



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-588

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

PROYECTOS DE GESTIÓN DE AGUA Y CARBONO: GENERACIÓN DE CERTIFICADOS AMBIENTALES A FAVOR DE LOS INVERSORES

NAVARRETE MAZARIEGOS, E.¹, REXACH BENAVIDES, J.² y CEACERO RUIZ, C.²

¹ Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía.

² Universidad Pablo de Olavide (Sevilla).

Resumen

La comunidad internacional está en continuo proceso de desarrollo de estándares y metodologías para la implementación de proyectos de lucha contra el cambio climático que garanticen transparencia, comparabilidad de resultados y movilicen inversiones público-privadas. Junto a los múltiples estándares para proyectos de carbono, son pocos los que certifican proyectos de beneficios hídricos.

Este trabajo justifica la importancia de establecer proyectos de gestión conjunta de los recursos carbono y agua circunscribiéndolos a la unidad territorial de cuenca. Se revisan las principales metodologías existentes y se propone una metodología integral para proyectos de gestión de agua y carbono (GAC) que, por un lado, integre las reducciones de emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero (GEI) derivadas de la gestión de la vegetación y usos del suelo, además de las reducciones de las exportaciones de carbono orgánico fuera de la cuenca, y por otro lado contabilice la generación de beneficios hídricos de las actividades relacionadas con la gestión del agua. De este modo se cuantifican los beneficios ambientales en forma de certificados que darán respaldo a operaciones por parte de entidades empresariales con implicaciones en responsabilidad social corporativa. La metodología se aplica a la cuenca del río Bérchules en Sierra Nevada (Granada).

Palabras clave

Recursos hídricos, estándar, créditos, cuenca.

1. Introducción

En el siglo XXI la crisis mundial del agua se presenta como uno de sus principales desafíos y puede considerarse uno de los elementos clave del cambio global, siendo por tanto un ámbito estratégico en la priorización de inversiones por parte de las administraciones y el sector privado. A lo largo del último siglo, el uso y consumo de agua creció a un ritmo dos veces superior al de la tasa de crecimiento de la población y, aunque no se puede hablar de escasez hídrica a nivel global, va en aumento el número de regiones con niveles crónicos de carencia de agua. Para el año 2030, el 47 por ciento de la población del planeta vivirá en áreas con alto estrés hídrico (United Nations, 2012), donde el acceso a agua de calidad será limitado y limitante para el desarrollo de actividades. A este respecto, las previsiones climáticas del Quinto informe de evaluación del cambio climático (AR5) del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) muestran en la región europea un incremento de las restricciones de agua, junto a un aumento de los episodios de daños relacionados con la dinámica fluvial y un aumento de los episodios de calor extremo y de incendios forestales (IPCC, 2014). El área cubierta por la nieve en el hemisferio norte se estima que decrecerá entre un 7% y un 25% al final del siglo XXI, lo cual supone una disminución de las aportaciones y del almacenamiento natural de agua que la nieve proporciona en las cuencas de cabecera. En la Península Ibérica la reducción de la precipitación anual será más acusada al sur, reduciéndose las precipitaciones en los meses estivales, junto con un aumento de los extremos relacionados con las precipitaciones de origen tormentoso. Estas previsiones tienen un impacto en las cuencas de

cabecera que no disponen de embalses, y donde el manejo del agua se limita a gestionar los tres tipos de flujos (superficial, hipodérmico y subterráneo).

El ciclo del carbono y el ciclo del agua están relacionados entre sí: los ecosistemas requieren de agua para almacenar carbono y al hacerlo éstos afectan al agua. La disponibilidad de agua es uno de los factores ambientales que más condiciona la fotosíntesis y la tasa de fijación del carbono. Los estomas juegan el doble rol de controlar los flujos de agua y de dióxido de carbono. Como complemento a los compromisos que adoptan los estados para reducir sus emisiones de GEI (segundo periodo de compromiso del Protocolo de Kyoto), existe un mercado voluntario de carbono que comprende todas las transacciones de créditos de carbono que no están regidas por una obligación regulatoria de cumplir con una meta de reducción. Dentro de él se integran los proyectos de carbono cuyos objetivos implican balances positivos de reducción de emisiones GEI e incremento de stock de carbono. Estos balances generan créditos o certificados equivalentes a 1 tonelada de CO₂. El elemento fundamental de los mercados voluntarios es la figura de los estándares de certificación de proyectos de reducción de emisiones GEI. Consisten en un sistema de pautas cuyo objetivo es dotar de credibilidad y uniformidad el proceso de generación de los créditos voluntarios que se generan en cada proyecto, asegurando que los proyectos sean ejecutados de forma adecuada y transparente bajo criterios medibles y comparables a escala internacional. Los principales estándares internacionales son: VCS (Verified Carbon Standard), CCBA (Climate, Community and Biodiversity Alliance), Plan Vivo, The Gold Standard, o el International Water Stewardship Standard (AWS Standard).

El Pacto de París sobre el agua y la adaptación al cambio climático en las cuencas de los ríos, lagos y acuíferos confirmado en la COP22 de Marrakech acuerda el compromiso de administraciones, agentes y sociedad civil para la integración del agua dulce en la Agenda de Acción Climática Global, especialmente para reforzar acciones de adaptación en las cuencas. España es uno de los países que se adhiere a este pacto. Europa encabeza las regiones con mayor volumen de compra en mercados voluntarios de carbono, con gran interés en cuantificar los cobeneficios generados más allá de los productos de carbono, en especial outcomes como la protección de cuencas de cabecera, mejora de biodiversidad o resiliencia climática.

2. Objetivos

Los objetivos de este trabajo son tres: se propone una metodología integrada para proyectos de gestión de agua y carbono en cuencas de cabecera, dentro del marco de los estándares voluntarios, que cuantifique los beneficios ambientales por secuestro de carbono y por incremento de la disponibilidad de agua; se aplica esta metodología a una cuenca de cabecera sin sistemas de presas en Sierra Nevada (Granada); y se realiza un análisis económico de este tipo de proyectos diversificando la generación de certificados ambientales.

