



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
MÁSTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL**



TRABAJO FIN DE MÁSTER

**CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO DE LOS SUELOS DE GALICIA
COMO SUMIDEROS DE CARBONO:
DATOS PARA LA PROVINCIA DE PONTEVEDRA**

Noemí Vázquez García

Junio, 2012



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
MÁSTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO DE LOS SUELOS DE GALICIA
COMO SUMIDEROS DE CARBONO:
DATOS PARA LA PROVINCIA DE PONTEVEDRA**

Noemí Vázquez García

Junio, 2012

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. El cambio climático..... | 1 |
| 1.2. El ciclo global del carbono..... | 1 |
| 1.3. El sumidero edáfico..... | 3 |
| 1.4. El Protocolo de Kioto: políticas de actuación | 4 |
| 1.5. El conocimiento actual del suelo como sumidero de carbono | 6 |
| 2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS | 8 |
| 2.1. Justificación..... | 8 |
| 2.2. Objetivos | 8 |
| 3. MATERIAL Y MÉTODOS..... | 9 |
| 3.1. Material | 9 |
| 3.1.1. Suelos del estudio | 9 |
| 3.1.2. Otros suelos: Suelos de la zona sur de Galicia | 14 |
| 3.2. Métodos..... | 15 |
| 3.2.1. Toma de muestras del estudio | 15 |
| 3.2.2. Preparación y análisis de las muestras del estudio | 15 |
| 3.2.3. Análisis estadístico de datos | 16 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 17 |
| 4.1. Suelos del estudio..... | 17 |
| 4.1.1. pH | 18 |
| 4.1.3. Carbono total | 20 |
| 4.1.4. Carbono oxidable y carbono no oxidable | 24 |
| 4.1.2. Densidad aparente | 27 |
| 4.1.5. Nitrógeno total..... | 28 |
| 4.2. Otros suelos: Suelos de la zona sur de Galicia..... | 31 |
| 4.2.1. Horizontes superficiales | 31 |
| 4.2.2 Horizontes subsuperficiales..... | 40 |
| 5. RESUMEN Y CONCLUSIONES | 41 |
| 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 44 |
| 7. ANEXO | 48 |

1. INTRODUCCIÓN

1.1. El cambio climático

El cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) declara que “el calentamiento del sistema climático es inequívoco” como evidencian los cambios de temperatura del aire y del océano, el deshielo y el incremento del nivel del mar (IPCC, 2007). Este cambio se atribuye principalmente al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera debido a las actividades humanas. El dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O) son los GEI que han tenido un mayor incremento en sus concentraciones atmosféricas debido a la utilización de combustibles fósiles y la agricultura, incluidos los cambios de uso de la tierra. Entre ellos el CO₂ se considera el GEI más importante por efecto de las actividades antrópicas.

1.2. El ciclo global del carbono

La transferencia de carbono entre la biosfera, litosfera, edafosfera, hidrosfera y atmósfera constituye el ciclo global de carbono (C). Éste depende de las interrelaciones entre una serie de fuentes y sumideros que actúan tanto a corto como a largo plazo. Desde la perspectiva de cambio climático, el estudio de este ciclo es especialmente importante en dos aspectos: la distribución del carbono entre los diferentes compartimentos geoquímicos y la transferencia de carbono (flujos) entre estos compartimentos.

Los datos de la Tabla 1-1 ponen de manifiesto que la litosfera es el compartimento geoquímico con mayor capacidad de almacenamiento de C, seguida de los océanos y la edafosfera. El compartimento edáfico contiene dos veces más de carbono que la atmósfera y la biosfera juntas, de las 3.200 Gt (Gigatoneladas= 10⁹ toneladas) de C total en este reservorio 1.500 Gt corresponde al C orgánico y 1.700 Gt al C inorgánico.

El contenido de C terrestre (suelos y vegetación) es inferior a la décima parte del oceánico. Sin embargo, el flujo de carbono de la superficie terrestre con la atmósfera es algo mayor que con los océanos. Este flujo entre la biomasa y suelos con la atmósfera tiene una gran importancia en la concentración de GEI, ya que cada año se mueven entre ellos alrededor de la décima parte del contenido de C atmosférico (Oades, 1989).

