya dispone de datos sobre el caudal, no obstante, se realizará el cálculo según este método ya que posteriormente las proyecciones hipotéticas realizadas vendrán dadas en el marco de esta modelización y servirán de referencia, además de la exposición y explicación del propio método.

En esta instancia se aplicará dicho método para un caso real; sin embargo, es de recibo comentar que entre la bibliografía pertinente al tema en cuestión es posible encontrar diversas modificaciones que atienden a diferentes factores de corrección; por ello, ante dicha disyuntiva de alternativas, el presente trabajo se inspira en la normativa oficial para la construcción de carreteras en España (MOPU, 1990), junto con las modificaciones de Témez, 1991 y el trabajo de Ferrer (1993), los cuales, aportan una versión más calibrada y ajustada al territorio que la anterior. La formulación estricta que se indica en la instrucción 5.2-IC, es denominada formalmente como método hidrometeorológico y conocida comúnmente como "método racional", sin embargo el profesor J.R. Témez añade parámetros de ajuste territorial que contribuyen a aportar mayor rigor a la información generada en función de cada marco territorial.

La utilización de dicho método para determinadas cuencas es discutido, pero en cualquier caso está dispuesto para cuencas hidrográficas de pequeño tamaño; dicha orientación reside en la esencia del propio método estadístico y teórico para la determinación de caudales de avenida en donde se pueda suponer una precipitación homogénea en el espacio y el tiempo. Algunos autores hablan de cuencas de 30 ó 40 hectáreas, pero habitualmente se aplica en cuencas de hasta 3000 km² (Ferrer, 1993) y cuyo tiempo de concentración no sea superior a 24 horas; para lo que se habría de aplicar una metodología más elaborada que aportar en el trabajo.

Con ello, se pasa al cálculo de caudal de avenida según el "Método Racional modificado" donde en una primera aproximación el cálculo se basa en la multiplicación de tres factores básicos, Coeficiente de escorrentía, Intensidad de la precipitación y la Superficie de la cuenca, además de uno de ajuste, Coeficiente de uniformidad (Témez, 1991):

$$Q = \frac{C * I * A * K}{3.6} = \text{caudal } m^3/s$$



donde: Q= Caudal (en mm/hora/km²)

C= Coeficiente de escorrentía

I= Intensidad de la precipitación

A= Superficie de la cuenca (km²)

K = Coeficiente de uniformidad

A continuación se exponen las fases del sistema que se han puesto en práctica sobre el área de estudio que servirán tanto para la aplicación en el escenario actual, como para la proyección de las hipótesis:

A) Tiempo de concentración

B) Intensidad para el tiempo de concentración calculado

B.1.) Evaluación de un coeficiente reductor por área (ARF)

B.2.) Intensidad máxima diaria. Obtención precipitación máxima diaria

B.3.) Cálculo de la intensidad de la precipitación

C) Cálculo del coeficiente de escorrentía

D) Cálculo del coeficiente de uniformidad

E) Aplicación de la fórmula básica

A) Cálculo del tiempo de concentración de la cuenca

Éste se refiere al tiempo que transcurre desde que la última gota cae en un episodio de avenida de precipitación homogénea en toda una cuenca determinada desde el punto más alejado de la cuenca hasta que sale por el punto de desagüe, en este caso dicho punto está identificado con la estación de aforo de Puente Viesgo.

Se utilizará la fórmula de Témez:

$$t_c = 0,3 \left(\frac{L}{J^4} \right)^{0,76}$$

donde: t_c = Tiempo de concentración (horas)

L = Longitud del cauce principal (km)

J = Pendiente media (m/m)

$$L = 39,421 \text{ km}$$



$$J = \frac{(cota\ máxima - cota\ mínima)}{longitud\ en\ metros} = \frac{(1.200 - 111)}{39.421} = 0,027 \text{ (es decir, 2,7\%)}$$

$$J^{1/4} = 0,405$$

$$t_c = 0,3 * (39,421/0,405)^{0,76} \quad t_c = 0,3 * (97,33)^{0,76} \quad t_c = 0,3 * 32.439$$

$$t_c = 9,42 \text{ horas}$$

En esta primera aproximación ya se conoce que la longitud del cauce principal desde la cabecera hasta la estación de Puente Viesgo es de 39,421 km, también se sabe la cota máxima en su nacimiento alrededor de 1.200 m de altitud y la cota mínima correspondida con la estación a unos 111 metros; de tal modo que el río salva una altitud de algo más de 1000 m en apenas 40 km de recorrido y con una pendiente media de 2,7 %.

B) Cálculo de la intensidad de la precipitación para el tiempo de concentración calculado

B.1.- Evaluación de un coeficiente reductor por área (ARF)

$$ARF = 1 - \frac{\log\ superficie\ (Km^2)}{15}$$

$$ARF = 1 - \frac{\log\ 361}{15} \rightarrow ARF = 1 - \frac{2,55}{15} \rightarrow ARF = 1 - 0,13 \quad ARF = 0,83$$

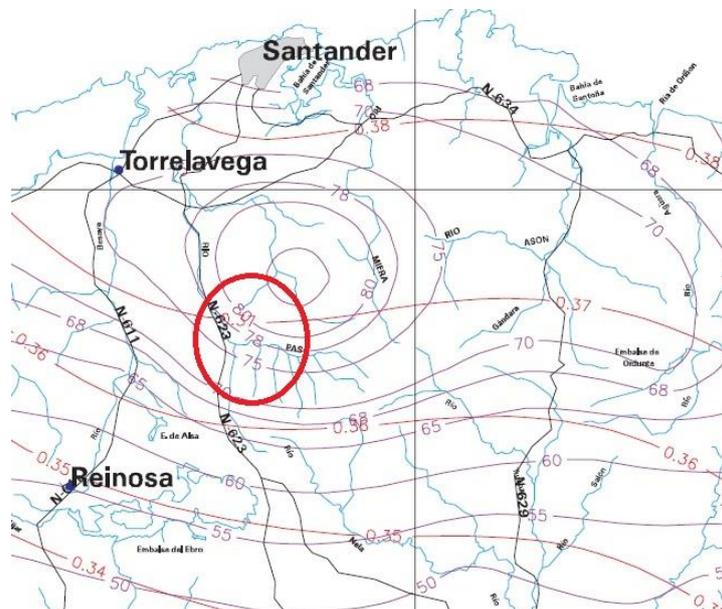
B.2.- Intensidad máxima diaria; obtención de la precipitación máxima diaria.

$$Id = P\ máxima\ diaria/24$$

Para la obtención del dato de precipitación máxima diaria se recurre al informe "*Lluvias máximas diarias en la España peninsular*" (M. FOMENTO, 1999), de donde se obtiene el mencionado dato mediante una estimación estadística a partir de la localización geográfica en los planos del área de estudio. Dicho dato debe ser modificado para ajustarlo a la dimensión territorial pertinente, esto es mediante la aplicación de un coeficiente reductor por área, calculado en la fase anterior.



Figura 3.1.- Plano Guía



Fuente: "Lluvias máximas diarias en la España peninsular". M. FOMENTO, 1999.

$$\bar{P} = (78 + 75)/2 \rightarrow \bar{P} = 76,5 \text{ mm/día}$$

La estimación de la precipitación máxima se hace mediante el plano guía de documento fuente; en el área de estudio existen dos datos, de los cuales se debe hacer una media aritmética para obtener un dato intermedio para todo el conjunto.