3. Metodología

Se ha realizado una revisión de estándares cuya base se ajusta a las características de proyectos de gestión de agua y carbono, y que cubren las actividades relacionadas con los tratamientos silvícolas, la gestión sostenible de tierras agrícolas y la gestión de los recursos hídricos. Esta revisión fundamentará la base de la metodología integrada en la que se respaldará este tipo de proyectos. El conjunto de metodologías presentan un esquema común (Figura 1) y una serie de requisitos:

- **La adicionalidad:** Es un requisito que asegura que la cantidad de carbono secuestrado al ejecutar el proyecto debe ser mayor al que se habría producido en ausencia de este proyecto, y su ejecución debe realizarse como consecuencia de la participación dentro de los mercados voluntarios.
- **Escenario de línea base:** Es el estado en el que se encuentra el área de proyecto antes del inicio de las actividades y la evolución más probable de la zona en ausencia del proyecto. Se evalúan los reservorios de carbono, emisiones de GEI y los balances hídricos.

- *Escenario de proyecto*: es la proyección de la evolución del área de proyecto aplicando todas las actividades del mismo.
- *Estimaciones de beneficios ex ante*: Son las previsiones de beneficios ambientales que se obtendrán con el proyecto. Generalmente se requiere el uso de modelos matemáticos que proyecten anualmente los cambios en stock de carbono de los distintos reservorios, tanto para la línea base como para el proyecto.
- *Estimación de beneficios de carbono por comparación del escenario de línea base y escenario de proyecto*. Mediante un plan de monitoreo, reporte y verificación se calculan los *beneficios ex post*, definidos como la cuantificación de beneficios ambientales obtenidos con la ejecución del proyecto.
- *Identificación y cuantificación de los reservorios de carbono, las fuentes emisoras de GEI y las fugas del proyecto* (cualquier aumento de emisiones de GEI fuera de los límites del proyecto como resultado de las actividades del mismo).
- *Registro del proyecto en un sistema de acceso público para evitar doble contabilidad*.

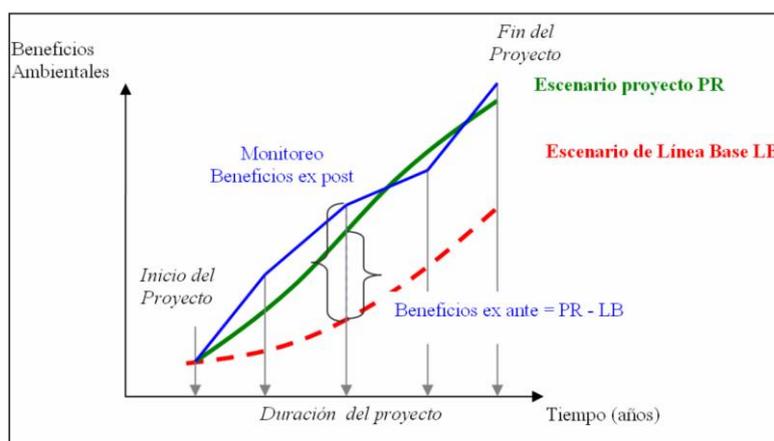


Figura 1. Esquema de proyecto de beneficios ambientales con sus elementos principales

Entidades especializadas en el sector AFOLU (Agriculture, Forestry and Other Land Use), como Verified Carbon Standard (VCS) han desarrollado metodologías que tendrían encaje en la tipología de proyectos que de este trabajo. Seis de ellas se han revisado (Tabla 1), y consideran los cálculos finales de beneficios en unidades de carbono verificadas (VCU), que se generan (ΔC) como la diferencia de carbono en la línea de base (ΔC_{LB}), menos el carbono en el escenario de proyecto (ΔC_{PR}) y menos las fugas del proyecto (ΔC_F) (si las hubiese), es decir: $\Delta C = \Delta C_{LB} - \Delta C_{PR} - \Delta C_F$

Han de cumplir con el criterio de adicionalidad y para ello, se dispone de herramientas como VT0002 Tool for the Demonstration and Assessment of Additionality in IFM Project Activities, VT0001 Tool for the Demonstration and Assessment of Additionality in VCS Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) Project Activities (VCS, 2010-2014) o Combined tool to identify the baseline scenario and demonstrate the additionality in A/R CDM project activities (UNFCCC, 2007).

Otro requisito es la *permanencia*, que consiste en garantizar unas condiciones adecuadas para minimizar los riesgos que puedan poner en peligro los beneficios obtenidos por cada proyecto, ocasionados por perturbaciones bióticas (plagas o enfermedades), abióticas (incendios), climáticas (huracanes) o antrópicas (decisiones de los propietarios de los terrenos o talas ilegales). Cada proyecto debe evaluar, por tanto, su riesgo de no permanencia. Con el objetivo de garantizar la permanencia, se establece un *fondo de reserva* (o buffer) que consiste en una cuenta que aparta de la contabilidad de beneficios, un porcentaje de los que se generan, para movilizarlos en caso de perturbación que provoque pérdidas de beneficios ya generados. El porcentaje que se destina al fondo de reserva viene determinado por el riesgo de no permanencia del proyecto. Para evaluar este riesgo se recurre a herramientas como los informes de riesgo de no permanencia (VCS Tool for AFOLU Non-Permanence Risk Analysis and Buffer Determination), en donde se evalúan los riesgos internos, externos y naturales con una puntuación que define el porcentaje.

Para cada actividad, el cálculo de fijación de carbono se realiza multiplicando cada superficie (ha) por su factor de emisión (absorción en caso de remociones) ($\text{tCO}_2\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$) debidamente justificado. La suma de todas ellas da como resultado los incrementos de carbono del proyecto.

Tabla 1. Comparativa de metodologías de proyectos voluntarios de carbono analizada