En el contexto de forzamiento climático, se entiende por sumidero “cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero de la atmósfera” (Naciones Unidas, 1992). Las actuaciones sobre los sumideros litosférico y oceánico serían muy interesante, pues tienen mayor capacidad para almacenar carbono. Sin embargo, métodos como el almacenamiento geológico de CO₂ (en yacimientos de petróleo y gas agotados, en las capas de carbón inexplotables, en las formaciones salinas, etc) o el almacenamiento oceánico (por liberación directa de CO₂ en la columna oceánica o en el fondo oceánico) todavía hoy se están estudiando y necesitan una madurez tecnológica que, en muchos casos, no se ha alcanzado (IPCC, 2005). Además, aún existe cierta incertidumbre sobre el funcionamiento de estos sumideros. Frente a esta situación, mecanismos como el secuestro de carbono en el compartimento biótico y su acumulación en el suelo han sido ampliamente estudiados.

Tabla 1-1. Comparación de la capacidad de los diferentes reservorios de carbono (C) según diferentes autores (Lal, 2001). Datos en Gt C= 10⁹t C.

| Reservorio | C inorgánico | C orgánico | C total |
|-------------------|---------------------|-------------------|----------------|
| Atmósfera | 760 | - | 760 |
| Biosfera | - | 560 | 560 |
| Edafosfera | 1.700 | 1.500 | 3.200 |
| Hidrosfera | 38.000 | 1.000 | 39.000 |
| Litosfera | 4.800.000 | 17.000.000 | 65.000.000 |

En el pasado, el desarrollo de la agricultura fue la principal causa del incremento de la concentración de CO₂ en la atmósfera pero, a partir de la década de los 70-80 del siglo XX, los mayores contribuyentes han pasado a ser la utilización de los combustibles fósiles por parte de la industria y el transporte. Un hecho importante es que durante la década de los 80 el incremento del CO₂ en la atmósfera fue de 3,3±0,2 Gt de C/año. Para el mismo período, el volumen de emisiones procedente de combustibles fósiles fue de 5,5±0,5 Gt C/año, por lo que una gran parte del CO₂ emitido no permanece en la atmósfera. Hay que considerar, por tanto, que el océano y la biosfera terrestre están ejerciendo un papel de sumidero. De acuerdo con el IPCC, el sumidero de carbono oceánico absorbe 2,0±0,8 Gt C/año, mientras que el sumidero global neto de la biosfera terrestre es sólo de 0,2±1,0Gt de C/año. Dado que la deforestación provoca una pérdida de carbono almacenado de 1,6±1,0 Gt de C/año, el balance de entradas y salidas sugiere la existencia de un “sumidero desconocido” (carbono faltante) que explique la cantidad de 1,8±1,6 Gt C/año. Esta cifra representaría la magnitud del sumidero global que constituyen los ecosistemas terrestres, situados fundamentalmente

en el hemisferio norte. Posiblemente este sumidero implique el secuestro de carbono en el suelo, de forma que el almacenamiento global en los ecosistemas terrestres sería de cero (Gutiñas, 2009).

1.3. El sumidero edáfico

El sumidero edáfico puede funcionar a distintos niveles: reteniendo carbono en el suelo en formas orgánicas e inorgánicas, fijando CO₂ atmosférico a través de las reacciones de alteración de minerales lábiles y de la formación de carbonatos y, también, aunque en menor medida, oxidando CH₄ atmosférico (Macías *et al.*, 2004).

El carbono orgánico del suelo constituye aproximadamente dos tercios del carbono secuestrado en los ecosistemas terrestres (Pardos, 2010). En condiciones naturales, el C orgánico del suelo resulta del balance entre la entrada de C procedente de restos vegetales y animales y su pérdida por mineralización (salida en forma de CO₂ a la atmósfera), erosión y lixiviación. El CO₂ emitido desde el suelo a la atmósfera no solo se produce por la mineralización de la materia orgánica donde participa la fauna edáfica (organismos detritívoros) y los microorganismos del suelo, sino también se genera por el metabolismo de las raíces de las plantas (Martínez *et al.*, 2008).