Por tanto:

$$P'_d = 76,5 * 0,83 = 63,49 \text{ mm/día (corrección, aplicación del ARF)}$$

Entonces:

$$I_d = \frac{63,49}{24} = 2,64 \text{ mm/hora}$$

Con ello, se obtiene el dato de la intensidad de la precipitación máxima diaria, es decir, dentro de un episodio de una precipitación torrencial seleccionado se ha de saber cuál es su intensidad por hora.

B.3.- Cálculo de la intensidad de la precipitación (mm/hora)

$$I_t = I_d \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{3,5287 - 2,5287 * t^{0,1}}$$

Donde: I_d = Intensidad horaria a partir de la media diaria (P diaria/24)



I_1 = Intensidad media de la hora más lluviosa de ese día

t = Periodo de tiempo para el que se quiere evaluar la intensidad

I_t = Intensidad media en el periodo t

$$I_t = 2,64 * (9)^{3,5287 - 2,5287 * 1^{0,1}}$$

$$I_t = 2,64 * (9)^{3,5287 - 2,587 * 1}$$

$$I_t = 2,64 * 9^1$$

$$I_t = 23,76 \text{ mm/hora}$$

C) Cálculo del coeficiente de escorrentía

A partir de la fórmula:
$$C = \frac{(P_d - P_0) * (P_d + 23 * P_0)}{(P_d + 11 * P_0)^2}$$

donde: C = coeficiente de escorrentía

P_d = Precipitación diaria (mm)

P_0 = Umbral de escorrentía (mm)

$$C = \frac{(63,49 - 33,8) * (63,49 + 23 * 33,8)}{(63,49 + 11 * 33,8)^2} \rightarrow C = \frac{29,69 * 840,89}{(435,29)^2} \rightarrow C = \frac{24.966,02}{189.477,38} \rightarrow C = 0,13$$

Dicho procedimiento para el cálculo del coeficiente de escorrentía se ha elaborado mediante la expuesta fórmula anteriormente y el umbral de escorrentía necesario para el cálculo se obtuvo en un apartado anterior mediante las tablas MOPU de estimación del umbral de escorrentía, en cambio, cabe comentar que para la obtención directa del coeficiente de escorrentía es posible no recurrir al umbral, esto es mediante las tablas estimación de coeficiente de escorrentía, donde existen diversos modelos, aunque uno bastante común son las tablas de MUSY, A. (2005). Sin embargo es una vía más imprecisa ya que evita muchos cálculos y obtiene un dato de medición muy directo mediante la asignación de valores predeterminados.

D) Cálculo del coeficiente de uniformidad

$$K = 1 + \frac{t_c^{1,25}}{t_c^{1,25} + 14}$$

Donde: K = Coeficiente de uniformidad

t_c = Tiempo de concentración (horas)

$$K = 1 + \frac{9,73^{1,25}}{9,73^{1,25} + 14} \rightarrow K = \frac{17,18}{32,18} \rightarrow K = 1,55$$



Dicho coeficiente implica una diferencia esencial respecto al método racional original, mediante el cual se corrige el tiempo de concentración de la cuenca para tener en cuenta la variación de la precipitación neta a lo largo del tiempo.

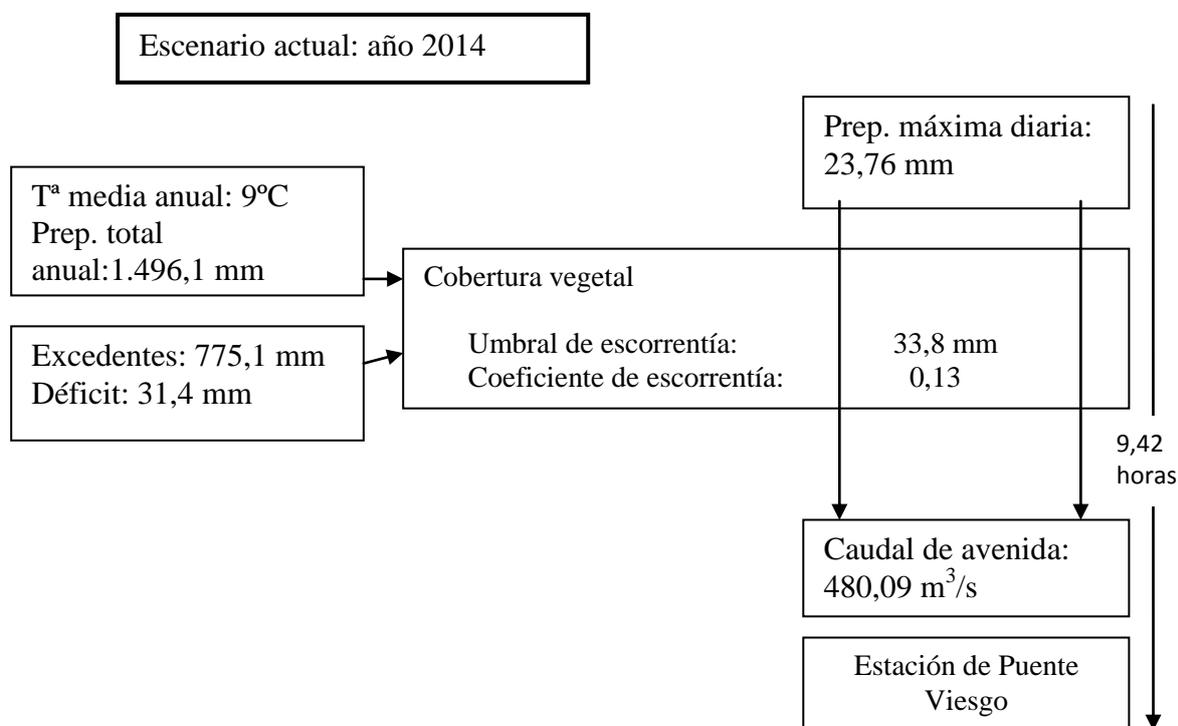
E) Aplicación de la fórmula básica

$$Q = 0.13 * 23,76 * 361 * 1.55 = 1.728,33 \text{ mm/hora/km}^2$$

$$Q = \frac{1.728,33}{3.6} = 480,09 \text{ m}^3/\text{s}$$

3.4.- EXPLICACION

Figura 3.2.- Esquema síntesis de resultados



En conclusión a los resultados obtenidos en el análisis hidrológico del escenario actual se puede comentar que las temperaturas medias anuales y el total de las precipitaciones anuales dan lugar a unos excedentes capaces de sustentar una cobertera vegetal como la que existe, y de hecho su potencial está muy por encima, tal y como se ha comentado anteriormente; así pues, se dispone de un episodio extraordinario de precipitación máxima de 23,76 mm/hora en el área de estudio, teniendo en cuenta un umbral de



escorrentía de 33,8 mm, el caudal generado por dicho episodio a la altura de la estación de Puente Viesgo sería de 480,09 m³/s, unas 9 horas más tarde.