Metodologías	Objetivo	LB	Reservorios de C Emisiones GEI	Fondo de reserva
<i>IFM - LiPF Conversion from Logged to Protected Forest - VM0010</i>	Evitar las cortas programadas de bosques con valores ecológicos importantes in situ o en su entorno.	Planificación de cosecha de madera Emisiones de GEI en LB a partir de cambios en las existencias de C.	Biomasa aérea del arbolado, madera muerta de astillado y los productos cosechados Emisiones: CH_4 producido de quemas de biomasa	Informe de riesgo de no permanencia
<i>IFM - LiHF Conversion of Low-productive Forest to High-productive Forest - VM0005</i>	Reduce emisiones y generar absorciones mediante silvicultura y favoreciendo el regenerado	Bosque tropical perenne sometido a talas y sin gestión de regenerado	C en biomasa aérea arbolado, madera muerta, productos de madera y biomasa bajo suelo (opcional) Emisiones: CO_2 , CH_4 y N_2O fósiles vehic. y maquinaria (opc.)	Informe de riesgo de no permanencia
<i>IFM in Temperate and Boreal Forests - VM0012</i>	Secuestro de carbono como fruto de actuar evitando cortas.	Bosque templado y boreal con una gestión de aprovechamiento con cortas.	C en biomasa aérea, biomasa bajo suelo, madera muerta, productos de madera. Emisiones: CO_2 fósiles de equipos, transporte y manufacturas (opc.)	Informe de riesgo de no permanencia
<i>IFM - ERA through Extension of Rotation Age - VM0003</i>	Alargar la rotación es prolongar la vida del árbol para aumentar el secuestro de C	El plan de ordenación o gestión del bosque según sus turnos de corta	C biomasa aérea y bajo suelo, madera muerta (condicional), productos de madera (condicional) Emisiones: CH_4 por quema de biomasa	Informe de riesgo de no permanencia
<i>Sustainable Grassland Management - VM0026</i>	Secuestro de carbono en suelo y reducción de emisiones por gestión de pastizales	Evolución de los pastizales con tendencia a degradación.	C en biomasa leñosa aérea (podría reducirse), biomasa bajo suelo (opcional), SOC. Emisiones: N_2O (fertilizantes), CH_4 y N_2O (quema de biomasa), CH_4 y N_2O (deposición de estiércoles en pastizales), CO_2 maquinaria, CH_4 fermentación entérica, N_2O especies fijadoras N.	Informe de riesgo de no permanencia
<i>Sustainable Agricultural Land Management SALM - VM0017</i>	Reducción de emisiones de GEI y fijación de CO_2 a partir de buenas prácticas agroganaderas	Evolución de las emisiones (fertilizantes, quemas, combust. fósil, cambios de stock en veget. leñosa) sin proyecto	C de las remociones de la biomasa leñosa aérea y bajo suelo y SOC. Emisiones: N_2O fertilizantes sintéticos, CH_4 y N_2O quema de biomasa, CO_2 , CH_4 y N_2O combustibles fósiles, N_2O especies fijadoras de N	No se aplica

En el caso de certificación de beneficios hídricos, la filosofía de este tipo de estándares es canalizar financiación y apoyar proyectos centrados en la gestión del recurso agua. Gold Standard tiene desarrolladas dos metodologías (Water Access and WASH, Sustainable Sugarcane Initiative SSI) y en desarrollo otras tres más (Drip Irrigation, In-field Rainwater Harvesting, Water Retention Basin) (The Gold Standard, 2014), y Alliance for Water Stewardship otra (AWS Standard) (AWS, 2014).

4. Resultados

Se describe la propuesta metodológica para la cuantificación de los beneficios de proyectos de agua y carbono (GAC) y se aplica a un caso práctico en la cuenca del río Bérchules (Sierra Nevada).

4.1 Propuesta de metodología para proyectos de gestión de agua y carbono (GAC)

El análisis de las metodologías revisadas y la evaluación de las posibles actuaciones que podrían componer un proyecto integrado en una cuenca de cabecera, ponen de manifiesto que existe una carencia en cuanto a la evaluación de las exportaciones de carbono fuera de la cuenca y a la generación de beneficios hídricos derivados de medidas naturales de retención de agua, como la gestión de las acequias (aspectos son claves para la generación de beneficios hídricos y carbono). Por ello, se propone una metodología que aglutine todas las actividades de un proyecto dentro de una cuenca de cabecera para la gestión de agua y carbono derivados de medidas de gestión forestal, de gestión sostenible de tierras agrícolas y de gestión hídrica: Metodología para Proyectos GAC.

La metodología incluye pautas para la identificación de los límites del proyecto, la definición de elegibilidad, la identificación de los reservorios de carbono y de los recursos hídricos, la definición del escenario de línea base, las actividades del proyecto, el escenario del proyecto, la adicionalidad, la permanencia, las fugas, la estimación ex ante y la cuantificación ex post y el fondo de garantía. Un proyecto acorde con la metodología propuesta presenta dos líneas de generación de beneficios, una de carbono y otra de agua. Cada una de ellas llevará asociados sus procedimientos de monitoreo, reporte y verificación (MRV) para su cuantificación.

Principios del proyecto: La metodología se basa en los principios de ahorro y transparencia, y cuantifica los beneficios ambientales obtenidos a partir de acciones que mejoren los recursos hídricos, el incremento de absorciones de CO₂ y la reducción de GEI.

Actividades del proyecto: La obtención de estos beneficios se conseguirá mediante actividades que fomenten la infiltración del agua mediante la gestión de medidas naturales de retención de agua (acequias de careo por ejemplo), así como por el almacenamiento de carbono a partir de actividades AFOLU de tratamientos silvícolas que mejoren el crecimiento de la masa forestal, la introducción de estrato arbustivo acorde con la ecología de la zona, la puesta en marcha de medidas de gestión sostenible de tierras agrícolas (SALM Sustainable Agriculture Land Management) y actuaciones para control de la erosión en laderas y de gestión de acequias que minimicen las exportaciones de carbono fuera de la cuenca.

Las actividades de los proyectos GAC (Tabla 2) reportan a la cuenca tangibles beneficios ambientales, y es recomendable que no impliquen desplazamiento de actividades tradicionales o presentes en la cuenca a otras localizaciones, es decir, que no impliquen fugas (leakage).

Tabla 2. Tipología y Actividades de proyectos GAC

Tipología Actividad	Estándares/metodologías existentes	Aplicabilidad	Línea Base	Actividades Proyecto GAC	Fugas	Permanencia	Créditos o Certificados
Gestión sostenible de tierras agrícolas	SALM ¹⁾	Si	Encuesta y monitoreo	Gestión de residuos de cosecha Compostaje y la gestión de estiércoles, Aplicación de fertilizantes inorgánicos, Reconstrucción de bancales (erosión) Plantación de árboles (erosión)	No	Sí	1 VER ⁴⁾ =1 tCO ₂
Gestión de recursos hídricos	WBS ²⁾	Si	Estaciones meteorológicas, estaciones de aforo y modelos	Mantenimiento acequias Gestión de careos Manejo de calendario de cultivos	No	Sí	1 WBC ⁵⁾ =100 m ³
Gestión forestal	IFM ³⁾	Si	Inventario, crecimientos, estudios previos, modelos	Claras selectivas Entresacas Introducción de matorral noble Forestación lineal para protección de erosión	No	Sí	1 VER =1 tCO ₂

¹ Sustainable Agricultural Land Management; ² Water Benefits Standard; ³ Improved Forest Management; ⁴ Verified Emission Reduction ⁵ Water Benefits Certificates

Escala del proyecto: La magnitud de los proyectos se ajustará a la cantidad de certificados de beneficios hídricos anuales, de modo que se clasifiquen en proyectos de pequeña (hasta 40.000 m³), media (hasta 1.300.000 m³) o gran escala (más de 1.300.000 m³).