Inicialmente la vegetación extrae el CO₂ de la atmósfera mediante el proceso de fotosíntesis y acumula el C fijado en sus tejidos. Una vez que estos tejidos alcanzan el final de su ciclo llegan al suelo. En condiciones aeróbicas, una parte importante del carbono contenido en estos restos vegetales que ingresan al suelo (55 Gt C/año a nivel global) es lábil y se mineraliza rápidamente y una pequeña fracción (1%) se acumula como humus estable (0,4 Gt C/año) mediante el proceso de humificación (FAO, 2001). Debido al carácter relativamente recalcitrante (mayor estabilidad) de estas formas orgánicas en el humus, la acumulación de carbono en el suelo puede desempeñar una función sustancial en el control de CO₂ en la atmósfera (Batjes, 1996). Dentro del humus hay diferentes formas de C, Fisher (1995) identifica tres grandes grupos: sustancias simples (aminoácidos, azúcares y moléculas pequeñas) compuestos identificables de alto peso molecular (polisacáridos, proteínas y lípidos) y sustancias húmidas de alto peso molecular y estructura compleja formada por reacciones secundarias de síntesis.

La tasa de mineralización de la materia orgánica del suelo depende, fundamentalmente, de la temperatura y de la disponibilidad de oxígeno (drenaje), el uso de la tierra, los sistemas de cultivo, el manejo del suelo y de los cultivos (Lal *et al.*, 1995). De esta forma, el suelo puede actuar como fuente o reservorio de C dependiendo

de su uso y manejo. Se estima que los suelos dedicados al cultivo han perdido entre un 20-40% de su carbono orgánico, respecto al que tenían con vegetación natural y se considera que, mediante la utilización de prácticas de laboreo de conservación, es posible recuperar, en parte, los niveles de carbono orgánico del suelo originarios (Lal, 1997). Entre estas prácticas se encuentra el no laboreo o laboreo mínimo, el uso de cubiertas sobre el terreno, las cosechas protectoras de invierno o el control de la erosión.

El carbono inorgánico en el suelo está principalmente en formas estables como carbonatos. Los suelos que contienen carbonatos fijan el CO_2 de la respiración radicular en forma sólida formando CaCO_3 , MgCO_3 , FeCO_3 , o Na_2CO_3 . Por otro lado, la alteración de minerales lábiles como la calcita, plagioclasas o ferromagnesianos consume CO_2 del aire formando en la mayoría de los casos HCO_3^- (Macías *et al.*, 2004).

En el marco de estudio del sumidero edáfico, tiene una gran importancia evaluar los factores que afectan al contenido de C del suelo, la longevidad del secuestro de C (el tiempo que puede permanecer el carbono almacenado) y el máximo de carbono alcanzado, es decir, el nivel de saturación del suelo que ya no acumula más carbono, que es función del tiempo y del tipo de suelo (Pardos, 2010). Entre los diversos factores que pueden influir en el contenido de C de un suelo están el clima (precipitación y temperatura), la altitud, la litología, el tipo de suelo, el uso, el manejo, la textura del suelo y el proceso edáfico dominante, entre otros. El tiempo de residencia del C en el suelo depende en gran medida de las formas en las que se acumula, con lo que el estudio de éstas resulta muy interesante a la hora de conocer la eficacia del suelo como sumidero.

Por último, cabe mencionar que el incremento del contenido de carbono en los suelos, no sólo tiene importancia en cuanto al cambio climático, sino que mejora su calidad, aumenta la resistencia a la erosión, la actividad biológica, la capacidad de retención de agua y nutrientes y la resistencia frente a los contaminantes. Todo ello exige un incremento del contenido de C, especialmente en los suelos en los que se ha minorizado por acciones humanas (Macías *et al.*, 2005).

1.4. El Protocolo de Kioto: políticas de actuación

Ante la problemática de cambio climático se han adoptado una serie de medidas que han ido en dos direcciones: por un lado y en un primer momento la reducción de emisiones de GEI (actuación sobre las fuentes) y, por otro, la consideración de los sumideros de carbono.

La Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático creada en 1992 tiene como objetivo “la estabilización de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel en el que se impida una interferencia antropogénica peligrosa con el sistema” (Naciones Unidas, 1992). En el marco de esta Convención, el Protocolo de Kioto (1997, 2005) marca objetivos de reducción de las emisiones de GEI, de obligado cumplimiento para los países industrializados. Muchos países europeos han adoptado programas nacionales para prevenir el cambio climático. Entre las principales políticas y medidas cabe señalar los impuestos sobre la emisión de CO₂, la producción de electricidad a partir de energías renovables, la producción combinada de calor y electricidad, los biocombustibles, el rendimiento energético de los edificios y las medidas de reducción de emisiones en la industria y en los vertederos, etc.

Las primeras redacciones del Protocolo de Kioto, promovidas principalmente por algunos países europeos, no incluían la posibilidad de contemplar los sumideros de carbono, pues estos países consideraban que el esfuerzo debía centrarse en la reducción rápida de emisiones (Macías *et al.*, 2005). Además, se argumentaba que los sumideros eran lentos, inestables y de escasa capacidad. Argumentos rebatidos por muchos científicos, especialmente autores norteamericanos como Lal y colaboradores, que demostraron en sus investigaciones que esto no era siempre así y que la mejora e incentivación de los sumideros permitiría hacer un cambio tecnológico más relajado y retrasar los efectos negativos del cambio climático (Macías, 2004). Finalmente, el Protocolo reconoció el papel de la biomasa y de los suelos como sumideros de carbono, contabilizando el valor neto fijación/emisión debido a determinadas actividades de uso de la tierra, cambio del uso de la tierra y silvicultura (actividades LULUCF) (Artículo 3.3: actividades de forestación, reforestación y deforestación) así como otras actividades de gestión, adicionales a las anteriores, recogidas en su Artículo 3.4 (gestión agrícola, gestión forestal, gestión de pastos y revegetación) (Naciones Unidas, 1998; IPCC, 2000).

La fijación de C en biomasa y en suelos que se derive de actividades agrícolas y forestales puede suponer una importante ayuda a la hora de cumplir con los compromisos de reducción de gases acordados para cada país (Camps *et al.*, 2004). Así, la estimación de estos sumideros ha generado en algunos Estados miembros de la UE derechos adicionales del 1% al 4% sobre los objetivos de emisión, para el período 2008-2012.

1.5. El conocimiento actual del suelo como sumidero de carbono

A pesar de que existen abundantes estudios acerca de los contenidos de carbono en biomasa y suelos en diferentes partes del mundo, la documentación es todavía hoy muy incompleta, tal y como se reconoce en diferentes documentos de organismos internacionales, como el IPCC (2001), la Sociedad Americana de Ciencia del Suelo, (2001), el *European Soil Bureau* (Jones *et al.*, 2004), la Comisión Europea o la Agencia Ambiental Europea (2008), de manera que las estimaciones cartográficas realizadas son muy generales y presentan un elevado margen de incertidumbre. Se requiere ampliar sustancialmente la base de datos en relación al *stock* de carbono en vegetación a escala de detalle o semidetalle, que tenga en cuenta la biomasa viva y muerta, aérea y subterránea, en el conjunto de todos los estratos de un ecosistema, arbóreo, arbustivo y herbáceo, así como los residuos existentes sobre el suelo.

Asimismo, dada la gran variabilidad espacial de las propiedades del suelo, es necesario ampliar la información acerca del contenido de carbono en suelos de diferentes regiones climáticas y bajo distintos tipos de vegetación y uso de la tierra. El conjunto de estos datos permitirá un mejor conocimiento de la distribución del carbono, y de los flujos, entre distintos sistemas, y valorar con más precisión la capacidad real de los sumideros en diferentes regiones. Además, servirá de punto de partida para realizar un seguimiento de la evolución de esta capacidad como resultado de la influencia de los cambios del clima. Finalmente, una optimización de la documentación básica de la variabilidad de los sumideros de carbono permitirá un ajuste más adecuado de los cálculos del balance absorción/emisión debido a las actividades LULUCF, y por lo tanto, en la estimación de los derechos adicionales de emisión.