CAPITULO IV. CAMBIOS PREVISIBLES EN FUNCIÓN DE LA EVOLUCIÓN DEL CLIMA Y DE LA CUBIERTA VEGETAL

4.1.- ESCENARIOS GENERALES DE CAMBIO CLIMATICO, INFORME IPCC

Con respecto a este tema, el calentamiento del sistema climático global es un hecho indudable y comprobado científicamente; en base a esta afirmación, se viene observando ya desde mediados del siglo XX unos cambios en la climatología que no tienen precedentes aun comparándose con los registros históricos basados en observaciones que datan del siglo XIX, o con los registros paleoclimáticos¹⁹ referidos a los últimos milenios. En tanto a dichos cambios en el clima se vienen atisbando ya las modificaciones implícitas desde varios puntos de vista:

- La cantidad y extensión de las masas de hielo y nieve han disminuido
- El nivel del mar ha subido
- La atmósfera y los océanos se han calentado
- Las concentraciones de gases de efecto invernadero han aumentado

Prácticamente es una certeza con una probabilidad superior al 95% que la influencia humana en el clima ha causado más de la mitad del aumento observado en la temperatura superficial media global durante el periodo 1951 - 2010, ya que se está hablando de un calentamiento muy rápido en tan poco tiempo que no tiene precedente alguno, y cuyas consecuencias se desarrollarán con mayor imprevisión y magnitud, pudiendo llegar a un punto catastrófico para la humanidad en este proceso de redistribución del clima. En tanto a esta gran influencia sobre el clima de la mano humana sería una ingenuidad no tenerla en cuenta para realizar proyecciones climáticas ya que no solo influye, sino que es determinante. Así pues, con este propósito el IPCC²⁰ publica en su informe los "Representative Concentration Pathways" (RCPs) que son una reelaboración más completa de las antiguas ediciones IPCC (AR4, 2007), o "Special Report on Emission Scenarios"(SRES). Los RCPs surgen con un carácter de mitigación y de la necesidad de establecer nuevos escenarios que evaluarán distintas estrategias y políticas climáticas basadas en la concienciación sobre este hecho.

¹⁹Utilizan mediciones de cambios pasados derivados de temperaturas de perforación, cambios en el agua de poros del sedimento oceánico y cambios en la magnitud de los glaciares, así como mediciones representativas de cambios en las pautas químicas, físicas y biológicas que reflejan cambios pasados del ambiente donde crecieron o existieron los indicadores indirectos. <http://www.ipcc.ch>

²⁰ Intergovernmental Panel on Climate Change.



Dichos escenarios de cambio climático establecen unos modelos hipotéticos donde las variaciones en el clima se producen en relación a los criterios de desarrollo socioeconómico a nivel global. Ofrecen la visión de diferentes consecuencias o situaciones a un corto y medio plazo, a escala humana, en base a distintos modos de desarrollo mundial, que se consideran asumibles y viables.

A continuación se describen brevemente los principales supuestos y características de los 4 escenarios IPCC que se exponen:

Figura 4.1.- Escenarios de cambio climático IPCC

RCP 2.6	Objetivo: limitar el calentamiento global por debajo de los 2°C a fin de siglo y el forzamiento radiativo en 2,6W/m ² . Exige cambios muy drásticos y según autores imposible de alcanzar (Van Vuuren, 2011). Implicaría un crecimiento de la población mundial medio, del PIB y de la intensidad de emisiones, requerirían también tecnología de almacenamiento y captura de carbono, así como la fuerte disminución de emisiones de gas natural, petróleo y carbono para 2020.
RCP 4.5	Se le llama escenario de estabilización donde el forzamiento radiativo llega a los 5,5W/m ² en el año 2100 sin que antes se haya excedido (Thomson, 2011). Requiere de políticas climáticas (en este caso de cánones sobre el carbono. La población mundial llega a los 9 billones en 2065 y se reduce en 8,7 en 2100. El PIB crece a un orden de magnitud y la necesidad de energía eléctrica en 3 ordenes; se dispone industria eléctrica llegue a ser un sumidero neto de carbono. Las emisiones de GEI alcanzan su máximo en 2040 y desciende hasta el 2080 donde se estabilizan.
RCP 6.0	El forzamiento radiativo es de 6W/m ² para el año 2100; se requieren imposición de políticas climáticas que impliquen disminuciones significativas hacia 2060 de emisiones y tecnologías CCS. La población crece hasta 9,8 billones en 2100, el PIB crece sobre el 4% durante 2060 - 2100 y la intensidad eléctrica disminuye 1,5% en el mismo periodo.
RCP 8.5	Presenta emisiones y concentraciones elevadas, se fundamenta en un alto crecimiento de la población, un relativo bajo crecimiento del PIB, con tasas modestas de cambios tecnológicos y eficiencia energética. Se dan fuertes demandas de energía y elevadas emisiones de GEI. No se dan políticas de cambio climático.

Fuente: Informe IPCC, Cambio Climático, Bases físicas, "Resumen para responsables políticos". Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático.

La concentración de CO₂ en la atmósfera ha aumentado por la actividad humana, esto es derivado principalmente del uso masivo de combustibles fósiles, la deforestación a gran escala, y en menor medida aunque significativa también la producción de cemento. En tanto a ello, las concentraciones anuales de CO₂, metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) exceden sustancialmente el rango de concentraciones registradas, resultado de un



ritmo acelerado en la concentración de gases en la atmósfera. Esta cantidad de gases actúan de aerosoles en la atmósfera e impiden que los rayos del sol reflejados en el planeta se proyecten hacia el exterior, produciendo un efecto invernadero y un consiguiente calentamiento global que tiene un efecto en cadena sobre el resto de factores del clima.

Referente a la atmósfera, la temperatura media global muestra un incremento de $0,85^{\circ}\text{C}$, y en el periodo 1880-2012 entre $0,65$ y $1,06^{\circ}\text{C}$. Si se observa cada una de las últimas décadas se puede comprobar cómo han sido más cálidas que todas las anteriores de mediados del siglo XIX. Sin embargo las tendencias en los periodos cortos de entre 10 y 15 años están muy afectadas por la variabilidad natural, tal y como sucede por ejemplo en los últimos 15 años en los que la tasa de calentamiento ha sido inferior a la media registrada desde 1951.

El cambio de la temperatura superficial no será regionalmente uniforme si bien en el largo plazo el calentamiento será mayor sobre tierra que sobre océanos. En un clima más cálido, el contraste de la precipitación estacional media entre las regiones secas y húmedas aumentará en la mayor parte del globo.

La precipitación ha aumentado en las zonas terrestres de latitudes medias del hemisferio Norte desde 1950; además se han observado variaciones en los sucesos extremos desde esa misma fecha, además que el número de días y noches frías ha disminuido y el número de días y noches cálidas ha aumentado a nivel global. Dentro de dichos eventos extremos puede decirse que en la mayoría de las regiones habrá más número relacionados con extremos de altas temperaturas y menos relacionados con extremos de bajas temperaturas, por tanto, las olas de calor serán más frecuentes y tendrán mayor duración; los fríos invernales extremos continuarán ocurriendo pero ocasionalmente. Los episodios de precipitación se verán alterados en tanto la frecuencia, así como la intensidad y/o cantidad, dependiendo lo que se señale para cada área regionalizada.

En la región Mediterránea tendrá lugar un incremento de la temperatura superior a la media global, más pronunciado en los meses estivales que en los invernales; para el escenario RCP8.5 y finales del siglo XXI, la región Mediterránea experimentará incrementos medios de temperatura de $3,8$ y de 6°C en los meses invernales y estivales respectivamente.