Elegibilidad del proyecto: Antes de su puesta en marcha y de ser registrado, el proyecto ha de cumplir el criterio de elegibilidad, para lo cual las actividades han de ser compatibles con la normativa de aplicación, especialmente con los planes de ordenación de los recursos naturales.

Contenido del proyecto: nombre del proyecto, metodología empleada, actividades del proyecto, localización precisa georreferenciada y cartografiada, límite del proyecto y área de influencia, denominación y extensión de la cuenca, hidrogeología, usos del suelo, justificación de adicionalidad, escenario de línea base, justificación de permanencia, organizaciones y comunidades involucradas, entidades gestoras de recursos hídricos, volúmenes anuales, cronograma de proyecto, estimación de beneficios hídricos y de carbono ex ante, plan de monitoreo. Se justificará la titularidad y compromiso

de los propietarios para permitir el desarrollo de las actividades, evidencias de estrés hídrico, y de que las acciones aportarán impactos positivos a su recuperación o minimización del riesgo. Se evaluarán los riesgos que del proyecto deriven en el ecosistema, la vulnerabilidad ante procesos erosivos, el impacto ante áreas protegidas de alto valor de conservación, y el impacto socioeconómico y sus repercusiones en el desarrollo del proyecto. Se justificará la involucración de los agentes locales. Incluirá un apartado que recoja los aspectos legales que respalden la propiedad legal de los certificados y créditos del proyecto, en el que se incluirán los datos de todos los participantes.

Adicionalidad del proyecto: la implantación del proyecto no podría llevarse a cabo sin el impulso económico derivado de la generación de certificados de beneficios hídricos y créditos de carbono, yendo más allá del business-as-usual.

Escenario de línea base: en un primer paso, la identificación de alternativas de los actuales usos forestales y agrícolas así como de la gestión del agua en la cuenca a las de las actividades del proyecto; un segundo paso, el análisis de la inversión para determinar que el proyecto no es la opción más atractiva económicamente de entre los posibles escenarios, o análisis de barreras con las que se encontrará el proyecto (principalmente por oposición por parte de colectivos locales); y tercer paso, análisis de prácticas comunes de gestión de tierras en la zona.

Una vez seleccionado se registra el proyecto, que contará con la línea base y con la estimación de generación de beneficios (agua y carbono) ex ante, que tendrán lugar con aplicación de las actividades del proyecto (Figura 2).

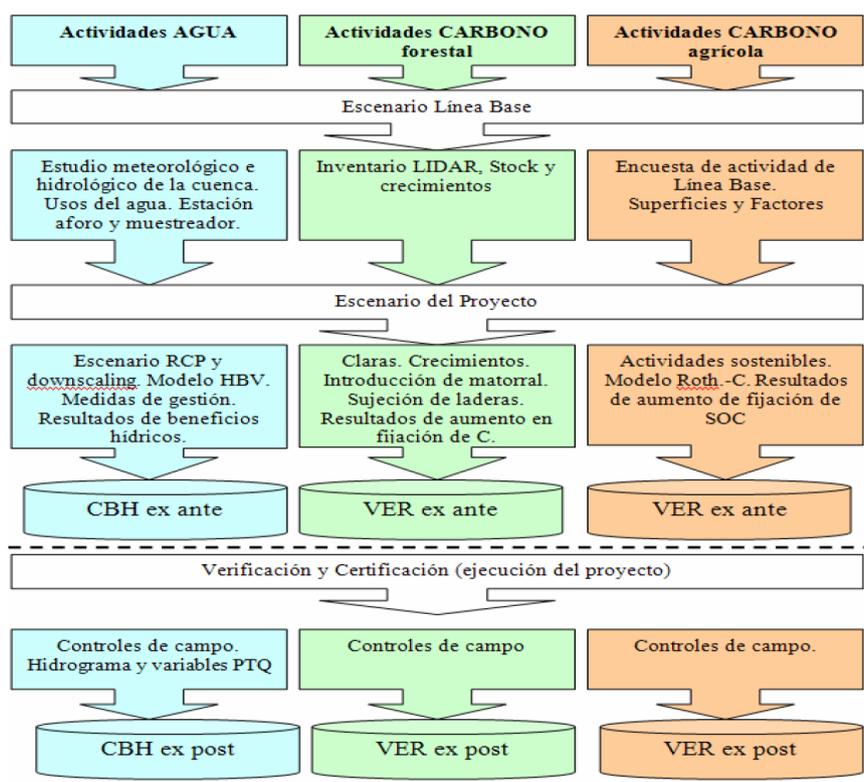


Figura 2: Mapa de proyectos GAC (CBH: Certif. de Beneficios Hídricos, VER: Absorciones y emisiones reducidas verificadas)

En el escenario de línea base, se modeliza la evolución que se prevé en el área de estudio en ausencia de proyecto a partir de revisión histórica de la gestión de usos de suelo, requerimientos legales y prácticas comunes. En el escenario de proyecto se modeliza la evolución del mismo con la aplicación de todas sus actividades. La cuantificación de los escenarios de línea base y de proyecto se realiza con herramientas y métodos de cálculo según cada tipo de actividad. Así:

- Para la cuantificación de los recursos hídricos se modeliza la cuenca para conocer el comportamiento de los flujos hídricos en sus tres formas (superficial, hipodérmico y subterráneo). Para ello, es necesario contar con datos procedentes de estaciones meteorológicas y con un sistema de control de nivel en la salida de la cuenca, siendo lo ideal una estación de aforo. Se recomienda la aplicación del modelo HBV light (Seibert, 2005) hidrológico conceptual y agregado de precipitación-escorrentía ampliamente empleado en previsiones hidrológicas y en estudios de balance hídrico. Aplicando los escenarios de cambio climático RCP a las estaciones meteorológicas y tras un proceso de downscaling pueden proyectarse las precipitaciones en años futuros y aplicarlas al modelo de HBV de la cuenca para proyectar los caudales de salida en ausencia del proyecto. En el caso de que no se consideren actividades de forzamiento de infiltración (careos) en el escenario de la línea base, esta componente se considera cero. El escenario del proyecto, se modeliza incluyendo los volúmenes infiltrados anualmente previstos, partiendo de información histórica o de experiencias previas en la zona. Así, los beneficios hídricos producidos mediante las maniobras de forzamiento de infiltración en áreas permeables, seguirán una progresión aritmética anual con la tasa de infiltración estimada.

