

# Evaluación del secuestro de C atmosférico y beneficios ambientales del Oinez Basoa de Tafalla



Contrato OTRI 2013 020 049  
Informe Año 2

**I. Virto, P. Bescansa, A. Enrique, I. de Soto**  
**Grupo de Investigación Gestión Sostenible de Suelos**  
**ETSIA - UPNA**

## **Evaluación del secuestro de C atmosférico y beneficios ambientales del Oinez Basoa de Tafalla.**

### **INFORME AÑO 2**

#### **1. INTRODUCCIÓN y OBJETO DEL ESTUDIO**

Este segundo informe de Proyecto se centra en la evaluación los beneficios ambientales asociados a plantación del Oinez Basoa en el Monte Plano de Tafalla, especialmente en relación al suelo sobre el que se asienta. Es la continuación del primer informe anual, centrado en la evaluación de la acumulación de C orgánico en el suelo.

El Oinez Basoa de Tafalla es el segundo de una serie que cuenta ya con cinco bosques (Arbizu, Tafalla, Tutera, Zangotza y Baztán), cuya implantación tiene como objetivo principal contrarrestar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas como consecuencia de la celebración de las diferentes ediciones del Nafarroa Oinez. Según describe la propia organización de esta iniciativa ([www.oinezbasoa.com](http://www.oinezbasoa.com)), se intenta maximizar el papel de sumidero de CO<sub>2</sub> de los ecosistemas forestales. En el caso del Oinez Basoa de Tafalla, corresponde a la celebración del Nafarroa Oinez 2011 (ikastola Garcés de los Fayos de Tafalla) y Nafarroa Oinez 2012 (ikastola San Fermín de Zizur Menor).

En este contexto, el presente proyecto se encuadra dentro de los estudios destinados a cuantificar los llamados sumideros biosféricos de origen antropogénico de CO<sub>2</sub>, conformados por procesos que permiten estabilizar C de origen atmosférico en compartimentos estables de la biosfera o la litosfera. En el caso de las masas forestales, la transferencia de C ocurre a través de la fijación fotosintética y la estabilización de C orgánico de origen fotosintético en el suelo (principal reservorio de C orgánico de la biosfera). La cantidad final de C orgánico estabilizado es función de las condiciones edáficas, climáticas y de la vegetación, en cada circunstancia. Las principales conclusiones del estudio de la fijación de C atmosférico en el suelo en el Oinez Basoa de Tafalla (recogidas en el informe del Año 1), indicaron que:

- Por un lado, el suelo sobre el que se ha implantado este bosque presenta las características propias de un suelo desarrollado sobre materiales del cuaternario (terraza), y desarrollado en las condiciones climáticas de la zona en que se encuentra. Su profundidad efectiva está limitada por la existencia de un horizonte cementado a una profundidad de 20-30 cm. Los principales factores edáficos en relación a su capacidad para la estabilización de la materia orgánica, además de la profundidad, son su textura y la abundancia de carbonatos alcalinotérricos.

- Por otro lado, la aplicación del protocolo propuesto por el JRC para la cuantificación de los cambios en el C orgánico almacenado en los suelos de Europa (Stolbovoy et al., 2007) permitió observar una acumulación significativamente mayor en la parcela ocupada por este bosque, frente a la utilizada como control, correspondiente a la misma unidad de suelo bajo agricultura convencional. La parcela utilizada para comparación con el bosque mixto existente en el Monte Plano presentó cantidades mayores. Estos resultados ponen en evidencia a la vez la eficacia y el potencial del Oinez Basoa para la fijación de C fotosintético en el suelo, sin considerar el correspondiente a la vegetación permanente (leñosa).

Tal y como se describe en el anexo técnico de este Proyecto, las consecuencias de la implantación de un bosque de las características del Oinez Basoa en un suelo previamente cultivado durante décadas presenta importantes consecuencias, más allá de la ganancia en C orgánico. Estas consecuencias están en parte asociadas a la incorporación de este C orgánico, y a los propios mecanismos edáficos. **El suelo**, que es una parte esencial de todos los ecosistemas terrestres, **es un ente dinámico, cuyas propiedades evolucionan en el tiempo**. Cambios significativos en el uso del suelo, que suponen cambios en el balance de entradas y salidas de carbono y nutrientes, y en las alteraciones físicas a las que está sometido, resultan en cambios en las propiedades del suelo. Estas propiedades determinan el papel del suelo dentro de los ecosistemas. Por este motivo, tras la evaluación inicial de las características del suelo y de su potencial de secuestro de carbono (informe Año 1), para el segundo año de control, se propuso la evaluación de los cambios observables en el suelo de la parcela del Oinez Basoa, y que pueden resultar en una mejora de su funcionamiento dentro del ecosistema en que se encuentra. Esto significa realizar una evaluación de la llamada *calidad del suelo*, y de su potencial para cumplir sus funciones y servicios ecosistémicos.

La evaluación de la calidad del suelo no es sencilla, al ser éste un recurso heterogéneo en el tiempo y el espacio. El desarrollo de herramientas para esta evaluación comenzó en la década de 1990, y se ha venido desarrollando desde la actualidad desde un enfoque holístico, que intenta integrar el estudio de todas las funciones del suelo. Así, la calidad del suelo queda definida según Karlen et al. (2003) como *“la capacidad de un suelo para realizar sus funciones dentro de los límites del ecosistema en el que se encuentra”*. El estudio de la calidad del suelo en sistemas forestales y agrosistemas es de especial interés, junto con el de la calidad del agua y del aire, porque permite evaluar la calidad general del sistema en relación a su funcionalidad. La definición de las funciones que cumplen los suelos en el ecosistema ha requerido tiempo. Tóth et al. (2008) las resumen en las siguientes:

- F1: Producir o soportar la producción primaria del ecosistema.
- F2: Almacenar, filtrar y transformar el agua y otros elementos.
- F3: Albergar y ser el reservorio de genes de macro y microorganismos.
- F4: Servir de medio físico y cultural para la humanidad.
- F5: Generar materias primas.
- F6: Ser un pool de carbono y modular el ciclo de este elemento.
- F7: Ser un registro geológico y arqueológico.

Aunque podría completarse o modificarse esta lista según diferentes criterios, la realidad es que la multifuncionalidad del suelo queda en evidencia en esta y cualquier otra lista similar. En el marco del presente proyecto, se evaluaron con especial detalle en el primer año las cualidades de los suelos estudiados en relación a su función en el ciclo del C (F6). Sin embargo, el desarrollo de un bosque como el Oinez Basoa brinda una buena oportunidad para explorar los cambios en la calidad del suelo en relación a las demás funciones. Esta exploración necesita una identificación y selección previa de indicadores adecuados, que son las propiedades del suelo que mejor reflejan la capacidad del suelo para cumplir sus funciones ecosistémicas, y que varían en función del tipo de suelo, uso, tipo de clima, etc. (Imaz et al., 2010). En este contexto, **se seleccionaron las funciones F2, F3 y F4** de la lista anterior, por considerarse tres funciones esenciales en el contexto geográfico en el que se encuentra el Oinez Basoa de Tafalla.

En cuanto a los servicios ecosistémicos prestados por el suelo, este concepto, desarrollado a partir de los años 70 y sobre todo en los 80 del siglo pasado, busca evaluar el valor económico de los servicios ofrecidos por la naturaleza (Constanza & Daly, 1987). Más allá del enfoque

economicista, que ha sido objeto de crítica en la comunidad científica (Baveye, 2013), el desarrollo de este concepto ha permitido avanzar en el estudio de la calidad de los suelos, porque permite reconocer la contribución de los ecosistemas (en este caso, edáficos) al bienestar y la actividad humana (Walter et al., 2015). En el contexto de este trabajo, permite asociar las funciones del suelo del Oinez Basoa, a los servicios que este ecosistema presta a la sociedad en y con la que se encuentra. Su evaluación permite asociar la calidad del suelo con la de las comunidades de su entorno, según el espíritu de la Carta Europea del Suelo (1972), que en su artículo primero, define el suelo como *“un medio vivo y dinámico, que permite la existencia de la vida vegetal y animal. Es esencial para la vida del hombre en tanto que fuente de alimentos y de materias primas. Es un elemento fundamental de la biosfera y contribuye, con la vegetación y el clima, a regular el ciclo hidrológico y puede influenciar la calidad de las aguas”*.