También se produce una reducción de la precipitación anual sobre la Península Ibérica, que será más acusada cuanto más al Sur; las precipitaciones se reducirán fuertemente en los meses estivales, es decir, para el escenario RCP8.5 esta región experimentará reducciones medias de precipitación de 12% y 24% en los meses de invierno y verano respectivamente.²¹

Con toda esta información es momento de realizar las proyecciones futuras hipotéticas sobre la influencia de la variación en el clima, de éste sobre los recursos hídricos de la atmósfera, y a su vez sobre la cobertura vegetal; todo ello es determinante para evaluar los recursos hídricos en la superficie terrestre, en nuestro caso; se ha averiguado ya anteriormente cual sería el caudal de avenida en el río Pas con una precipitación determinada y las condiciones de cobertura vegetal actuales.

4.2.- ESCENARIOS REGIONALIZADOS DE CAMBIO CLIMATICO IEEE

Los escenarios regionalizados de cambio climático en Cantabria están basados a tomar las hipótesis globales del informe IPCC pero ajustadas a escala regional y donde se introducen las características climáticas, orográficas, socioeconómicas y todo tipo de variables influyentes, de tal manera que se reduce la probabilidad de error en la estimación es mucho menor, y es a partir de ellos se pretende evaluar el impacto de las variaciones del clima sobre las aportaciones hídricas y la cobertura vegetal.

En el mismo sentido que los RCPs e inspirados en ellos se crean los escenarios IEEE, los que aportan los criterios regionalizados propios de este territorio que se trata.²²

Figura 4.2.- Escenarios de cambio climático regionalizado IEEE

A1	Crecimiento económico mundial muy rápido. Máxima población mundial a mediados del siglo XXI; rápida implantación de tec. nuevas y más eficientes.	A1FI	Intensiva en combustibles fósiles
		A1T	Energía de origen no fósil
		A1B	Equilibrio entre las distintas
B1	Mundo convergente, misma población que A1 con una evolución más rápida de las estructuras económicas hacia una economía de servicios y de información		
B2	La población es intermedia al igual que el crecimiento económico; está dirigida a ofrecer soluciones locales para alcanzar la sostenibilidad económica, social y medioambiental.		
A2	Mundo heterogéneo con un crecimiento de la población intenso, un desarrollo económico lento, y una sucesión tecnológica lenta.		

Fuente: Reelaboración a partir de DIAZ ORTIZ, J. , Escenarios Regionales de Cambio Climático

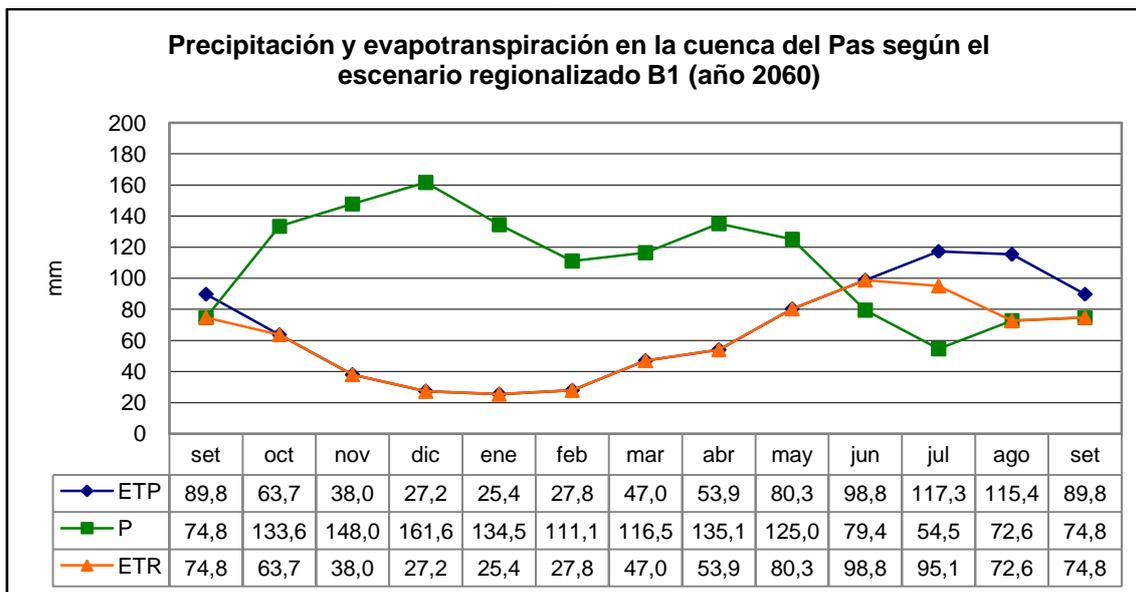
²¹ Toda la información relativa al cambio climático global disponible en, Informe IPCC, "Resumen para responsables de políticas.", Cambio Climático, 2013.

²² Documentación necesaria en, Ponencia Técnica de Cambio Climático en Cantabria. "Escenarios Regionales de Cambio Climático", 2010.



4.3.- SUPUESTO DEL ESCENARIO REGIONALIZADO IEEE B1

Gráfico 4.1



Fuente: reelaboración a partir de "Cálculo de la ETP mediante la fórmula de Thornthwaite". En www.hidrologia.usal.es

La temperatura de media ascendería sobre un grado centígrado en el área de estudio y acompañado de una reducción de alrededor del 10% de precipitaciones (IEEE, 2013). En este proceso se supone, según las características biogeográficas, que no se añadirían cambios sustanciales en tanto a la vegetación, ya que ésta, podría desarrollarse casi en las mismas condiciones que en la actualidad.

Se observa en la síntesis que para el escenario B1 se prevé un calentamiento más tenue con una reducción de las precipitaciones también moderada, no introduce variaciones en el clima significativas, y partiendo de la base donde se desarrolla ya desde hace décadas un paulatino abandono de las áreas rurales, se considera con tendencia lógica y teórica que la cobertera vegetal tienda a la recuperación espontánea y el avance de los bosques y matorrales de sucesión. De ahí que en el presente ensayo se puede afirmar el proceso natural de modificación de la vegetación en su búsqueda del clímax biogeográfico. Ciertamente el proceso pudiera no resultar homogéneo en todo el área de estudio, aunque un patrón sí es válido para todo el conjunto, el proceso de recuperación espontánea es directamente proporcional al de abandono de las áreas rurales, por tanto este fenómeno será más evidente en las áreas de cabecera e irá perdiendo vigencia según se desciende a las zonas medias de la cuenca. Sin embargo existen también otro condicionamiento debido a factores ambiental y de gestión, que incluyen el grado de fertilidad medio, la presión ganadera reciente soportada por cada área, los factores



topográficos a escala local y los años pasados tras el abandono; por todo ello la determinación y estimación de los cambios temporales en la cobertura vegetal es un tema de gran complejidad, donde se debería realizar observaciones repetidas que cubran amplios espacios y periodos de tiempo dilatados, con el propósito de poder analizar la evolución y ritmos temporales en los procesos de sucesión y recuperación espontánea (LASANTA y VICENTE-SERRANO, 2007)

Sin embargo en el marco del presente ensayo se atiende a una variación de la cobertura vegetal basada en una ponderación estadística en relación a la cantidad de excedentes y déficit hídricos bajo las condiciones que implica el escenario correspondiente. En tanto a ello cabe suponer una afección a la vegetación en base al nivel de exigencia hídrica de cada clase, es decir, el matorral denso requerirá más cantidad de agua que el claro, o en el mismo sentido, el bosque requerirá más agua que el matorral; con esta graduación y el patrón añadido de mayor regeneración es como se aplicarán las variaciones estimadas hipotéticas de cambios en la cobertura vegetal.