La referencia cartográfica más próxima al papel de los suelos de España como sumideros de carbono es el Mapa de Carbono Orgánico de los Suelos de Europa (1:1.000.000) realizado a partir de los datos disponibles en el "European Soil Database" (FAO-UNESCO, 1995) y la cobertura vegetal CORINE (Jones *et al.*, 2003). Los resultados se expresan como porcentaje de C orgánico (Co) y no como *stock* (t C/ha) al no disponerse de datos suficientes de densidad aparente. Por otra parte, dada la escala de trabajo y la información disponible, la discriminación no es elevada, representándose clases de amplio rango (2-5%, 5-10%, 10-25%), de manera que en algunas zonas no se reconoce apenas la variabilidad existente. Además, en muchos casos, se induce a una infravaloración de las existencias de Co ya que se consideran únicamente los 30 centímetros superiores del suelo (IPCC, 1996), lo que puede ser adecuado, o no, según las zonas. En sus recomendaciones finales, los autores señalan las principales deficiencias observadas e instan a los estados miembros a que validen la información o,

en su caso, aborden programas de muestreo y análisis que permitan mejorar la base de datos (Jones *et al.*, 2004).

El norte de la Península Ibérica es la zona con mayor potencialidad de España como sumidero de carbono. No obstante, todavía no se había abordado, hasta el momento, una valoración real de las existencias y, por lo tanto, tampoco su distribución geográfica (a escala elevada) ni su potencialidad. Dada la gran variabilidad de factores del medio en esta zona, se requiere un estudio que recopile y aumente (sustancialmente) la base de datos actual y aborde una modelización cartográfica y digital, de detalle, de las existencias actuales de C en el suelo.

2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

2.1. Justificación

El presente Trabajo Fin de Máster se enmarca dentro de un proyecto de investigación del Plan Nacional, financiado por el Ministerio de Medio Ambiente, titulado “Elaboración de un mapa digital de carbono en suelos de la Cornisa Cantábrica (Galicia, Asturias, Cantabria y País Vasco) (1:50.000)”. El objetivo del proyecto es elaborar una cartografía de semidetalle (escala 1:50.000) del contenido de carbono en suelos del norte de España-Cornisa Cantábrica (territorios administrativos de las CCAA de Galicia, Asturias, Cantabria y País Vasco), ampliando el banco de datos existente sobre muestras georeferenciadas, representativas de diferentes microclimas, coberturas vegetales, variaciones altitudinales, etc., y que tenga en cuenta el espesor total de los horizontes superiores, más ricos en materia orgánica. El estudio pretende ser de utilidad para mejorar la base de datos de los suelos de Europa, de acuerdo a las recomendaciones del *European Soil Bureau* (Jones *et al.*, 2004).

2.2. Objetivos

Los objetivos de este Trabajo Fin de Máster son los siguientes:

1- Colaborar a completar el muestreo de suelos de Galicia (en concreto en la provincia de Pontevedra) dentro del proyecto “Elaboración de un mapa digital de carbono en suelos de la Cornisa Cantábrica (Galicia, Asturias, Cantabria y País Vasco) (1:50.000)”.

2- Ampliar el banco de datos analíticos de suelos de Galicia: análisis del contenido (%) de carbono total y carbono oxidable en las muestras recogidas. Cálculo de la densidad aparente de los suelos y fraccionamiento físico tierra fina/ gravas.

3- Contribuir a la modelización del suelo como sumidero de carbono: discusión de los datos obtenidos junto a otros datos de suelos de las provincias de Pontevedra, Ourense y sur de A Coruña (zona sur de Galicia) dentro del mismo proyecto marco.

4- Estimar del *stock* de carbono (valor absoluto en kg C/m² de suelo) en los suelos de la zona sur de Galicia.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Material

3.1.1. Suelos del estudio

Se ha realizado un muestreo de suelos en la provincia de Pontevedra durante tres días, 24 y 25 de noviembre de 2011 y 26 de enero de 2012. Se recogieron un total 82 muestras de suelo del horizonte superficial (horizonte A): inicialmente se tomaron 44 muestras en el noreste de la provincia y, posteriormente, en las proximidades del litoral, se tomaron 38 muestras (aunque 9 de ellas se sitúan en la provincia de A Coruña se engloban bajo el mismo nombre: suelos de la provincia de Pontevedra). En la Figura 3-1 se refleja la posición geográfica de las muestras del estudio y en la Tabla 3-1 sus coordenadas UTM.



Figura 3-1. Localización de los puntos de muestreo de los suelos del estudio.