Según la clasificación de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA, 2005), auspiciada por las Naciones Unidas, estos servicios se agrupan en de soporte, de provisión, de regulación y culturales. El suelo, como parte esencial de los ecosistemas terrestres, participa en la provisión de servicios en los cuatro grupos, como se detalla más adelante.

Según lo anterior, y coincidiendo además con el Año Internacional del Suelo (2015) declarado por las Naciones Unidas (<http://www.fao.org/soils-2015/es/>), los **objetivos** del informe de este segundo año, son los siguientes:

- 1- **Evaluar la estabilización de C orgánico en el suelo del Oinez Basoa** (secuestro de C), en al tercer año de implantación, tras la primera evaluación realizada el año anterior.
- 2- Evaluar los **beneficios ambientales** que el suelo del Oinez Basoa aporta a su entorno, a través de la evaluación de sus **funciones esenciales**, y de los **servicios ecosistémicos** que el cumplimiento de estas funciones le permiten prestar.

## 2. METODOLOGÍA

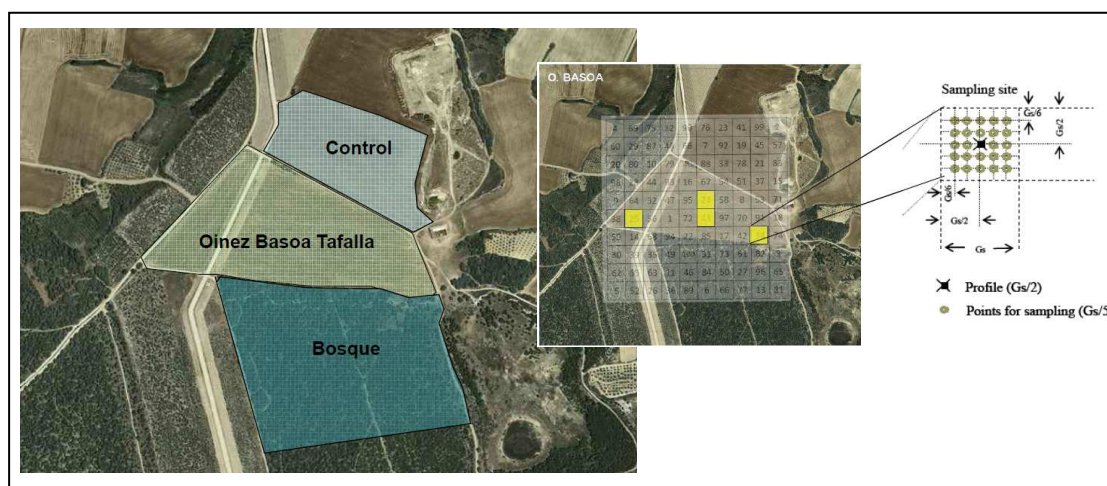
En este segundo año de control, **las comparaciones se realizaron siguiendo una aproximación del tipo *space for time* (tiempo por espacio)**, como se explicó en el informe del Año 1, para los parámetros relacionados con la calidad y funcionalidad del suelo. Esto supone aceptar que el nivel de referencia (*baseline*) del suelo del Oinez Basoa es el correspondiente al que presenta en la actualidad una parcela contigua sobre el mismo tipo de suelo, y con un uso continuado y similar al que tuvo la parcela del Oinez Basoa antes de su implantación, y que en el futuro, el Oinez Basoa alcanzará un estado similar al bosque más antiguo que se encuentra también contiguo y sobre la misma unidad de suelo. Durante el primer año de trabajo (Informe Año 1), se caracterizaron los suelos de las tres parcelas para confirmar la escasa variabilidad en los parámetros de calidad “intrínseca” (debida a la génesis del suelo), y por lo tanto, la validez de esta comparación.

Para la cuantificación de C orgánico, al haberse realizado el estudio el año 1, se puede completar esta aproximación con una **evaluación de la evolución de cada parcela en el tiempo**, durante el intervalo de un año transcurrido entre los dos muestreos (Año 1 y Año 2).

Los **muestreos realizados** para esta segunda parte del Proyecto utilizaron la misma metodología que en el primer año. Se utilizaron las cuadrículas generadas a partir del protocolo de Stolvoboy et al. (2007) para tomar muestras en las tres parcelas (control cultivado, O. Basoa y bosque). Los detalles de este protocolo se recogen en el informe del Año 1. La Figura 1 muestra la localización de las tres parcelas utilizadas y un ejemplo de aplicación de la cuadrícula del protocolo de muestreo. En cada una de las retículas de la cuadrícula, se

tomaron muestras alteradas compuestas para el análisis del C orgánico total y el de la fracción más lábil (según se describe en el informe del Año 1), y para el estudio de los indicadores de calidad del suelo.

El manejo de las muestras de suelo fue diferente en función de los controles realizados. Una parte de la muestra se secó al aire y se tamizó a 2 mm para el análisis de C orgánico total y lábil, y otra parte se tamizó en fresco a 4 mm, asegurándose que la totalidad de la muestra pasara el tamiz, para la determinación de los indicadores de calidad del suelo. Parte de esta muestra se mantuvo en frío (4 °C) para los análisis de parámetros biológicos, y parte se secó al aire para el estudio de los parámetros físicos (ver más abajo).



**Figura 1.** Localización del Oinez Basoa de Tafalla, y de las dos parcelas de control (izda.). Detalle de implementación del protocolo de muestreo a partir de la cuadrícula aleatorizada en la parcela correspondiente al Oinez Basoa. Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes de SITNA.

## 2.1. Contabilización de C atmosférico

Los protocolos utilizados para la determinación del stock de C orgánico total y lábil fueron los referidos en el informe del Año 1. Estos protocolos incluyen la corrección por pedregosidad, que es abundante en el suelo de las tres parcelas, y que se considera también para el cálculo de los nuevos parámetros estudiados este año.

## 2.3. Evaluación de la calidad del suelo

Un paso esencial en la evaluación de la calidad y funcionalidad del suelo, es la elección de indicadores adecuados. Siendo el suelo un medio altamente heterogéneo, dependiente y a la vez condicionador de las condiciones ambientales del lugar en el que se encuentra, es necesario realizar una búsqueda de indicadores adaptada a cada contexto (tipo y uso del suelo) para una evaluación equilibrada de estos indicadores (Andrews & Carroll, 2001). Experiencias previas en Navarra (e.g. Fernández-Ugalde et al., 2009; Imaz et al., 2010; Virto et al., 2012) han permitido la identificación de indicadores adecuados para la evaluación de las principales funciones del suelo en la zona del O. Basoa. La Figura 2 muestra la relación entre las funciones del suelo evaluadas en este trabajo, las propiedades del suelo que las condicionan en mayor medida, los indicadores seleccionados y los servicios ecosistémicos del suelo asociados a cada una de ellas en el marco de este trabajo.

Funciones del suelo	Factores limitantes	Indicador seleccionado	Servicios ecosistémicos del suelo
<b>F2: Almacenar, filtrar y transformar el agua y otros elementos.</b>	Textura, estructura, mineralogía, contenido en materia orgánica, profundidad, densidad, pedregosidad, condiciones redox, pH, CIC.	Capacidad de retención de agua disponible para las plantas (CRAD).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>De soporte:</b> Vida de los ecosistemas terrestres, formación del suelo, productividad primaria.</li> <li>- <b>De regulación:</b> Reciclaje de nutrientes, del ciclo del agua, del ciclo del C, de la calidad del aire, del clima (GEI), de la erosión.</li> <li>- <b>De provisión:</b> Alimentos, fibras, energía, materiales, recursos genéticos, agua.</li> <li>- <b>Culturales:</b> Estéticos, educativos, recreativos.</li> </ul>
<b>F3: Albergar y ser el reservorio de genes de macro y microorganismos.</b>	Contenido en materia orgánica, capacidad de retención de agua, densidad, pH, condiciones redox, disponibilidad de nutrientes.	Abundancia, actividad y diversidad funcional de los microorganismos del suelo.	
<b>F4: Servir de medio físico y cultural para la humanidad.</b>	Textura, propiedades mecánicas (densidad, compactabilidad, etc), erosionabilidad, productividad.	Erosionabilidad y estabilidad de la estructura al agua (WSA).	