Tabla 4.1.- Determinación del umbral de escorrentía, escenario regionalizado B1 (año 2060)

Características de la cuenca (alto Miera)	Umbral de escorrentía	Superficie	
		Km ²	%
Roca permeable; pendiente <3%	5	1,7	0,5
Praderas buenas; pendiente<3%; suelo C	22	22,8	6,3
Praderas medias; pendiente<3%; suelo B	35	30,4	8,4
Praderas pobres; pendiente<3%; suelo C	12	34,6	9,6
Rotación cultivos pobres <3%; N, suelo B	19	19,5	5,4
Masa forestal espesa; pendiente<3% suelo B	47	88,5	24,5
Masa forestal media; pendiente <3% suelo B	22	50,1	13,9
Masa forestal clara; pendiente <3% suelo C	10	68,4	18,9
Masa forestal muy clara; pendiente <3% suelo D	5	45,2	12,5
Total umbral escorrentía	23.6		
Total umbral de escorrentía corregido (1.5)	35,4		

Fuente: reelaboración a partir de M.O.P.U. (1990).- *Instrucción de Carreteras 5.2-IC "Drenaje superficial"*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.

Total P_0

$$= \frac{(5 * 1.7) + (22 * 22.8) + (35 * 30.4) + (12 * 34.6) + (19 * 19.5) + (47 * 88.5) + (22 * 50.1) + (10 * 68.4) + (5 * 45.2)}{1.7 + 22.8 + 31.9 + 36.4 + 19.5 + 83.7 + 31.1 + 80.5 + 53.6}$$

$$Total P_0 = \frac{8.5 + 501.6 + 1064 + 415.2 + 370.5 + 4159.5 + 1102.2 + 684.4 + 226}{361.2}$$



$$Total P_0 = \frac{8531.9}{361.2} = 23,6$$

C) Cálculo del coeficiente de escorrentía

A partir de la fórmula: $C = \frac{(P_d - P_0) * (P_d + 23 * P_0)}{(P_d + 11 * P_0)^2}$

donde: C = coeficiente de escorrentía

P_d = Precipitación diaria (mm)

P_0 = Umbral de escorrentía (mm)

$$C = \frac{(63,49 - 35,4) * (63,49 + 23 * 35,4)}{(63,49 + 11 * 35,4)^2} \rightarrow C = \frac{28,09 * 877,69}{(452,89)^2} \rightarrow C = \frac{24.654,31}{205.109,35} \rightarrow$$

$$C=0,12$$

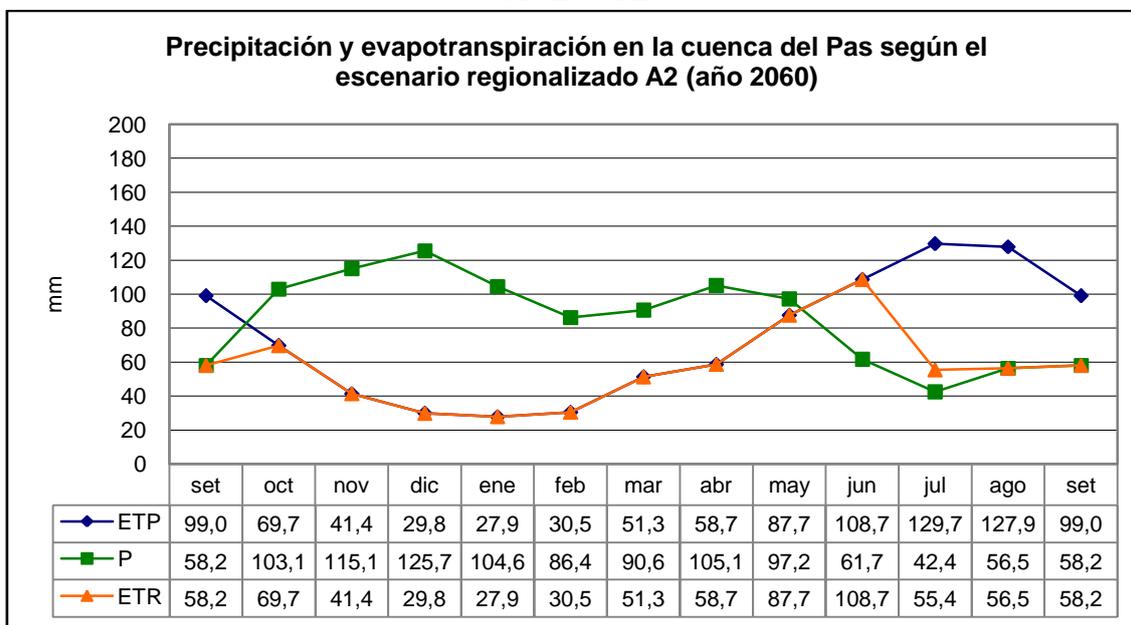
E) Aplicación de la fórmula básica

$$Q = 0,12 * 23,76 * 361 * 1,55 = 1.595,38 \text{ mm/hora/km}^2$$

$$Q = \frac{648,88}{3,6} = 443,16 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.4.- SUPUESTO DEL ESCENARIO REGIONALIZADO IEEE A2

Gráfico 4.2



Fuente: reelaboración a partir de "Cálculo de la ETP mediante la fórmula de Thornthwaite". En www.hidrologia.usal.es

En este escenario los componentes del cambio climático varían en mayor medida albergando efectos de más envergadura y en un menor periodo de tiempo. Se estima que la temperatura media ascienda alrededor de 3°C, lo que en condiciones teóricas



implicaría un aumento de la evaporación y un aumento de las precipitaciones, teniendo en cuenta que la humedad al área de estudio llega desde el Atlántico y no desde las masas de agua dulce de la región. Pero atendiendo a los diversos factores, regionales en este caso, que influyen en las precipitaciones y que no son discutidos en este trabajo, se toman las fuentes oficiales sobre el tema que exponen pérdidas de precipitación valoradas en un 30% sobre la cantidad actual. (IEEE, 2013)

Ante estos cambios mucho más acusados que en el escenario B1, donde los excedentes hídricos se reducen casi a la mitad (47,8%), cabe esperar que la reserva de agua mengüe también, produciendo un efecto en cadena con el resultado final de un periodo de déficit hídrico mucho más acentuado y prolongado durante el verano que comenzará en junio y terminará en octubre; así pues con estos datos sí que se pueden producir cambios sustanciales no solo en lo que es la cobertura vegetal sino además en todo el ámbito biogeográfico.