En el muestreo de suelos se consideraron los siguientes tipos de uso:

- **Monte Bajo:** Representado fundamentalmente por matorrales de tojo (en su mayoría *Ulex europaeus*) y especies de brezo (*Erica spp.*), y en menor medida, por algunas formaciones de *Cytisus scoparius*.

- **Forestal:** Representado por los bosques de roble, *Quercus robur*, y por las plantaciones forestales de pino y eucalipto, mayoritariamente *Pinus pinaster* y *Eucalyptus globulus*.

- **Prado:** Incluye prados y pastizales (incluidos pastizales costeros).

- **Cultivo:** Representado mayoritariamente por cultivos de maíz, pero también por algunos cultivos de huerta como coles (*Brassica spp.*).

- **Viñedo:** Incluye las plantaciones de vides situadas en el NE de la provincia de Pontevedra.

Atendiendo a esta clasificación en la Tabla 3-1 se especifica el uso de cada una de las muestras recogidas junto con las especies vegetales dominantes en algunos casos y en las Fotografías 3-1/16 se reflejan los usos más representativos.

Tabla 3-1. Relación de muestras de suelo tomadas para el estudio.

| Muestra | Uso | Coordenadas UTM | |
|---------|---------------------------|-----------------|------------|
| | | X_UTM_29N | Y_UTM_29N |
| PO1 | Forestal (P. pinaster) | 536677,74 | 4733801,87 |
| PO2 | Prado | 536683,51 | 4733914,49 |
| PO3 | Forestal (P. pinaster) | 537090,55 | 4732953,33 |
| PO4 | Cultivo (Maíz) | 537160,37 | 4732990,41 |
| PO5 | Forestal (Q. robur) | 537120,39 | 4731884,98 |
| PO6 | Cultivo (Maíz) | 536929,10 | 4731854,03 |
| PO7 | Prado | 536882,24 | 4731858,10 |
| PO8 | Cultivo (Maíz) | 538115,51 | 4731327,76 |
| PO9 | Prado | 538152,85 | 4731360,66 |
| PO10 | Forestal (Q. robur) | 540153,96 | 4728569,36 |
| PO11 | Forestal (P. pinaster) | 540108,67 | 4728498,08 |
| PO12 | Forestal (E. globulus) | 539900,64 | 4728516,01 |
| PO13 | Prado | 539530,35 | 4728107,94 |
| PO14 | Prado | 545552,61 | 4727205,29 |
| PO15 | Cultivo (Maíz) | 545515,33 | 4727238,76 |
| PO16 | Forestal (P. pinaster) | 545497,33 | 4725960,98 |
| PO17 | Forestal (P. pinaster) | 544547,82 | 4725065,92 |
| PO18 | Prado | 544672,12 | 4725082,96 |
| PO19 | Cultivo (C de huerta) | 544614,24 | 4725199,19 |
| PO20 | Forestal (Q. robur) | 543336,19 | 4724737,32 |
| PO21 | Forestal (P. pinaster) | 545076,76 | 4720599,06 |
| PO22 | Monte Bajo (U. europaeus) | 547219,08 | 4719426,28 |
| PO23 | Monte Bajo (U. europaeus) | 547102,12 | 4719373,66 |
| PO24 | Monte Bajo (U. europaeus) | 546986,47 | 4719398,17 |
| PO25 | Monte Bajo | 551591,04 | 4717631,61 |
| PO26 | Forestal (Q. robur) | 554906,47 | 4716260,61 |

Tabla 3-1. Relación de muestras de suelo tomadas para el estudio (Continuación).