**Figura 2.** Funciones del suelo evaluadas, factores limitantes, indicadores y relación con los servicios ecosistémicos del suelo. Fuente: Elaboración propia a partir de Tòth et al. (2008) y MEA (2005).

La metodología utilizada para la evaluación de los indicadores seleccionados es la siguiente:

**- Evaluación de la capacidad del suelo para almacenar y filtrar agua (F2):**

Las características del suelo en relación al flujo y almacenamiento del agua dependen de sus propiedades intrínsecas, y también de algunas propiedades dinámicas que dependen entre otras cosas del manejo. La supresión del laboreo y el incremento de la actividad biológica y de la materia orgánica pueden afectar positivamente estas últimas.

Se propone evaluar esta función a partir del **indicador CRAD** (capacidad de retención de agua disponible para las plantas). Para ello, las muestras de suelo pasadas por un tamiz de 4 mm a la humedad del campo, se saturaron con agua destilada, y se sometieron a presiones diferentes sobre placas porosas (placas de Richards, Figura 3) en un equipo de presión (Soil Moisture Equipment Corp., Santa Barbara, CA, USA). Se determinó el contenido de agua correspondiente a la succión realizada por las plantas para extraer el agua del suelo en la llamada capacidad de campo (máximo contenido posible de agua tras el drenaje natural, -33 KPa) y en el punto de marchitez permanente (correspondiente al contenido de agua por debajo del cual las plantas se marchitan y no pueden recuperarse en la humectación, -1500 KPa). A partir de estos datos se determinó la CRAD volumétrica de la tierra fina utilizando los valores ya conocidos de densidad aparente y de pedregosidad.

**- Evaluación de la capacidad del suelo como hábitat (F3):**

El desarrollo de la vida en el suelo depende en gran medida de algunas de las propiedades dinámicas que se estudiaron el primer año (porosidad, materia orgánica acumulada, etc). La supresión del laboreo y el desarrollo de una vegetación espontánea y la reforestación generalmente inducen a un aumento de la diversidad biológica del suelo.

Se propone evaluar esta función a partir de tres indicadores que permiten determinar la **cantidad** (C en la biomasa microbiana), la **actividad** potencial de esta biomasa (respiración basal (RB) a 20 °C), y la **diversidad funcional** de estas comunidades (perfil fisiológico de las comunidades microbianas del suelo). El contenido de C acumulado en la biomasa microbiana (**CBM**) se analizó por el método de fumigación-extracción (Vance, 1987), sobre las muestras frescas almacenadas a 4 °C, poco tiempo después de su recogida. Brevemente, el método se basa en analizar el contenido de C orgánico por espectrofotometría en submuestras gemelas, una en condiciones normales, y la segunda tras una fumigación con cloroformo durante 72 h, que genera la lisis de las células microbianas. La diferencia entre el contenido en C entre ambas muestras sería el C contenido en estas células, y por tanto asimilable al CBM del suelo, tras las correcciones necesarias para ajustar el valor de C extraído al de la biomasa microbiana.

La **respiración basal** se midió mediante el análisis de CO<sub>2</sub> desprendido durante la incubación de muestras frescas humedecidas a la capacidad de campo, durante 24 horas a 20 °C en oscuridad y en



condiciones aeróbicas, tras una pre-incubación de seis días (Creamer et al., 2014). El valor obtenido permite calcular el coeficiente metabólico o respiración específica ( $q\text{CO}_2$ ), como la relación entre la tasa de respiración y la biomasa microbiana. Este parámetro permite evaluar la eficacia de la biomasa microbiana en la biosíntesis.



**Figura 3.** Arriba: Preparación de las muestras de suelo en placas de Richards para el análisis de la capacidad de retención de agua, y ollas de presión. Centro: EcoPlates™ de BioLog® para el estudio de la diversidad funcional, pocas horas después de la siembra (izda.), y tras cuatro días de incubación (dcha.). Abajo: Incubaciones de las muestras para determinar los parámetros de respiración (izda.) y equipamiento utilizado para el análisis de la estabilidad de la estructura (dcha.)

Finalmente, la **diversidad funcional** se estudió mediante el uso de EcoPlates™ de Biolog, Inc. Estas placas permiten estimar la diversidad metabólico-funcional de las comunidades microbianas del suelo a partir de la evaluación de su capacidad para utilizar diferentes sustratos de C (Degens et al., 2000). Cada una de las placas consta de 31 pocillos por triplicado con distintos sustratos de carbono. Estos sustratos son de diferente naturaleza y origen, y concentración de C similar. En cada uno de los pocillos hay una cantidad determinada de tetrazolio que, en contacto con el  $\text{CO}_2$  de la respiración de los microorganismos se reduce, dando lugar a una coloración morada cuya intensidad depende de la concentración de  $\text{CO}_2$  existente (Figura 3). El principio básico de la técnica es la evaluación de la diversidad funcional de una población microbiana a partir del número sustratos que es capaz de

degradar. Para realizar esta evaluación, sobre las muestras de suelo fresco se realizó una extracción mediante agitación con agua Mili-Q durante 1h. Tras un tiempo de decantación, se sembraron los sustratos de las Ecoplacas alícuotas de este extracto. Estas placas fueron incubadas a 30 °C durante una semana y la medición de color de cada pocillo (correspondiente al CO<sub>2</sub> generado en la degradación de los sustratos correspondientes), se realizó cada 12 h aproximadamente. Los resultados obtenidos permiten observar, para cada suelo, las curvas de desarrollo de la actividad biológica para cada uno de los sustratos testados, y para el conjunto de sustratos (*average well color development*, **AWCD**). A partir de esta observación, se pueden establecer indicadores cuantitativos, como el número de sustratos utilizados al cabo de un tiempo dado (**NSU**). En este estudio, se consideró para este cálculo la absorbancia media de cada tratamiento en la fase de crecimiento exponencial de la comunidad microbiana, que se determinó como el tiempo donde la curva AWCD presenta la máxima pendiente (Campbell et al., 2003).

La técnica, si bien no considera toda la comunidad biológica del suelo al realizarse a partir de extractos acuosos, sirve como aproximación a la diversidad funcional del suelo en cada caso, especialmente cuando un suelo se compara consigo mismo bajo diferentes manejos.

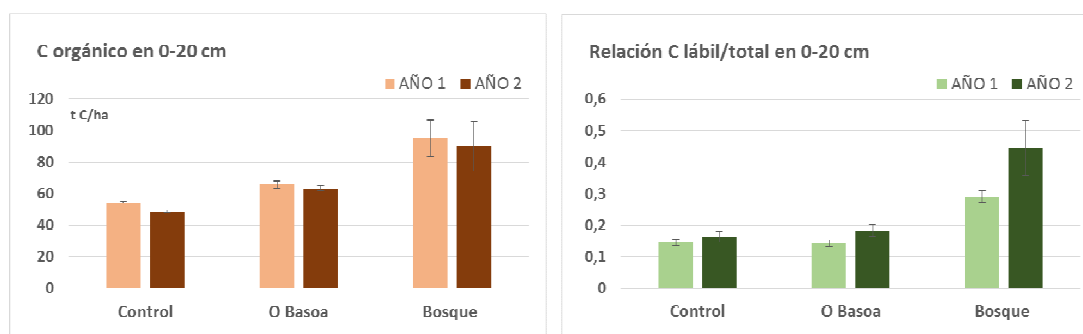
#### - Evaluación del estado del suelo como medio físico (F4):

Un aspecto importante en suelos de zonas áridas y semiáridas es su pérdida de funcionalidad por la pérdida de su calidad física (estructura). Esto está relacionado tanto con su erosionabilidad como con su resistencia al encostramiento. Esta función se evaluó a partir de la estabilidad de la estructura al agua, que es un indicador sobre la resistencia a la erosión y al encostramiento. Para medir esta estabilidad, se utilizaron muestras tamizadas de agregados de entre 2 y 4 mm, y secas al aire. Las muestras se colocaron sobre tamices de 1 mm y 250 µm de luz, se humectaron bruscamente y se tamizaron durante 10 minutos en agua con un movimiento oscilatorio del tamiz con una frecuencia de 30 veces por minuto. Transcurrido este tiempo, el material retenido en el tamiz (resistente a la acción del agua), se secó hasta peso constante a 105 °C y se pesó. Posteriormente, se separaron las arenas >250 µm de esta muestra, para determinar la masa resistente a la acción del agua formada por partículas agregadas mayores que el tamaño del tamiz. La proporción de esta masa es mayor cuánto más estable es la estructura, y constituye los llamados agregados estables al agua (**WSA** en sus siglas en inglés).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Contabilización anual

La figura 4 recoge los datos de almacenamiento de C orgánico en las tres parcelas consideradas, y su evolución con respecto al año anterior (Año 1).