Al igual que en anterior caso, se presupone la misma tendencia territorial de abandono de las áreas rurales con el consiguiente proceso de recuperación espontánea si el clima fuera constante en el tiempo o las variaciones no fueran significativas; en cambio el proceso de regeneración vegetal y forestal que se daría en tales circunstancias se ve influido en buena medida por el proceso de sustitución forestal, donde el bosque planocaducifolio irá progresivamente desapareciendo en pro de la instalación del bosque mediterráneo, que en el escenario que se trata este tipo de bosque será el que encuentre nuevas condiciones climáticas mucho más aptas para su instalación permanente y de forma general, es decir, no teniendo que darse una serie de casualidades climáticas, de suelo, orientación, pendiente... para que la vegetación característica mediterránea pueda darse en el área de estudio en este supuesto. Se producirá paradójicamente lo contrario; será el bosque atlántico el que irá paulatinamente menguando con el paso del tiempo y quedando de forma residual en aquellos enclaves microclimáticos que reúnan las características oportunas para su supervivencia. Es importante mencionar que bajo estos cambios, la cobertura vegetal requeriría plazos de tiempo más largos del que se propone para ir dando paso a las masas esclerófilas, antes de ello, el bosque caducifolio aguantaría un cierto periodo, aunque cada vez, en éste se iría encontrando en peores condiciones.

Con esta nueva sucesión de la cobertura vegetal se identifica un nuevo ajuste en la distribución de cada una de sus clases, y por supuesto, una nueva reclasificación en



clave hidrológica teniendo en cuenta las nuevas características que implica el cambio del tipo de vegetación y su fisonomía territorial.

Tabla 4.2.- Determinación del umbral de escorrentía, escenario regionalizado A2

Características de la cuenca (alto Miera)	Umbral de escorrentía	Superficie	
		Km ²	%
Roca permeable; pendiente <3%	5	1,7	0,5
Praderas medias; pendiente<3%; suelo B	35	43,3	12,0
Praderas pobres; pendiente<3%; suelo C	12	47,8	13,2
Rotación cultivos pobres <3%; N, suelo B	19	19,5	5,4
Masa forestal espesa; pendiente<3% suelo B	47	41,8	11,6
Masa forestal media; pendiente <3% suelo B	22	31,1	8,6
Masa forestal clara; pendiente <3% suelo C	10	101,4	28,1
Masa forestal muy clara; pendiente <3% suelo D	5	74,5	20,6
Total umbral escorrentía	18		
Total umbral de escorrentía corregido (1.5)	27,0		

Fuente: reelaboración a partir de M.O.P.U. (1990).- *Instrucción de Carreteras 5.2-IC "Drenaje superficial"*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.

Total P_0

$$= \frac{(5 * 1.7) + (35 * 43.3) + (12 * 47.8) + (19 * 19.5) + (47 * 41.8) + (22 * 31.1) + (10 * 101.4) + (5 * 74.5)}{1.7 + 22.8 + 31.9 + 36.4 + 19.5 + 83.7 + 31.1 + 80.5 + 53.6}$$

$$Total P_0 = \frac{8,5 + 1515,5 + 573,6 + 370,5 + 1964,6 + 684,2 + 1014 + 372,5}{361,2}$$

$$Total P_0 = \frac{6503,5}{361,2} = 18,01$$

C) Cálculo de coeficiente de escorrentía

A partir de la fórmula: $C = \frac{(P_d - P_0) * (P_d + 23 * P_0)}{(P_d + 11 * P_0)^2}$

donde: C = coeficiente de escorrentía

P_d = Precipitación diaria (mm)

P_0 = Umbral de escorrentía (mm)

$$C = \frac{(63,49 - 27) * (63,49 + 23 * 27)}{(63,49 + 11 * 27)^2} \rightarrow C = \frac{36,49 * 684,73}{(360,49)^2} \rightarrow C = \frac{24.98579}{130.126,13} \rightarrow$$

$$C = 0,19$$



E) Aplicación de la fórmula básica

$$Q = 0,19 * 23,76 * 361 * 1,55 = 2526,03 \text{ mm/hora/km}^2$$

$$Q = \frac{2.527,03}{3,6} = 701,67 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.5.- DISCUSION DE RESULTADOS

Figura 4.3.- Esquema síntesis de resultados

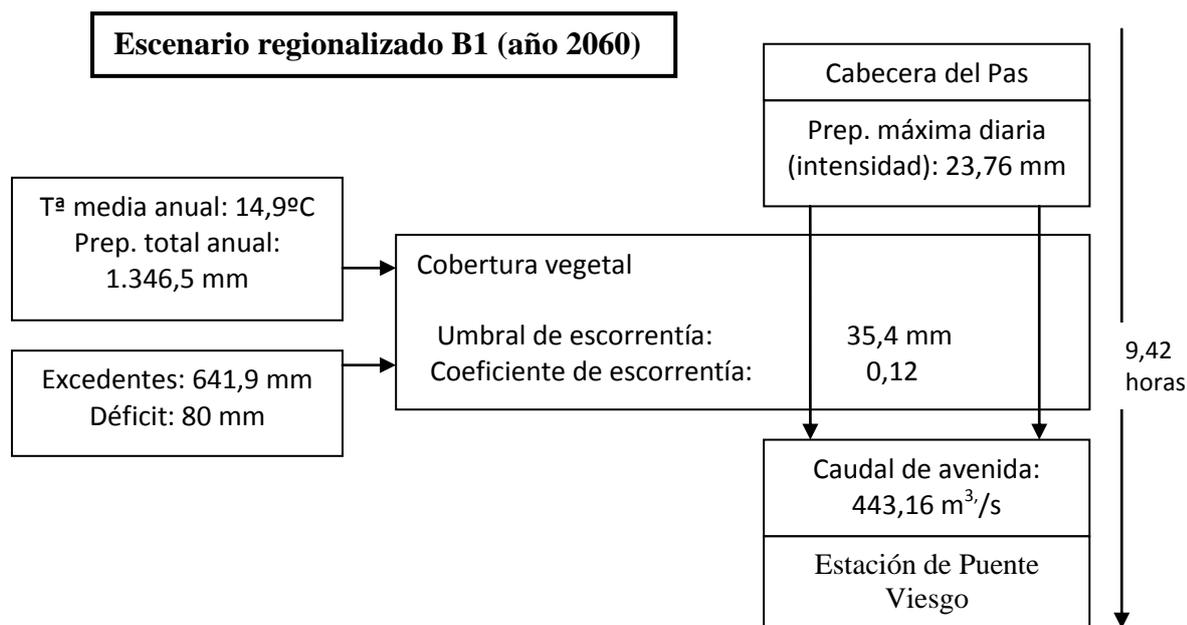
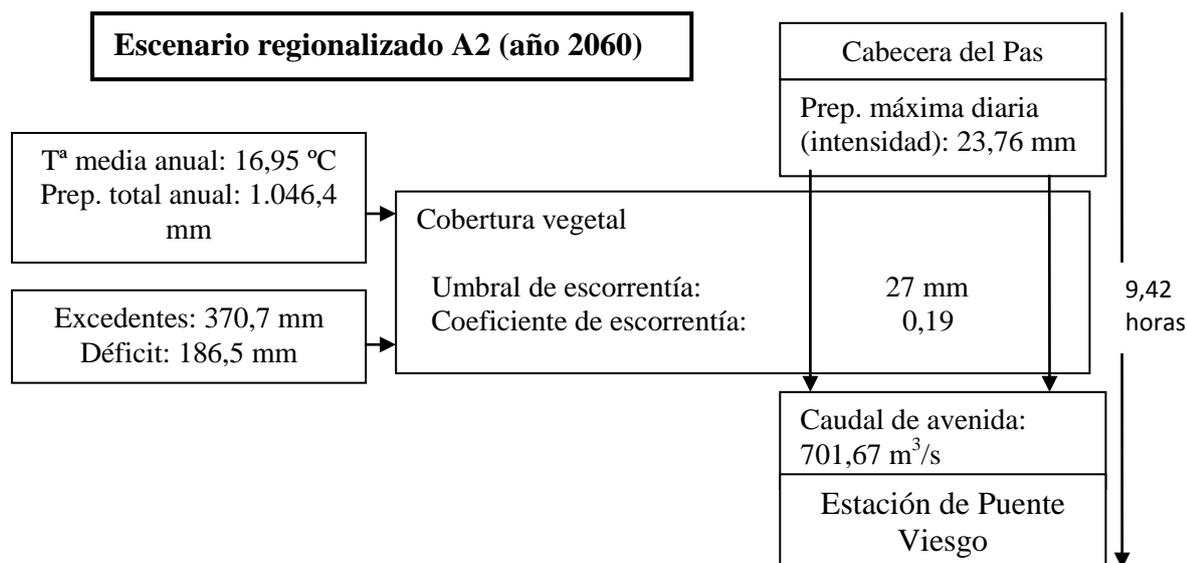