- Para las actividades de gestión sostenible de tierras agrícolas se considera la línea base acorde a la metodología VM0017 (VCS, 2010-2014). En un enfoque conservador, se considera cero, puesto que la reducción de emisiones es la diferencia entre las emisiones de línea base menos las emisiones del proyecto. El escenario de proyecto se estima mediante el modelo Roth-C para el cálculo de los factores de emisión del suelo, o como alternativa pueden emplearse factores como los propuestos por Lal (2004) para prácticas recomendadas de gestión de suelos.

- Para las exportaciones de carbono por el sistema fluvial se aplican datos de estudios en cuencas de similares características o, en caso posible, se toman muestras preliminares de agua en la salida de la cuenca para analizar el Corg que transportan en ausencia del proyecto. Desde un enfoque conservador, se pueden considerar únicamente los balances asociados a la gestión de las acequias, por lo que la línea base podría estimarse cero y la proyección con las actividades se estimaría a partir de estudios en zonas similares o, en caso posible, tras toma de muestras en el área del proyecto.

- Para la estimación del aumento de stock de carbono en la biomasa fijado por las actividades silvícolas se aplican modelos contrastados de crecimiento como los desarrollados por Guzmán et al (2012) para coníferas de Andalucía, o por otros modelos recogidos en trabajos científicos en áreas similares a las del proyecto.

- Para modelizar el carbono orgánico en suelos forestales (SOC) se pueden aplicar factores de referencia de estudios contrastados que se ajusten a las características del área de estudio.

En todo proyecto, habrá una certificación inicial con su registro, y una serie de certificaciones que tendrán lugar en los años sucesivos para la verificación de los beneficios obtenidos. Se realizarán cada tres años al menos con la intervención de auditores externos y de la propia entidad administradora del estándar que revisará el cumplimiento de los requisitos.

El plan de monitoreo consiste en desarrollar controles periódicos que evalúen los beneficios ex post del proyecto, para poder comparar las estimaciones ex ante con la evolución real de beneficios obtenidos en la zona el proyecto. Se realizarán controles de campo para determinación del crecimiento de la masa arbolada tras la intervención silvícola. Para ello se establecerán parcelas de inventario para medir el diámetro normal, altura, estado de la vegetación, y se toman muestras de suelo, con una frecuencia de 3-5 años. Con frecuencia anual se analizarán imágenes satélite para evaluar el estado de la masa tratada y de la vegetación introducida y evaluar su estado y la no ocurrencia de incendios forestales.

En gestión sostenible de tierras agrícolas, el monitoreo incluirá una encuesta anual a los gestores, donde indiquen las actividades de la campaña agrícola (con datos de superficie y tipo de tratamiento), manejo de imágenes satélite para comprobar las parcelas del proyecto cada año, y controles de campo cada 3-5 años con medición in situ de contenido de carbono en suelo.

En gestión hídrica se instalarán sensores de nivel en la salida de la cuenca y acequias, y se obtendrá el hidrograma anualmente, que se comparará con los resultados del modelo y se evaluarán las derivaciones. Para calcular las exportaciones evitadas de carbono se tomarán muestras de agua a la salida y en las acequias, además de instalar un tomamuestras a la salida de la cuenca para calcular el carbono orgánico en suspensión arrastrado por episodios de lluvias intensas.

Para el fondo de reserva y la permanencia, cada proyecto GAC destina un porcentaje de los créditos de carbono a un fondo de reserva, en función del análisis de riesgos de no permanencia. Para el cálculo, se parte de un 30% y se rebajarán hasta 5 puntos por cada categoría del análisis de riesgo de no permanencia: riesgos internos (equipo técnico, plan de gestión, acuerdo de temporalidad del proyecto), externos (titularidad, implicación de los propietarios, implicación de las administraciones, implicación de entidades locales) y naturales (ocurrencia de incendios, plagas, fenómenos meteorológicos adversos), de modo que estará comprendido entre el 15 y 30% de los créditos generados.

4.2 Caso de estudio: Aplicación de la metodología a la cuenca del río Bérchules (Granada)

Se trata de una cuenca de 67,63 km² en la vertiente sur de Sierra Nevada entre 2600 y 979 msnm. Se identifica la zona sin vegetación en la cota superior, la masa de pinar de repoblación inmediatamente más abajo (Monte Público El Chaparral GR-30035-AY) con densidades de *Pinus sylvestris* principalmente por encima de los 1.300 pies ha⁻¹, las acequias de careo y las simas a continuación, y los manantiales, acequias de riego y el mosaico de tierras de cultivo en la zona media baja de la cuenca. En cuanto a la pertenencia de los terrenos: el monte público es del Ayuntamiento de Bérchules, las tierras agrícolas de propiedad privada, por lo que es necesario un compromiso de participación. La Comunidad de Regantes son administradoras de las acequias y juegan un papel muy interesante de liderazgo en la cuenca. La duración del proyecto será de 30 años y las actividades que conforman el proyecto GAC en la cuenca del río Bérchules (Tabla 3) engloban gestión forestal adaptativa, gestión hídrica y gestión sostenible de tierras agrícolas.