**Figura 4.** Almacenamiento de C orgánico en las tres parcelas estudiadas, expresado en t/ha en la tierra fina tras la corrección por pedregosidad, durante los dos años de estudio (izda.). Calidad del C orgánico almacenado en la fracción lábil en relación al total (dcha.). Las barras representan el error estándar (n=3-4).



El proceso utilizado para los cálculos de la cantidad de C orgánico almacenado en ambas fracciones es el mismo que en el primer año de control, que tiene en consideración las concentraciones, profundidades y pedregosidad de la tres parcelas consideradas.

Los valores de C orgánico almacenado por unidad de superficie (t/ha), fueron de  $48,6 \pm 0,75$  en la parcela control,  $63,4 \pm 1,31$  en la parcela del Oinez Basoa, y de  $90,0 \pm 15,6$  en el bosque ya establecido. Estos valores son muy cercanos a los observados el año anterior, habiéndose observado una diferencia significativa únicamente en la parcela control cultivada, con valores inferiores a los del primer año de estudio. Se trata de valores dentro del rango de lo observado en suelos de la región (ver informe del Año 1). Como comparación, una revisión aparecida recientemente (Rodríguez Martín et al., 2016) da valores medios de 98,6 t/ha para los bosques mixtos, de 45,3 para los cultivos anuales, y de 62,3 t/ha para las zonas cubiertas de arbustos en España. Estos valores están por lo tanto en sintonía con los observados en las tres parcelas, y remarcan el alto potencial del Oinez Basoa para continuar almacenando C atmosférico según su desarrollo avanza hacia el estado de bosque adulto.

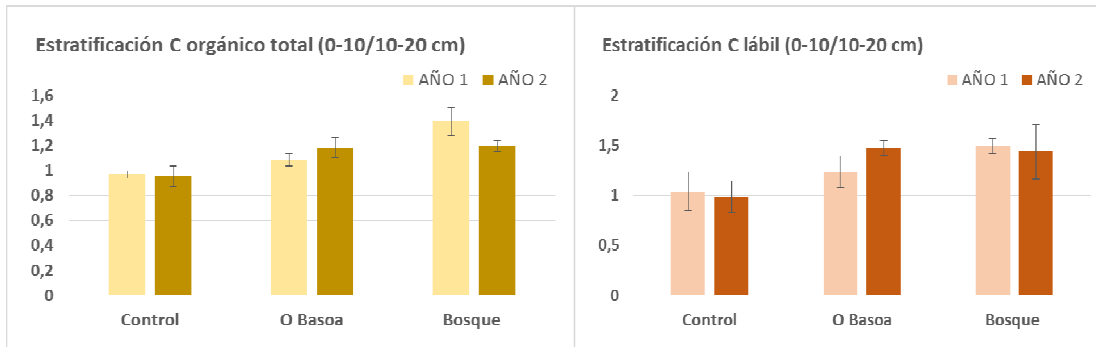
La variabilidad observada, también dentro del rango del año anterior fue mayor en la zona de bosque establecido, como corresponde a la heterogeneidad propia de este tipo de ecosistemas. Estos datos **corroboran**, por un lado, **la estabilización de C atmosférico en el suelo del Oinez Basoa ya observada el año anterior, lo que confirma su eficacia en el secuestro de C atmosférico**. Por otro lado, las escasas diferencias observadas entre el estudio del año anterior y este estudio, confirman que los **procesos** de este tipo son **lentos**.

En relación al secuestro de C atmosférico, la diferencia observada este segundo año entre el suelo del Oinez Basoa y el cultivado, con la precaución que requiere el uso de una aproximación “espacio por tiempo” como la de este trabajo, es de  $14,7 \pm 2,06$  t de C orgánico por hectárea. Considerando la superficie del Oinez Basoa ( $82.769 \text{ m}^2$ ) y la equivalencia en  $\text{CO}_2$ , esto correspondería a  **$446,1 \pm 62,5$  t de  $\text{CO}_2$  equivalente acumulado en el suelo del Oinez Basoa frente al control**.

Si se considera que el cambio de uso ocurrió aproximadamente hace 3 años (2012), la diferencia observada correspondería a un **almacenamiento del orden de  $4,9 \pm 0,69$  toneladas de C orgánico por ha y año** en este tiempo. Este valor es elevado en comparación a los observados en el largo plazo como consecuencia de la conversión de tierras de labor a diferentes manejos alternativos que permiten estabilizar C atmosférico (ADEME, 2014). Según un estudio realizado en Francia, las tasas anuales oscilan entre 0,16 t C/ha\*año para las cubiertas vegetales en el viñedo a 1,35 t C/ha\*año para las técnicas de agroforestación. Es importante señalar en este sentido, que estas técnicas mantienen en producción los suelos considerados, y se centran en su efecto en el largo plazo (más de 10 años). Según un informe reciente elaborado por la Agencia francesa de Medio Ambiente, una ganancia de un 4‰ anual en el contenido de C orgánico de todos los suelos del mundo serviría para neutralizar las emisiones antrópicas de gases de efecto invernadero ( $8,9 \cdot 10^9$  t de C/año). Este objetivo, inalcanzable en la práctica si debiera hacerse en toda la superficie emergida, sirve sin embargo como referencia para las tasas de secuestro de C deseables a nivel global. Considerando un valor medio de 1,5% de C orgánico, y una densidad de  $1,3 \text{ g/cm}^3$ , esto significaría un secuestro de  $0,23 \text{ t C/ha*año}$ , de manera constante y sobre todos los suelos del planeta.

La **proporción de C orgánico lábil respecto al total** (Figura 4., dcha.) es un **indicador de calidad de la materia orgánica acumulada** (ver informe Año 1). En el segundo año de estudio fue, como es esperable, más alta en el bosque que en las otras dos parcelas. Además, se observó una **tendencia de este indicador a aumentar en el suelo del Oinez Basoa con respecto al año anterior** (de  $14,4 \pm 1,31$  % a  $18,3 \pm 1,89$ ), **acercándose a los valores observados en el bosque maduro**. Esto significa que el C orgánico acumulado en el suelo del Oinez Basoa, lo está en

formas más activas en el suelo. En relación al funcionamiento del suelo y de los servicios ecosistémicos que puede prestar, esto significa un **mayor potencial para el desarrollo de la estructura y un mayor potencial para la actividad biológica** (ver figura 2), con respecto a la situación del suelo “de control” en la parcela cultivada. Esta tendencia se vio confirmada al observar la estratificación de la materia orgánica total y lábil en las tres parcelas (Figura 5). Mientras que en el suelo de la parcela control se observaron valores cercanos a 1 en los dos casos (no hay estratificación real), en el Oinez Basoa se observó una tendencia a mostrar valores más altos que el control y más cercanos a los del bosque, con un aumento respecto al año anterior. **La tendencia del suelo del Oinez Basoa a alejarse del estado del suelo cultivado para aproximarse al del bosque adulto se confirma.**



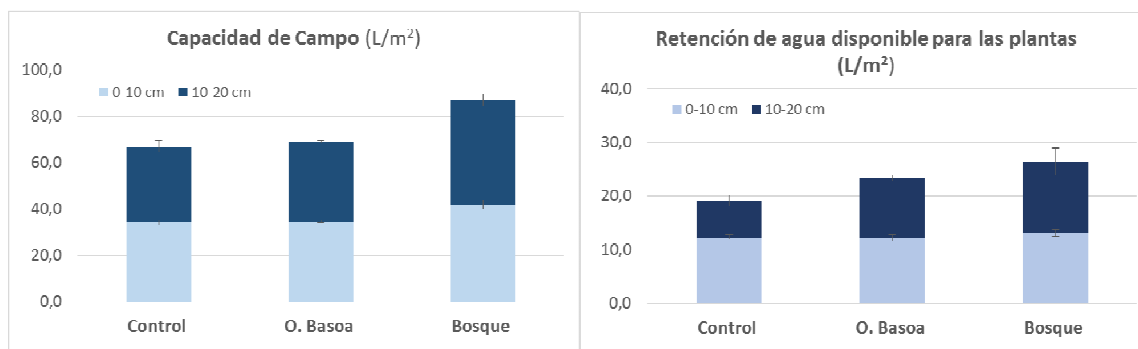
**Figura 5.** Estratificación del C orgánico total (izda.) y lábil (dcha.) durante los dos años de estudio. Las barras representan el error estándar (n=3-4).