| Muestra | Uso | Coordenadas UTM | |
|---------|--------------------------------------|-----------------|------------|
| | | X_UTM_29N | Y_UTM_29N |
| PO27 | Prado | 554855,82 | 4716239,54 |
| PO28 | Monte Bajo | 556010,19 | 4719650,24 |
| PO29 | Prado | 556001,31 | 4719593,41 |
| PO30 | Prado | 558317,40 | 4724292,01 |
| PO31 | Forestal (P. pinaster) | 559200,66 | 4724823,91 |
| PO32 | Prado | 573476,32 | 4726200,77 |
| PO33 | Prado | 575302,26 | 4728756,81 |
| PO34 | Cultivo (Maíz) | 575301,37 | 4728671,65 |
| PO35 | Forestal (P. pinaster) | 575818,41 | 4730092,05 |
| PO36 | Forestal (P. pinaster) | 580069,47 | 4729613,36 |
| PO37 | Forestal (P. pinaster y E. Globulus) | 580307,70 | 4729060,83 |
| PO38 | Prado | 580474,91 | 4729979,94 |
| PO39 | Cultivo (Maíz) | 580365,36 | 4729991,93 |
| PO40 | Cultivo (Maíz) | 582679,85 | 4732339,14 |
| PO41 | Forestal (Q. robur) | 583220,30 | 4733686,69 |
| PO42 | Forestal (P. pinaster) | 583826,99 | 4734147,53 |
| PO43 | Prado | 583094,80 | 4734442,86 |
| PO44 | Forestal (Q. robur) | 583131,83 | 4734406,90 |
| PO-45 | Forestal (P. pinaster) | 514492,36 | 4702136,43 |
| PO-46 | Viñedo | 514527,56 | 4702148,46 |
| PO-47 | Forestal (E. glogulus y P. pinaster) | 515509,03 | 4701474,42 |
| PO-48 | Viñedo | 515483,98 | 4701432,73 |
| PO-49 | Forestal (E. glogulus y P. pinaster) | 516585,19 | 4702010,31 |
| PO-50 | Viñedo | 516591,21 | 4702050,97 |
| PO-51 | Prado | 517828,50 | 4703687,83 |
| PO-52 | Viñedo | 517793,42 | 4703680,51 |
| PO-53 | Prado | 517608,68 | 4703974,32 |
| PO-54 | Cultivo (Maíz) | 517604,99 | 4704035,35 |
| PO-55 | Viñedo | 518866,53 | 4705864,41 |
| PO-56 | Prado | 519032,79 | 4706128,40 |
| PO-57 | Viñedo | 518983,60 | 4706317,14 |
| PO-58 | Viñedo | 520742,73 | 4706742,79 |
| PO-59 | Cultivo (Coles) | 520778,19 | 4706729,19 |
| PO-60 | Viñedo | 521027,61 | 4707329,70 |
| PO-61 | Forestal (E. globulus) | 523144,45 | 4708119,70 |
| PO-62 | Cultivo (Maíz) | 524475,96 | 4707701,52 |
| PO-63 | Prado | 524451,85 | 4707633,34 |
| PO-64 | Forestal (E. glogulus y P. pinaster) | 525639,30 | 4707737,54 |
| PO-65 | Cultivo (Maíz) | 526119,09 | 4708363,57 |
| PO-66 | Monte Bajo | 527298,31 | 4708301,21 |
| PO-67 | Forestal (E. globulus) | 527600,02 | 4708887,12 |
| PO-68 | Artificial (árido de cantera) | 523986,96 | 4710170,38 |
| PO-69 | Forestal (E. globulus) | 523686,01 | 4710612,05 |
| PO-70 | Forestal (P. pinaster) | 522795,96 | 4713485,94 |
| PO-71 | Cultivo (Maíz) | 517312,47 | 4713762,67 |
| PO-72 | Prado | 517358,62 | 4713775,34 |
| PO-73 | Prado (Pastizal costero) | 492701,93 | 4713797,91 |
| PO-74 | Prado (Pastizal costero) | 493991,30 | 4714816,87 |
| PO-75 | Forestal (E. globulus) | 494624,49 | 4715590,12 |
| PO-76 | Forestal (P. pinaster) | 495100,01 | 4714976,49 |
| PO-77 | Monte Bajo | 496256,70 | 4716445,38 |
| PO-78 | Cultivo (Maíz) | 495169,81 | 4717371,68 |
| PO-79 | Prado | 495193,53 | 4717344,72 |
| PO-80 | Forestal (P. pinaster) | 497823,37 | 4717533,11 |
| PO-81 | Prado | 497944,87 | 4717460,30 |
| PO-82 | Cultivo (Maíz) | 497934,86 | 4717395,07 |



Fotografías 3-1/16. Representación de algunos de los suelos del estudio según el uso.



Fotografías 3-1/16. Representación de algunos de los suelos del estudio según el uso (Continuación).