Tabla 3 .Actividades que conforman el Proyecto GAC en la cuenca del río Bérchules

Tipología de actividad	Actividad	Objetivo	Resultados esperados
Gestión forestal adaptativa	Claras al 20%	Disminuir la densidad de pinos para atenuar la transpiración y mejorar la infiltración	Aumento de fijación de C y disminuir la transpiración
Gestión forestal adaptativa	Forestar en las laderas con mayor erosión junto a acequias.	Solucionar problemas de erosión	Minimizar pérdidas de suelo y de rotura de acequias
Gestión forestal adaptativa	Introducir matorral noble en la zona de pinar aclarado	Incrementar el contenido de carbono orgánico en suelo	Aumento de fijación de carbono, mejorar la biodiversidad
Gestión hídrica	Mantenimiento de la red de acequias	Mantener la infraestructura que permite el movimiento del agua.	Optimización de uso de agua
Gestión hídrica	Contratar un equipo de acequeros y formación	Contar con personal especializado, generar empleo, involucrar a la población local en el proyecto	Optimización de uso de agua
Gestión hídrica	Forzar careos durante la época de mayor disponibilidad de agua	Almacenamiento dinámico de agua y disponibilidad durante el estío. Minimizar las exportaciones de carbono.	Mayor disponibilidad de agua. Recolocación de sedimentos y carbono en simas.
Gestión hídrica	Formación y concienciación local	Compromiso de la población y aceptación del proyecto	Participación activa y concienciación de la población
Gestión sostenible de tierras agric.	Incorporación de residuos de cosecha al suelo	Aplicación de prácticas SALM a la agricultura local	Aumento de fijación de carbono y mejora de la estructura del suelo
Gestión sostenible de tierras agric.	Gestión de estiércoles	Control de vertidos y mejora de características del suelo	Aumento de fijación de carbono
Gestión sostenible de tierras agric.	Compostaje	Mejora de características del suelo	Aumento de fijación de carbono

5. Discusión

Para los criterios de *adicionalidad* y *permanencia* se considera el incremento de beneficios ambientales que originaría el proyecto, la necesidad de conservación de la red de acequias, las limitaciones hídricas en la cuenca y el plan de ordenación que incluye las claras del 40% en el monte público; el análisis de riesgo de no permanencia, para los riesgos internos considera un equipo técnico especializado, un plan de gestión y un acuerdo de los participantes durante el proyecto (-2-2-1=5 puntos); en los riesgos externos, titularidad fragmentada en mosaico de cultivos, implicación media de propietarios, e implicación completa de la administración y de entidades locales (0-1-1-1=3 puntos); en los riesgos naturales, riesgo alto de incendios, riesgo medio de plagas y riesgo alto de meteorología adversa (0-1-0=1 punto)). Se obtiene un fondo de reserva del 21% (30-5-3-1=21).

En el escenario de línea base se evalúan las posibles alternativas de evolución futura de la cuenca en ausencia del proyecto. En el caso de la masa de pinar de repoblación, al existir un proyecto de ordenación de montes que prioriza claras del 40% en este monte público, será éste el escenario de línea base. En gestión de tierras agrícolas, a la vista de los incrementos de superficie destinadas a cultivos en los últimos años, tras revisión de imágenes aéreas y de las coberturas del Sistema de Ocupación Suelo (SIOSE) de los años 2005, 2009 y 2011, y ante la limitación del recurso agua, no se considera la posibilidad de que aumente la superficie de cultivo, ni que en ausencia del proyecto se realicen prácticas de mejora de gestión sostenible de tierras agrarias, ni se prevé que aumenten las emisiones al estar en un entorno con alto nivel de protección. En gestión de tierras agrícolas se asume que el escenario de línea base permanece como en la actualidad. Por último, la componente del ciclo hídrico, se simplifica en ausencia de gestión de careos, a partir de la observación de acequias de careo en desuso y con necesidades de mantenimiento, tras visitas de campo. En resumen, el escenario de línea base es: pinar de repoblación que se someterá a claras del 40% según el proyecto de ordenación, parcelas de cultivo que continuarán con las mismas técnicas que hasta ahora y no se considera el manejo del agua mediante gestión de careos.

El escenario del proyecto corresponde a actuaciones a partir del primer año de ejecución de claras al 20%, aplicación de gestión sostenible de tierras agrícolas con diferentes técnicas como incorporación de cubiertas vegetales, compostaje y gestión de estiércoles, y realización de careos.

Cálculo de carbono ex ante: Para la cuantificación del carbono fijado en biomasa de pinar se aplica un modelo de crecimiento de biomasa basado en el propuesto por Guzmán et al (2012) para *Pinus sylvestris*. El modelo considera la ecuación que relaciona la biomasa total por pie BT (kg) con su diámetro normal d (cm). El diámetro se modela en función de la altura (H), densidad de pies (N) e índice de competencia (IC), y la altura en función de la edad (E) y del índice de sitio (IS), tal y como se refleja en las siguientes ecuaciones:

$$B_T = 0.0843927 d^{2.41194}$$

$$\ln d = 1,7441 + 0,8306 \ln H - 0,1056 \ln N - 0,000723 IC$$

$$\ln H = -4,0619 + 1,0176 \ln E + 1,0329 \ln IS$$

El índice de sitio promedio de la zona del proyecto es de 13,93 m (CMAOT, 2015). Como se dispone de información de extracciones de fustes realizadas en los años 2010, 2011 y 2012 por tratamientos silvícolas, se incorporan al modelo. Para el cálculo de estas salidas de carbono del monte se ha aplicado un factor de conversión fuste-biomasa total a partir del estudio de Guzmán et al (2012) en los cálculos que se incluyen para las coníferas de Sierra Nevada según los modelos de Ruiz-Peinado et al (2011) tomando para *Pinus sylvestris* el valor medio de biomasa de fustes (20,99 t ha⁻¹) y los valores medios de biomasa de copas con ramas y acículas (16,1 t ha⁻¹). A partir de ellos se ha calculado la biomasa en copa extraída para cada año, se ha sumado al fuste y se han transformado a carbono, obteniéndose para cada año 226,8, 1.790,5 y 5.861 tCO₂ respectivamente que se incluyen en el modelo. Este modelo se emplea en los dos escenarios (línea base y proyecto) con las densidades y superficies que corresponden a cada uno. El matorral también fija CO₂ en su biomasa, que se contabiliza a partir de los incrementos anuales de biomasa aérea de matorral (en materia seca) de 1,5 tms ha⁻¹año⁻¹ según Agudo et al (2007) y de incremento anual de biomasa total de matorral de 5,7 tms ha⁻¹año⁻¹, tras aplicar una relación raíz/aérea de 2,8 considerando un factor de absorción para el matorral 2,85 tCha⁻¹año⁻¹.