Figura 4.4.- Esquema síntesis de resultados





La obtención de estos resultados se ha elaborado siguiendo la misma metodología que en el caso de la evaluación del escenario actual, y se ha efectuado una simulación de un episodio de precipitación extraordinaria de similar magnitud, con el propósito de analizar la misma situación meteorológica, con la variante de los cambios en la cobertura vegetal inducidos por el clima y recogidos en los escenarios regionalizados IEEE. Las piezas del sistema conjugadas han sido la precipitación y la temperatura anual previstas para dos de los mencionados escenarios, sus consecuencias son evidentemente proporcionales a su magnitud, y éstas inciden directamente sobre la cobertura vegetal del suelo, la que a su vez es determinante para atenuar o agravar los efectos producidos en un episodio de precipitación máxima.

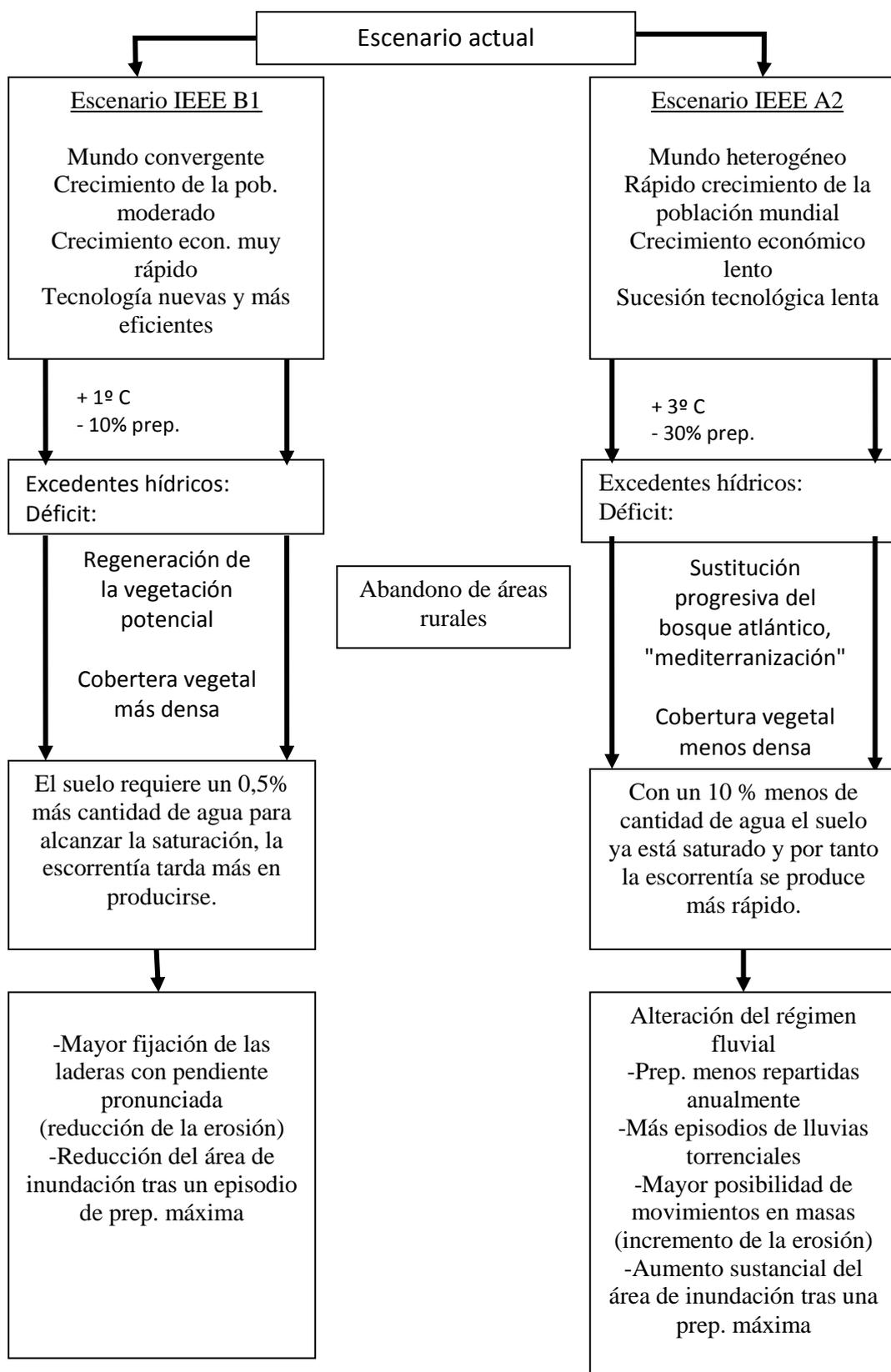
Así pues, ante una precipitación máxima con una intensidad de 23,76 mm sobre la cuenca media y alta, tendríamos para ambos escenarios, B1 y A2 un tiempo de concentración similar ya que la pendiente se toma como constante en un periodo de tiempo de 50 años, con ello, del caudal generado de esta avenida se establecería 9 horas y 42 minutos más tarde después que caiga la última gota de esa precipitación. El resultado será en primera instancia diferente en cantidad, puesto que con la misma intensidad de precipitación, en el escenario B1 el caudal se reduciría un 7,6 % sobre el escenario actual, consecuencia de la presencia de una cobertura vegetal más densa y por tanto más efectiva en la recepción de agua. En cambio, en el escenario A2 se ha estimado un caudal de avenida de un bagaje superior en un 46,1 % sobre el escenario actual, lo cual sería espectacularmente significativo.

Estas variaciones se deben en esencia a los cambios en la cobertura vegetal directamente influenciados por el clima, y que repercuten bajo el criterio del umbral de escurrimiento, que es la capacidad de la cobertura del suelo para retener el agua hasta alcanzar el punto de saturación; en este conjunto se dispone de 35,4 mm y 27 mm de umbral para el escenario B1 y A2 respectivamente, lo que supone prácticamente 1/4 de diferencia entre ambos, lo suficiente para introducir grandes variaciones en el resultado ante un episodio de precipitación de las mismas características.