### 3.2. Calidad del suelo y servicios ecosistémicos

La **evaluación de la calidad del suelo** y los **servicios ecosistémicos**, más allá de lo comentado más arriba sobre las variaciones en el contenido y calidad de la materia orgánica, se evaluaron a partir de los indicadores correspondientes a las tres funciones básicas del suelo explicadas en la introducción (ciclo del agua, hábitat y reservorio de biodiversidad, estabilización del medio físico).

#### - **Evaluación de la capacidad del suelo para almacenar y filtrar agua (F2)**

La figura 6 muestra los datos correspondientes a la capacidad correspondiente a la capacidad de campo (máxima capacidad del suelo para retener agua), y del indicador CRAD (capacidad para retener agua disponible para las plantas, en L/m<sup>2</sup>), para el suelo de las tres parcelas consideradas.



**Figura 6.** Almacenamiento de agua en el suelo a capacidad de campo (izda.) y en cantidad de agua disponible para las plantas (CRAD, dcha.). Datos correspondientes a la tierra fina. Las barras representan el error estándar (n=3-4).

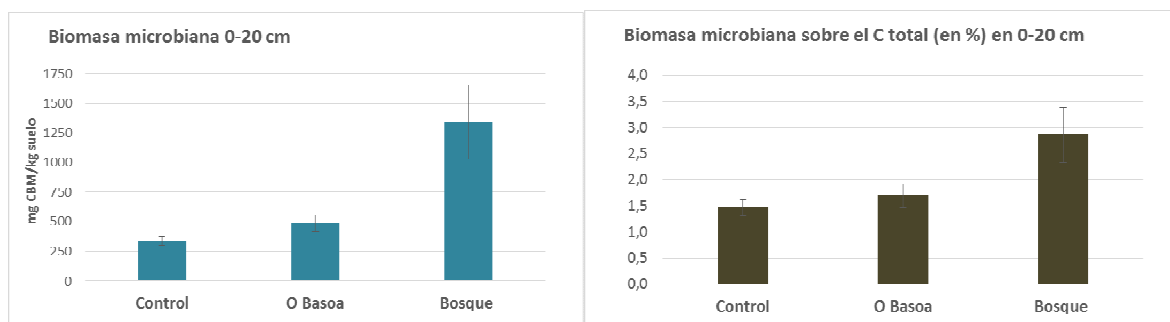
En ambas figuras puede observarse que existieron diferencias significativas en ambos parámetros entre las tres parcelas. Estas diferencias fueron debidas a **una mayor capacidad de almacenamiento de agua útil en el suelo** (sin contar la pedregosidad) **del Oínez Basoa que en el control cultivado** ( $23,4 \pm 0,90$  L/m<sup>2</sup> frente a  $19,2 \pm 0,69$  L/m<sup>2</sup>, respectivamente). Los valores fueron mayores para el suelo de bosque, aunque con una mayor variabilidad ( $26,4 \pm 3,17$  L/m<sup>2</sup>), lo que resultó en ausencia de diferencias significativas en comparación con el suelo del Oínez Basoa. En términos prácticos, estas diferencias reflejan un **acercamiento del suelo del Oínez Basoa al del bosque maduro en términos de regulación del ciclo del agua**. La diferencia observada entre el Oínez Basoa y la parcela de cultivo fue de  $4,2$  L/m<sup>2</sup> de media, que corresponde a la observada en un suelo de cultivo cercano tras la supresión del laboreo ( $16,3$  L/m<sup>2</sup> frente a  $20,4$  L/m<sup>2</sup>; Bescansa et al., 2006). En el caso de suelos agrícolas, esta ganancia en capacidad de retener agua, y de mantenerla a disposición de las plantas y los organismos del suelo, resulta en zonas semiáridas como la que se encuentra el Oínez Basoa, en un mejor desarrollo de los cultivos, y por lo tanto en una **mayor productividad primaria del sistema**. Además, una mayor capacidad de retención de agua resulta en una **menor escorrentía y/o encharcamiento tras episodios importantes de precipitación**. Esto tiene consecuencias en el ciclo hidrológico a nivel local, que van por lo tanto más allá de la superficie del suelo.

En el caso del suelo del Oínez Basoa, los valores mayores en comparación con el suelo control cultivado pueden relacionarse con dos factores principalmente: la supresión de la perturbación regular del suelo mediante el laboreo, y la ganancia en materia orgánica, que implica un mejor desarrollo de la estructura y de la actividad biológica (ver más adelante).

### **- Evaluación de la capacidad del suelo como hábitat (F3)**

La relación entre la transformación de la matriz del suelo en términos de su composición (enriquecimiento en materia orgánica y su distribución), y de su arquitectura (cambios en la porosidad, retención de agua), tienen consecuencias en su **comportamiento como hábitat para macro, meso y microorganismos**. En relación a estos últimos, la evaluación de sus cambios en el suelo requiere considerar al menos tres aspectos: su **cantidad** (biomasa, CBM), su **actividad potencial** (respiración basal), y su **diversidad**.

El primer aspecto aparece evaluado en los datos de la figura 7. En ellas se puede ver que **la cantidad de C en la biomasa microbiana acumulada en la parcela del Oínez Basoa (tanto en términos totales como en relación al C orgánico total) presentó valores algo mayores que los observados en el suelo cultivado**, aunque aún lejos de los del bosque cultivado ( $336 \pm 38$ ,  $487 \pm 69$  y  $1340 \pm 313$  mg CBM/kg suelo en el control, Oínez Basoa y bosque maduro, respectivamente).

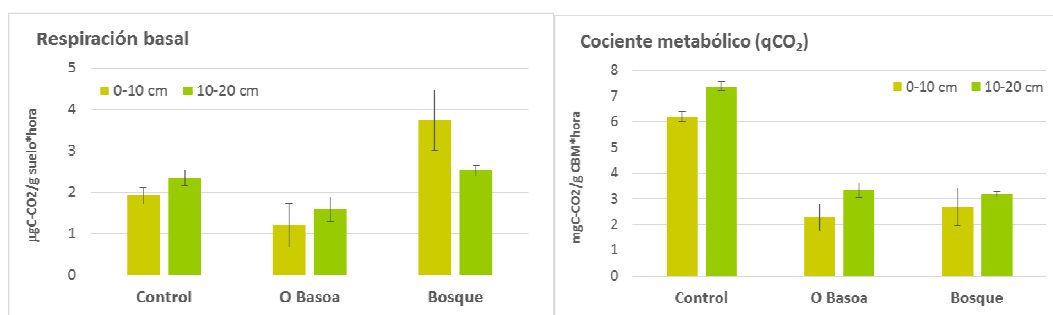


**Figura 7.** C acumulado en la biomasa microbiana (CBM, izda.) y proporción (%) con respecto al total de C orgánico almacenado. Datos correspondientes a la tierra fina. Las barras representan el error estándar (n=3-4).

Los valores observados en el suelo cultivado y el del Oinez Basoa son similares a los observados en suelos cercanos bajo diferentes condiciones de manejo (Enrique et al., 2013). En estos estudios, se observa que la tendencia a un aumento en ambos parámetros cuando los suelos cultivados cambian a usos de menor perturbación y que permiten el desarrollo natural de vegetación. Por ejemplo, un estudio en más de 100 suelos de Francia resultó en medias de 250 mg CBM/kg suelo en parcelas cultivadas, para 430 mg CBM/kg suelo en suelos de praderas (Bouthier et al., 2014).

Los microorganismos del suelo median muchos procesos que son esenciales para la productividad primaria de los ecosistemas. Estos procesos incluyen, entre otros, el **reciclado de nutrientes de las plantas, el mantenimiento de la estructura del suelo, la degradación de agroquímicos en el suelo y la producción de metabolitos activos funcionales**, y contribuyen significativamente a la prestación de los servicios ecosistémicos que proporciona el suelo (Figura 2).