Para la cuantificación del carbono orgánico en suelo (SOC), en la línea base se considera una tasa de fijación de carbono en suelo en los pinares es de 0,65 tC ha⁻¹ año⁻¹ a partir de valor promedio de estudios de Muñoz-Rojas et al. (2012) y Charro et al. (2008), que acumula desde el año de la plantación y que es constante en todos los cantones que conforman la masa de pinar (1.931,8 ha). La tasa anual de fijación de SOC por matorral de 1,27 tC ha⁻¹ año⁻¹ se toma del estudio de Loayza (2012) y se aplica a la superficie del 20% puesta en luz (772,72 ha) tras las claras del proyecto. La mejora en fijación de SOC vendría motivada por la introducción de matorral autóctono en los espacios aclarados a partir del año de la intervención silvícola, supuesta para el año 1 de proyecto. Para el

cálculo del SOC por gestión sostenible de las tierras agrícolas se han identificado las superficies de cultivo en la cuenca mediante digitalización de parcelas apoyado en imágenes de satélite SPOT en verano, de modo que se identificaron 260 ha de parcelas de regadío (se consideran las de mayor actividad agrícola). El incremento de SOC se realiza aplicando factores que Lal (2004) calcula para la aplicación de prácticas recomendadas de gestión de suelos agrícolas (entre 0,05 y 1 tC ha⁻¹ año⁻¹). Adoptando un valor conservador medio de 0,275 tCha⁻¹año⁻¹ se obtiene un SOC por prácticas SALM de 71,5 t C año⁻¹.

Los beneficios hídricos cuantifican la infiltración derivada de careos en la principal acequia de careo (Acequia del Espino en 1,57 hm³año⁻¹ (Martos-Rosillo et al, 2015), a partir de los datos registrados en sensores de nivel instalados en la acequia y de campañas de aforos. Estas cantidades están en consonancia con la modelización HBV y su comparación con los datos observados de caudales en la salida de la cuenca. Como se indicó anteriormente, se considera que la línea base de beneficios hídricos es cero por considerar que no se realizan careos. En definitiva, al tratarse de un proyecto de gran escala, con más de 1,3 10⁶ m³, se aplica la expresión 100 m³= 1CBH, y por tanto, los beneficios hídricos son 15.700 CBH. El proyecto se representa (Figura 3) con doble eje de ordenadas para los beneficios (tCO₂ ; CBH)

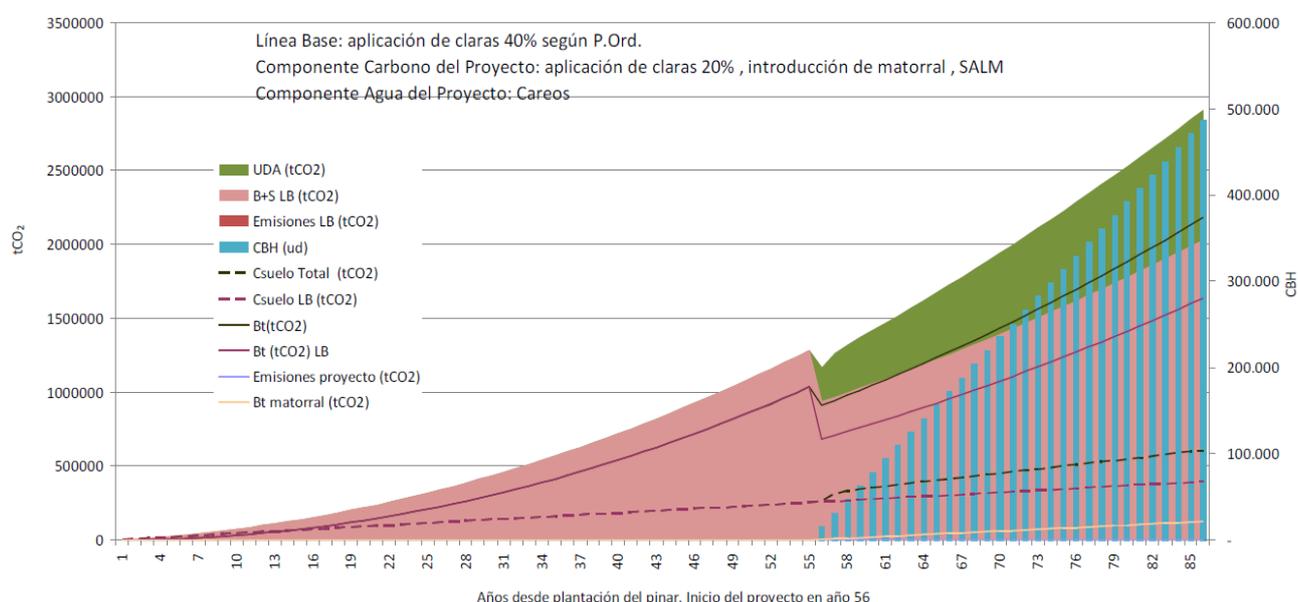


Figura 3: Evolución del proyecto y comparación con Línea Base

En el plan de monitoreo se verificarán las absorciones de la biomasa de pinar, del matorral, los incrementos de SOC fruto de la incorporación del matorral y de las prácticas de gestión sostenible en las parcelas agrícolas y los beneficios hídricos.

Para realizar el análisis económico, el proyecto de ordenación (CAPMA, 2013) estima los costes de las claras del 40% en 961.090 €, por lo que se asume que se reducirían a la mitad en el caso del 20% (480.545 €) y que se tratará de un gasto puntual el primer año del proyecto. Los costes de mantenimiento de acequias, contratación de acequeros, conservación de bancales y jornadas formativas se estiman en 60.000 €/año⁻¹. The Gold Standard (2014) estima unos precios de mercado de cada certificado de beneficios hídricos para el año 2016 entre 6,2 y 8,9 €. Se asume 6,2 € CBH⁻¹ (enfoque conservador). Se comprueba que los costes del proyecto, son superados por los CBH en el año 11 desde la ejecución (Figura 4). Esto demuestra la importancia que representa la diversificación de outputs ambientales en la gestión de estos proyectos, pudiendo llegar a ser autónomos en caso de no poder contar con suficientes créditos de carbono o suponer una garantía ante episodios no deseados como grandes incendios u otras causas que movilicen gran parte del stock de carbono. El

caso de estudio genera muchos créditos de carbono (absorciones netas de CO₂) fruto de las emisiones evitadas por reducir las claras del 40 al 20%, principalmente de forma inmediata, algo característico de proyectos dentro de metodologías VM0010 (VCS, 2010-2014). La combinación de beneficios ambientales (carbono y agua) en un mismo proyecto puede tener importancia en la viabilidad del proyecto, especialmente en caso de pequeña superficie de actuación forestal.