CAPITULO V. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Figura 5.1.- Síntesis general





Concluyendo, en este último apartado se realiza una exposición general de los dos casos hipotéticos (escenarios B1 y A2) tomando como punto de partida y referencia el escenario actual. Ciertamente es que este trabajo no representa más que una aproximación a la problemática, y que en absoluto lo deja resuelto, sin embargo, pese a basarse solo en dos variables (clima y vegetación) permite demostrar en primer lugar que los efectos del cambio climático y de usos del suelo son reales, y además, muy importantes en el territorio de Cantabria en general, y que tienen también una incidencia real sobre el territorio y sobre el resto de procesos y/o actividades que se llevan a cabo en él. Que por tanto, es imprescindible tenerlos en cuenta en el campo de la ordenación territorial, respecto a los riesgos naturales y al medio ambiente en general.

Se observan diferencias notables entre ambos modelos de desarrollo, donde el escenario B1, que no implica grandes variaciones genera una evolución en la climatología más paulatina y donde los cambios generados por los reajustes climáticos en relación al calentamiento global permitirían tiempo de reacción para el proceso de adaptación y redistribución no impliquen impactos drásticos inasumibles a corto plazo.

Sin embargo el escenario A2 introducirá unos cambios muy fuertes en el clima, por lo que los reajustes serán muy rápidos y traerán consigo consecuencias en forma de inclemencias meteorológicas. En el área de estudio se da un considerable incremento de la temperatura y una reducción de las precipitaciones anuales que dará como resultado una reducción de la cobertura vegetal. Con estas nuevas condiciones se aumenta en gran medida la exposición a los capítulos extremos que se relatan en los escenarios regionalizados, por lo que en ese sentido es posible verificarlos.

En otra instancia se puede decir que los objetivos planteados en el trabajo se han visto cumplidos poniendo a prueba, con las fuentes disponibles y sin mayor ambición que la de un ejercicio académico, un tipo de herramientas muy versátiles y que pueden ofrecer importantes servicios al geógrafo-ordenador del territorio como son los modelos hidrológicos asociados a los SIG.

Se ha alcanzado, a lo largo del desarrollo del estudio, adoptar una visión transversal e integral de conocimientos, lenguajes y técnicas de trabajo asociados a distintas materias dentro de la Geografía, como la climatología, hidrología, biogeografía, metodología



estadística, nociones de litología y edafología, aspectos de la geografía regional, así como otros no implícitos en los objetivos como son los riesgos naturales a los que conduce el propio desarrollo del método.

Por todo ello resulta una elaboración completa, sabiendo, que esta aproximación puesta en práctica para un caso real requeriría de un análisis mucho más detallado y desarrollado.

CAPITULO VI. BIBLIOGRAFIA

AEDO C., DIEGO C., GARCIA CODRON J.C., MORENO G. (1991). *"El bosque en Cantabria"*. Universidad de Cantabria, Asamblea Regional de Cantabria, Santander.

BARREDO, S. (2006). *"Rocas sedimentarias"*. Disponible en:

<http://introgeo.gl.fcen.uba.ar/Introduccion/Tprocasyestrucsedim/TProcyestrucsediment>.

[PDF](#)

CONSEJO PARA EL MEDIO RURAL (2010). *"Programa de Desarrollo Rural Sostenible 2010-2014"*: Documento de Referencia para la Elaboración de Directrices Estratégicas Territoriales de Ordenación Rural. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marítimo, Programa de Desarrollo Rural Sostenible.

CORBERA MILLAN, M. (2008): *"El Proceso de Colonización y la Construcción del paisaje en los Montes del Pas"*. Ería, pags. 293-314.

DELGADO VIÑAS, C. (2006): *"Ordenación del territorio y desarrollo sostenible en áreas de montaña: diagnóstico y propuestas para la integración productiva y territorial de los Montes de Pas (Cantabria)"*. Boletín de la A.G.E. n.º 42, pags 53-70.

DIAZ ORTIZ J (2010),. *"Escenario Regionales de Cambio Climático"*. Ponencia Técnica de Cambio Climático en Cantabria. Gobierno de Cantabria, Dirección general de Medio Ambiente.

FERRER, F.J. (1993).- *"Recomendaciones para el Cálculo Hidrometeorológico de Avenidas"*. CEDEX, Ministerio de Obras Públicas, Madrid, 75 pp.



GOMEZ OCHOA, F., ed, (2005). "*Cantabria: de la prehistoria al tiempo presente*", Santander.

IGLESIAS, A., ESTRELA, T., GALLART, F. (s.f.). "*Impacto sobre los recursos hídricos*", Impactos del Cambio Climático en España, *pags. 303-353*. En http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/07_recursos_hidricos_2_tcm7-12423.pdf

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA (2000). "*Características de las precipitaciones intensas en Cantabria y sus períodos de retorno*". En www.inm.es/web/sup/ciencia/divulga/tempoweb/mcr5/mcr5.htm.

I.P.C.C. (2013), Bases Físicas. "*Resumen para responsables de políticas*." Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático OMM-PNUMA.

LASANTA, T. Y VICENTE SERRANO, M. (2007), "*Cambios en la Cubierta Vegetal en el Pirineo Aragonés en los últimos 50 años*". Instituto Pirenaico de ecología, CSIC, Jaca.

MARTIN VAL, R. (2000), "*La Renovación Ganadera en los Montes del Pas: El Valle de Carriedo*". X Coloquio de Geografía Rural, Lleida, 82-91.

MINISTERIO DE FOMENTO (1999). "*Máximas lluvias diarias en la España peninsular*", Secretaría de Estado de Infraestructuras y Transportes, Dirección de carreteras. En http://www.fomento.es/mfom/lang_castellano/direcciones_generales/carreteras/normativa_tecnica/drenaje/0610300.htm

M.O.P.U. (1990).- "*Instrucción de Carreteras 5.2-IC, Drenaje superficial*". Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Boletín Oficial del Estado, Madrid, 84 pp.

MUSY, A. (2005). "*Hydrologie générale*". Ecole Polytechnique Fédérale. En <http://hydram.epfl.ch/e-drologie/titre.shtml>.



ORTEGA VALCÁRCEL, J (1975): "*Organización del espacio y evolución técnica en los Montes de Pas*", Estudios Geográficos, 36, 140-141, págs 863-900.

ROBREDO SANCHEZ, J.C. (s.f.)- "*Cálculo de caudales de avenida*", E.T.S. Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid. En <http://www.ugich.com/descargas/AECID%20Curso1/CALCULO%20DE%20CAUDALES%20DE%20AVENIDA.pdf>

SÁNCHEZ SAN ROMÁN, F.J. (2006). "*Hidrología- Hidrogeología*". Departamento de Geología, Universidad de Salamanca. En <http://web.usal.es/~javisan/hidro/index.htm>

VV.AA. (2005). "*Estudio de los recursos hídricos de los ríos de la vertiente cantábrica*" Plan de investigación integral para la caracterización y diagnóstico ambiental de los sistemas acuáticos de Cantabria. Grupos de Emisarios Submarinos e Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria, Empresa de Residuos de Cantabria, Gobierno de Cantabria. En <http://dma.medioambientecantabria.es/estudios/recursos.htm>