La respiración basal de los tres suelos, medida en una incubación de 24 horas, y su relación con la biomasa microbiana (cociente metabólico o respiración específica), aparecen en la Figura 8.

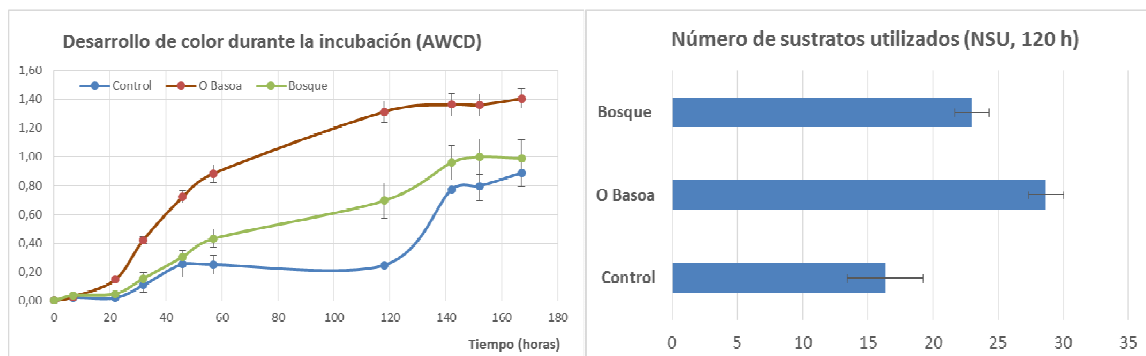


**Figura 8.** Respiración basal (tasa durante 24 h a 20 °C tras preincubación, izda.) y cociente metabólico (respiración por unidad de biomasa microbiana, en las mismas condiciones, dcha.). Las barras representan el error estándar (n=3-4).

Los valores indican una respiración en el suelo del Oinez Basoa próxima al control, e inferior a la del bosque maduro en las dos profundidades. **El cociente metabólico fue sin embargo significativamente menor en el suelo del Oinez Basoa que en la parcela de cultivo, y equivalente al del bosque.** Este indicador es especialmente útil para diferenciar la respuesta del suelo a cambios de uso, porque en general, **tiende a disminuir cuando el ecosistema madura**, y es más alto en suelos en los que las condiciones de vida para los microorganismos

son más estresantes, como en condiciones de deficiencia de nutrientes (Kandeler, 2007). En relación a la funcionalidad del suelo, significa que **el suelo del Oinez Basoa no sólo ha permitido el desarrollo de una biomasa microbiana más abundante (Figura 7), sino que está se encuentra en condiciones menos limitantes para su desarrollo que en el suelo cultivado.**

Finalmente, la biodiversidad funcional, evaluada a partir de tests de respuesta metabólica a diferentes sustratos orgánicos, ofreció los resultados que aparecen en la figura 9.



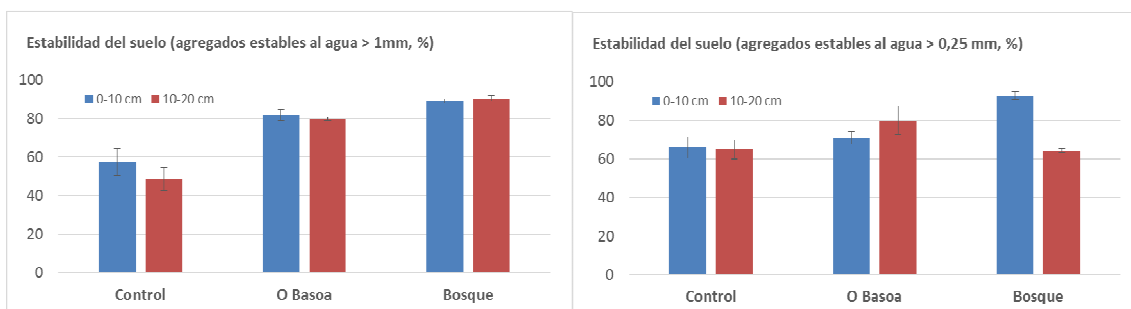
**Figura 9.** Curvas de desarrollo de color (AWCD) en las parcelas durante la incubación en EcoPlacas™ (izda.) y número de sustratos utilizados durante la fase exponencial de crecimiento (a las 120 h según gráfico de izda. (dcha.). Las barras representan el error estándar (n=3-4).

La interpretación de este tipo de análisis no es sencilla, debido a la concentración arbitraria de las fuentes de C utilizadas, que no reflejan necesariamente las presentes en el entorno natural (Preston-Mafhan et al., 2002), y porque este análisis refleja sobre todo a la sub-parte cultivable de la comunidad microbiana del suelo, que presenta crecimientos exponenciales rápidos comunes a los estrategas de tipo *r* (Kandeler, 2007). Estas técnicas son por tanto más útiles para la **comparación de comunidades entre suelos diferentes o diferentes manejos (como en el caso de este estudio)**, que para la caracterización de estas comunidades. Las curvas de desarrollo del color durante la incubación, que representan la velocidad e intensidad de metabolización de los sustratos incluidos en las EcoPlacas™ por los microorganismos, permiten concluir que esta tasa fue diferente en las tres parcelas, siendo más alta para todo el periodo en el suelo del Oinez Basoa que en el suelo cultivado, y también en el bosque maduro. Considerando la fase de crecimiento exponencial (a las 120 h de incubación según se observa en la figura), **el número de sustratos utilizados fue mayor en el suelo del O Basoa, y el bosque maduro que en el suelo cultivado.** Este indicador representa la diversidad funcional de las poblaciones del suelo, al ser un indicador cuantitativo de la variedad de sustratos que las poblaciones microbianas del suelo asiladas en este test pueden degradar en las condiciones de incubación. Por lo tanto, de este análisis puede concluirse que **las poblaciones microbianas presentes en el suelo de Oinez Basoa no son sólo más abundantes que en el suelo cultivado (considerado la situación de partida), sino también más diversas, con valores cercanos a los del suelo maduro.**

#### **- Evaluación del estado del suelo como medio físico (F4)**

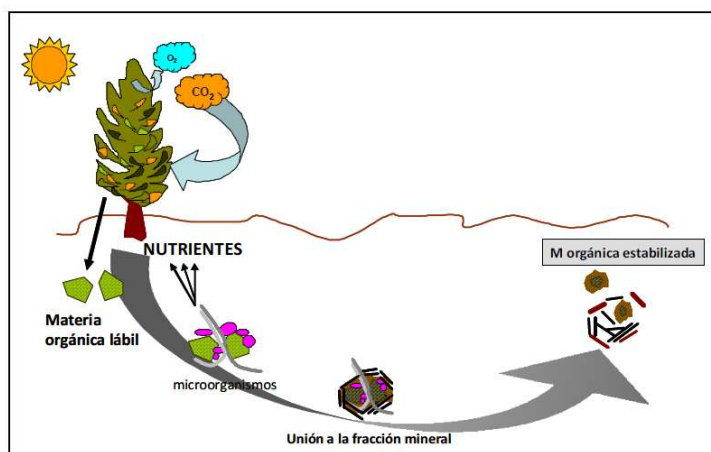
Finalmente, las modificaciones ocurridas en la arquitectura y estabilidad física del suelo de las tres parcelas, medida como proporción de agregados estables a la humectación, se representan en la figura 10.





**Figura 10.** Curvas de desarrollo de color (AWCD) en las parcelas durante la incubación en EcoPlacas™ (izda.) y número de sustratos utilizados durante la fase exponencial de crecimiento (a las 120 h según gráfico de izda. (dcha.). Las barras representan el error estándar (n=3-4).