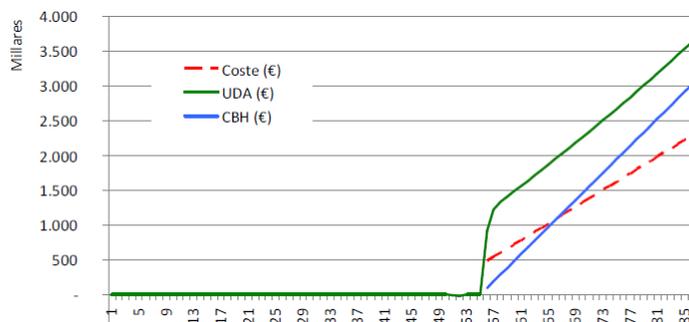


Figura 4: Beneficios y costes del proyecto (se inicia el año 56 desde la plantación)

6. Conclusiones

La puesta en marcha de iniciativas que se dirijan a optimizar la generación de beneficios hídricos y de fijación de carbono es una vía muy sugerente para atraer inversión privada; así, involucrar a entidades gestoras de estándares voluntarios de carbono mejoraría la difusión de este tipo de proyectos hacia compradores de beneficios ambientales.

La unidad territorial de cuenca se considera la opción más interesante para la aplicación de proyectos de gestión de agua y carbono (GAC) en cuencas de cabecera puesto que tiene en consideración flujos de carbono que no se incluyen en otro tipo de unidades territoriales, como son las exportaciones de carbono de la cuenca, fruto de la escorrentía (especialmente en avenidas).

Combinar actividades que generen beneficios hídricos en proyectos con pequeño potencial de generación de créditos de carbono (por pequeña superficie por ejemplo) aporta un interesante complemento que puede llegar a ser clave en la viabilidad económica del proyecto.

La práctica de careos, una de las múltiples *medidas naturales de retención de agua* de este tipo de proyectos, tiene beneficios en fijación de carbono, puesto que limita el transporte de carbono orgánico, tanto en su fracción disuelta como en sedimentos, al exterior de la cuenca, y lo dirige y deposita en las zonas de infiltración (simas).

Las cuencas de cabecera sin presas de regulación en la región mediterránea presentan alta vulnerabilidad ante el impacto del cambio climático lo que justificaría acometer proyectos GAC, como medidas de gestión adaptativa. Las cuencas de Sierra Nevada son un claro ejemplo.

Entidades empresariales con implicaciones en responsabilidad social corporativa tienen en los proyectos GAC una excelente oportunidad en la que dirigir partidas económicas para la mejora del medio ambiente, obteniendo certificados ambientales amparados por estándares reconocidos. El partenariado público privado encaja perfectamente en los proyectos GAC, complementando las inversiones de la Administración.

7. Agradecimientos

Este artículo es un resumen del trabajo fin de máster de Eduardo Navarrete Mazariegos de la primera edición del Máster Universitario de Evaluación y Manejo de Carbono en Ecosistemas impartido en la Universidad Pablo de Olavide (Sevilla) durante el curso 2014-2015.

8. Bibliografía

Agudo, R.; Muñoz, M.; del Pino, O; 2007. 1er Inventario de sumideros de CO₂ en Andalucía. Consejería de Medio Ambiente.

AWS; 2014. AWS International Water Stewardship Standard. www.allianceforwaterstewardship.org

CAPMA; 2013. Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente. Proy. Ordenación de los montes públicos de La Alpujarra (Granada). Expte:187/2008/M/OO(Lote B). Memoria. Junio 2013.

Charro, E.; Hernández, S.; Martín, J.; Moyano, A.; Ruiz, N.; 2008. Estimación del secuestro de carbono en suelos bajo masas forestales de *P. halepensis* en Castilla y León (España). Cuad. Soc. Esp. Cienc. For. 25: 125-130

CMAOT; 2015. Visualizador de Biomasa Forestal de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. J.Andalucía. www.juntadeandalucia.es/medioambiente/bioforan/index.html.

Guzmán, J.R.; Venegas, J.; Seseña, A.; Sillero, M.L.; Rodríguez, J.A.; 2012. Biomasa Forestal en Andalucía. 1. Modelo de existencias, crecimiento y producción. Coníferas. Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

IPCC; 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Lal, R (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* 123, 1–22.

Loayza, V. (2012) Fraccionamiento químico del carbono orgánico en suelos no carbonatados de la alpujarra granadina. Trabajo Fin de Máster de Conservación, Gestión y Restauración de la Biodiversidad. Universidad de Granada

Martos-Rosillo, S., González, A., Rodríguez, F., Marín, C., Guardiola, C., Durán, J., Fernández, L., Navarrete, E., López, M, Fernández, M., Rodríguez M., Bruque, M., Ruiz, A., Pedrera, A. (2015) ¿Tiene interés hidrológico preservar las acequias de careo de Sierra Nevada? El caso de la acequia de careo del Espino (río Bérchules, Granada). SIAGA 2015.

Muñoz-Rojas, M., Jordán, A., Zavala, M., De Larosa, D., Abd-Elmabod, S.K., Anaya-Romero, M. (2012) Impact of land use and land cover changes on organic carbon stocks in mediterranean soils (1956-2007). *Land Degradation and Development*.

Ruiz-Peinado, R., Río, M, y Montero, G. (2011). New models for estimating the carbon sink capacity of Spanish softwood species. *Forest Systems*, 20(1), 176-188.

Seibert, J., (2005), HBV light version 2, User's Manual. Uppsala University, Institute of Earth Sciences, Department of Hydrology, Uppsala, Sweden.

The Gold Standard (2014) Water Benefit Standard. Requirements (beta). 42 pp <http://www.goldstandard.org/resources/water-requirements>

United Nations (2012). World Water Development Report. Available online (April 2014): <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr>.

UNFCCC (2007) A/R Methodological tool “Combined tool to identify the baseline scenario and demonstrate additionality in A/R CDM project activities (Version 1). EB35 Report Annex 19. 13pp

VCS (2010-2014). VT0002 VM0017 VT0001 VM0003 VM0005 VM0010 VM0012 VM0026 www.v-c-s.org