Las dos pruebas realizadas permitieron observar que **la resistencia física del suelo de la parcela Oinez Basoa fue significativamente mayor que la observada en el suelo cultivado de control, y similar a la del suelo de bosque maduro.** Por ejemplo, el porcentaje de agregados mayores de 1 mm estables al agua fue de  $58,7 \pm 6,9$  en el suelo control, para  $81,8 \pm 2,8$  en el Oinez Basoa y  $89,3 \pm 0,9$  en el bosque, en la primera profundidad (0-10 cm). Esta estructura más estable es la expresión de la mejor condición observada en el suelo de Oinez Basoa en términos de contenido y calidad de materia orgánica, y de un mejor funcionamiento de las poblaciones microbianas (Figuras 4, 5, 7, 8 y 9). Además, está directamente relacionada con el aumento observado en términos de retención de agua (Figura 6). Esto es así porque existe una estrecha relación entre el desarrollo de la estructura del suelo y el ciclo de incorporación de la materia orgánica. En un mismo suelo, el incremento de entradas de materia orgánica, y la disminución de las extracciones, junto con la supresión de las perturbaciones anuales (lo que ocurre cuando un suelo de cultivo se transforma en una parcela de bosque) y el desarrollo de la vegetación, activan el desarrollo de este ciclo, como se representa en la figura 11 (ver también informe Año 1).



**Figura 11.** Ciclo simplificado de entrada e incorporación del C fotosintético al suelo, y su estabilización por interacción con la fracción mineral. La estructura del suelo es el resultado de esta interacción. Adaptado de C. Chenu (2003).

**Una estructura más estable significa, en estas condiciones, el desarrollo de una porosidad más alta y mejor interconectada,** y esto tiene un efecto en la transferencia y almacenamiento del agua y los gases. El intercambio de nutrientes, y todos los procesos biológicos, se ven favorecidos en estas condiciones.

Por lo tanto, la estabilidad de la estructura puede considerarse una propiedad de diagnóstico del estado de un suelo en términos de calidad física, química y biológica.

En resumen, la visión de conjunto de los indicadores utilizados para evaluar la funcionalidad del suelo en el Oinez Basoa de Tafalla, y su potencial de prestar los diversos servicios ecosistémicos descritos en la figura 2, permite observar que la implantación de este nuevo bosque ha resultado no sólo en un secuestro efectivo de C atmosférico, sino en una mejora significativa del suelo, lo que resulta en una capacidad más elevada para funcionar correctamente dentro del ecosistema, y para prestar a la sociedad servicios ambientales fundamentales de soporte, de regulación de los ciclos naturales, de provisión, culturales y recreativos.

En base a los resultados obtenidos, las figuras 12 y 13 resumen, a partir de la información resumida en la figura 2 y los resultados descritos, la situación del suelo del Oinez Basoa de Tafalla en relación al suelo cultivado y al bosque maduro situados junto a él (Figura 1).

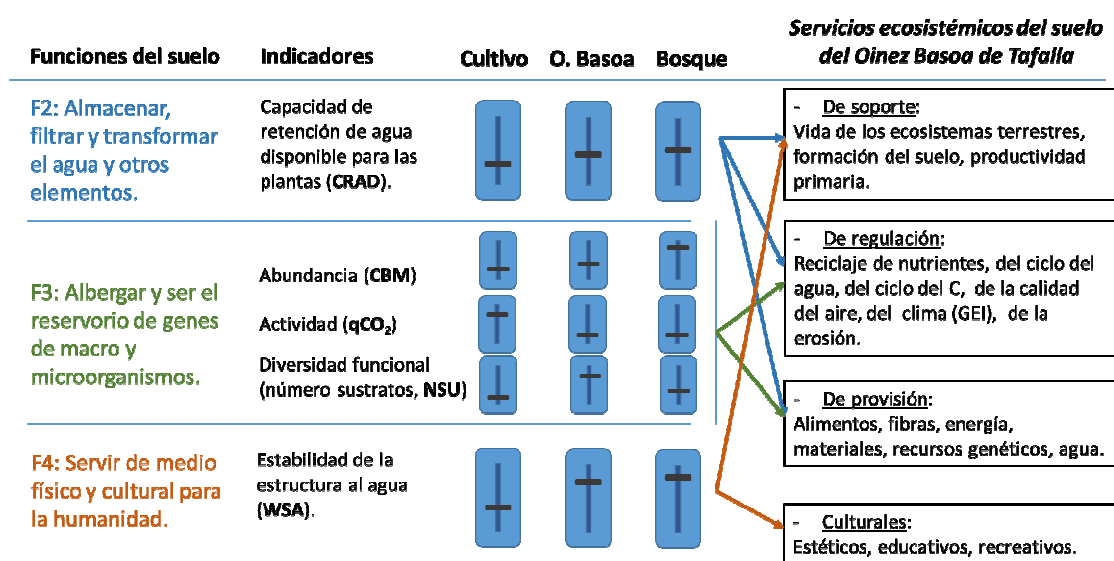
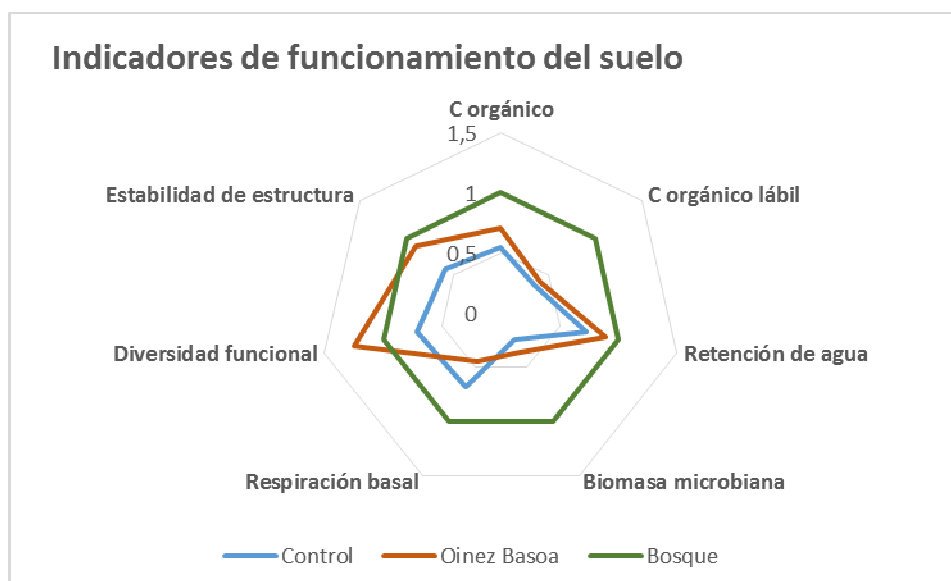


Figura 12. Situación del suelo del Oinez Basoa en relación a las dos parcelas de comparación (control cultivado y suelo maduro), para los indicadores estudiados en relación a las tres funciones del suelo consideradas en este estudio, y relación con los servicios ecosistémicos. Fuente: Elaboración propia.

En ambas figuras puede observarse que, en el tiempo transcurrido desde su implantación, el suelo que soporta el Oinez Basoa ha mostrado una evolución significativa en su calidad, que lo aleja del estado del suelo de cultivo adyacente, y lo acerca al del bosque presente en el Monte Plano de Tafalla.



**Figura 13.** Representación de la situación del suelo del Oínez Basoa en relación a las dos parcelas de comparación (control cultivado y suelo maduro), para los indicadores del tipo “más es mejor”, normalizados en función de su valor en el bosque maduro, en valores medios para la profundidad total (0-20 cm).

**C orgánico:** t/ha; **C orgánico lábil:** C lábil sobre el total; **Retención de agua:** CRAD en L/m<sup>2</sup>; **Biomasa microbiana:** mg CBM/kg suelo; **Respiración basal:** µgC-CO<sub>2</sub>/g suelo\*hora; **Diversidad funcional:** Número de sustratos utilizados en las EcoPlacas™ en 120 horas; **Estabilidad de la estructura:** % de agregados estables al agua mayores de 1 mm.

En relación a la cuantificación de los indicadores utilizados, algunos muestran una evolución más rápida (mayor diferencia en el mismo tiempo), y/o presentan un mayor rango de variabilidad. Esto representa, por un lado, la necesidad de evaluar factores físicos, químicos, biológicos y de la materia orgánica para evaluar la funcionalidad del suelo del Monte Plano tras un cambio significativo como es la plantación del Oínez Basoa. Por otro lado, pone en evidencia la heterogeneidad del medio edáfico y su complejidad como recurso. Esta complejidad, que ha hecho que su estudio haya estado descuidado en relación a otros elementos del medio natural en los últimos años, **ofrece también una ocasión única para integrar su estudio en estrategias y herramientas educativas interdisciplinarias.**

#### 4. Conclusiones

El objetivo de este segundo año de estudio fue doble. Por un lado, se cuantificó por segunda vez la cantidad de C atmosférico estabilizado en el suelo del Oínez Basoa de Tafalla. La aplicación del protocolo propuesto por el JRC para la cuantificación de los cambios en el C orgánico almacenado en los suelos de Europa (Stolbovoy et al., 2007) permitió corroborar la tendencia observada el año anterior. Así, se observó una diferencia en la cantidad de C orgánico almacenado en el suelo del Oínez Basoa y el de una parcela contigua de cultivo (ver detalles en el informe del Año 1), correspondería a **446,1 ± 62,5 t de CO<sub>2</sub> equivalente acumulado en el suelo del Oínez Basoa frente al control**, desde su implantación. Además, se observó una tendencia significativa del suelo del Oínez Basoa a acumular más materia orgánica lábil, y a mostrar una estratificación del C orgánico acumulado, lo que indica una **tendencia del suelo del Oínez Basoa a alejarse del estado del suelo cultivado para aproximarse al del bosque adulto.**

Por otro lado, como continuación de los resultados ya observados el año anterior, y coincidiendo con la celebración del Año Internacional del Suelo, se realizó una evaluación de los **beneficios ambientales** que el suelo del Oinez Basoa aporta a su entorno, a través de la evaluación de sus **funciones esenciales**, y de los **servicios ecosistémicos** asociados a estas funciones. Esta evaluación se realizó a partir de indicadores preseleccionados para la evaluación de tres funciones básicas del suelo: regulación del ciclo del agua, actuar como hábitat y reservorio de biodiversidad, y contribuir al mantenimiento del medio físico. En los tres casos, se observó una **evolución del suelo que soporta el Oinez Basoa hacia un mejor funcionamiento, más cercano al del bosque maduro**. Esto se reflejó, en particular, en una mayor capacidad de retención de agua, una mayor densidad y diversidad de microorganismos, y una mayor resistencia física frente a la acción del agua. Esta evaluación ha permitido confirmar que **la implantación del Oinez Basoa está teniendo, además de los beneficios asociados al secuestro de C atmosférico, un impacto positivo en el ecosistema, y en los servicios que éste puede prestar**. Este desarrollo permite pensar que existen otras funciones del suelo que evolucionan junto a las tres estudiadas, y que podrán ser objeto de estudio en el futuro.

#### AGRADECIMIENTOS

Este Proyecto ha sido financiado por NIE (Nafarroako Ikastolen Elkartea).

Las siguientes personas han participado en la recogida de muestras, análisis de datos y otras tareas del Proyecto: Isabel de Soto (UPNA), Conchi González (UPNA), Rodrigo Antón (UPNA).



2015

Lurzoruen  
Nazioarteko Urtea

## REFERENCIAS

- ADEME. 2014. Carbone organique des sols. Connaître et agir. Disponible en : [http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/7886\\_sol-carbone-2p-bd.pdf](http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/7886_sol-carbone-2p-bd.pdf)
- Andrews, S.S., Carroll, C.R. 2001. Designing a soil quality assessment tool for sustainable agroecosystems management. *Ecological Applications* 11(6): 1573-1585.
- Baveye, P. 2013. Intérêt et limites du concept de services écosystémiques appliqué aux sols. *Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture de France* 99 (3) : 34-35.
- Bescansa, P., Imaz, M.J., Virto, I., Enrique, A., Hoogmoed, W.B., 2006. Soil water retention as affected by tillage and residue management in semiarid Spain. *Soil and Tillage Research* 87: 19–27.
- Bouthier, A., Pelis, C., Villenave, C., Peres, G., Hedde, Ranjard, L., Vian, JF., Peigne, J., Cortet, J., Bispo, A., Piron, D. 2014. Impact du travail du sol sur son fonctionnement biologique. In Labreuche et al. (eds.) *Faut-il travailler le sol ? Acquis et innovations pour une agriculture durable*. Édition Quae. Arvalis-Institut du Végétal. Versailles, Francia. Pp. 89-112.
- Campbell, C.A., Chapman, S.J., Cameron, C.M., Davidson, M.S., Potts, J.M. 2003. A rapid microtiter plate method to measure carbon dioxide evolved from carbon substrate amendments so as to determine the physiological profiles of soil microbial communities by using whole soil. *Applied and Environmental Microbiology* 60: 3893-3599.
- Constanza, R., Daly, H.E. 1987. Toward and ecological economics. *Ecological Modelling* 38: 1-7.
- Creamer, RE., Schulte, RPO, Stone, D., Gal, A., Krogh, PH, Papa, GL, Murray, PJ, Pérès, G., Foerster, B., Rutgers, M., Sousa, JP., Winding, A. 2014. Measuring basal soil respiration across Europe: Do incubation temperature and incubation period matter? *Ecological Indicators* 36 (2014) 409– 418.
- Degens, B.P., Schippers, L.A., Sparling, G.P., Vojvodic-Vakovic, M. 2000. Decreases in organic C reserves in soils can reduce the catabolic diversity of soil microbial communities. *Soil Biol. Biochem.*, 32(1): 189-196.
- Degens, B.P., Schippers, L.A., Sparling, G.P., Vojvodic-Vakovic, M. 2000. Decreases in organic C reserves in soils can reduce the catabolic diversity of soil microbial communities. *Soil Biol. Biochem.*, 32(1): 189-196.
- Enrique, A. 2013. Informe Técnico del proyecto Efecto de técnicas de manejo sostenible del suelo en el ciclo del carbono en regiones agrícolas semiáridas. 72 pp.
- Fernández-Ugalde, O.; Virto, I.; Bescansa, P.; Imaz, M.J.; Enrique, A.; Karlen, D.L. No-tillage improvement of soil physical quality in calcareous, degradation-prone, semiarid soils. *Soil Tillage Research* 2009, 106, 29–35.
- Imaz, M.J.; Virto, I.; Bescansa, P.; Enrique, A.; Fernández-Ugalde, O.; Karlen, D.L. Tillage and residue management effects on semi-arid Mediterranean soil quality. *Soil Tillage Res.* **2010**, *107*, 17–25.
- Kandeler, E. 2007. Physiological and biochemical methods for studying soil biota and their function. In Paul, E.A. (Ed.) *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*. Academic Press, Amsterdam. Pp. 53-83.
- Karlen, D.L., Craid, A.D. and Andrews, S.S. 2003. *Soil quality: why and how?* *Geoderma* 114: 145-156.



MEA (Millennium Ecosystem Assessment), 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.

Preston-Mafham, J., Boddy, L., Randerson, P.F. 2002. Analysis of microbial community functional diversity using sole-carbon-source utilization profiles - a critique. *FEMS Microbiology Ecology* 42: 1-14.

Rodríguez Martín, J.A., Álvaro-Fuentes, J., Gonzalo, J., Gil, C., Ramos-Miras, J.J., Grau Corbí, J.M., Boluda, R. 2016. Assessment of the soil organic carbon stock in Spain. *Geoderma* 264 (2016) 117–125

Stolbovoy, V., Montanarella, L., Filippi, N. et al. 2007. Soil sampling protocol to certify the changes of organic carbon stock in mineral soil of the European Union. Version 2. EUR 21576 EN/2. Office for Official Publications of the European Communities. Luxembourg. 56 pp.

Tóth, G. Soil quality in the European Union. In *Threats to Soil Quality in Europe*; Tóth, G., Montanarella, L., Rusco, E., Eds.; JRC Scientific and Technical Reports; Office for Official Publications of the European Communities: Luxembourg, 2008; pp. 11–19.

Vance, E.D., Brookes, P.C., Jenkinson, D.S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry* 19: 703-704.

Virto, I., Imaz, M.J., Fernández-Ugalde, O., Urrutia, I., Enrique, A., Bescansa, P. 2012. Soil quality evaluation following the implementation of permanent cover crops in semi-arid vineyards. Organic matter, physical and biological soil properties. *Spanish Journal of Agricultural Research* 2012 10(4), 1121-1132.

Walter, C., Bispo, A., Chenu, C., Langlais-Hesse, A., Schwartz, C. 2015. Les services écosystémiques des sols : du concept à sa valorisation. *Cahier Demeter* 15 (01/2015) Agriculture et Foncier: 51-68.