3.1.2. Otros suelos: Suelos de la zona sur de Galicia

Tras la obtención de resultados propios se han recopilado una serie de datos obtenidos en otros suelos de la región (dentro del mismo proyecto del que forma este estudio) con el fin de realizar un análisis estadístico de los datos y una valoración de las propiedades de los suelos en la zona sur de Galicia (primera valoración de los resultados del proyecto). Estos suelos, del entorno próximo a la zona de estudio, se distribuyen por las provincias de Pontevedra, Ourense y sur de A Coruña y constituyen un total de 956 muestras, de las cuales 843 (incluidas las 82 muestras de este estudio) corresponden a horizontes superficiales, horizontes A, y 113 corresponden a horizontes subsuperficiales (B ó C) situados justo por debajo de los horizontes A (Calvo de Anta & col., 2012). La localización de los puntos de muestreo se recoge en la Figura 3-2 y sus coordenadas UTM en el Anexo (Tablas 7-1 y 7-2).



Figura 3-2. Localización de los puntos de muestreo para los suelos de las provincias de Pontevedra, sur de A Coruña y Ourense.

3.2. Métodos

3.2.1. Toma de muestras del estudio

En todos los casos se tomaron muestras del horizonte superior del suelo, horizonte A, descartando el horizonte orgánico (Fotografías 3-17 y 3-18). En cada punto de muestreo se recogieron dos camisas cilíndricas de acero de volumen conocido ($98,125 \text{ cm}^3$ cada una) (Fotografías 3-19 y 3-20). La camisa se introduce evitando la distorsión de la compactación del suelo, llenándola justo hasta el enrase.

Las muestras se guardaron en bolsas de plástico, debidamente etiquetadas, en las que fueron llevadas al laboratorio.



Fotografías 3-17/20. Representación de la toma de muestras.

3.2.2. Preparación y análisis de las muestras del estudio

En el laboratorio las muestras se secaron a temperatura ambiente. Una vez secas, se pesaron para obtener la masa total del suelo. Posteriormente se tamizaron a través de un tamiz de 2 mm de luz de malla. La fracción $>2\text{mm}$ (gravas) se pesó y se valoró su volumen por desplazamiento de agua. La fracción $<2 \text{ mm}$ (tierra fina) se utilizó para la caracterización físico-química que a continuación se describe:

- **pH:** Se determinaron los valores de pH en H₂O y KCl 0,1 M con una relación suelo:agua y suelo:disolución, respectivamente, de 1:2,5 (Gutián & Carballas, 1976). Para la medida en agua se esperaron 10 minutos, después de preparada la suspensión, antes de realizar la medida y para la suspensión de KCl el tiempo de espera fue de 2 horas. La medida del pH se hizo mediante un potenciómetro Crison.

- **Densidad aparente:** Se ha determinado a partir del cociente entre la masa y el volumen de tierra fina. La masa de tierra fina se obtiene al restar al peso total de la muestra seca el peso de las gravas, y el volumen por la diferencia entre el volumen total de la muestra (2 camisas= 196,250 cm³) y el volumen de las gravas.

- **Carbono y nitrógeno total:** Se determinaron por combustión de la muestra finamente molida (mediante un mortero de ágata) en un autoanalizador (LECO-CSN 1000). En suelos libres de carbonatos, el carbono total es igual al carbono orgánico total del suelo.

- **Carbono oxidable:** Se ha determinado según el método de Sauerlandt modificado (Gutián & Carballas, 1976), que consiste en la oxidación de la materia orgánica con K₂Cr₂O₇, en caliente y en medio ácido. La materia orgánica oxidada se cuantifica con la valoración del oxidante (K₂Cr₂O₇) que permanece sin reducir, utilizando Sal de Möhr. Cada muestra se ha valorado dos veces.

- **Carbono no oxidable:** Se calcula por la diferencia entre C total y C oxidable. En suelos ácidos se considera que representa la fracción de C orgánico recalcitrante.

- **C-carbonato (CO₃⁻²):** Se ha estimado como la cantidad de C no oxidable en aquellas muestras con valores de pH en H₂O superiores a 8.

- **Materia orgánica:** Se calcula multiplicando el C total por un factor de 1,724. (valor que se obtiene al considerar que la materia orgánica tiene un 58% de C, 100/58=1,724), excepto en aquellas muestras con presencia de carbonatos (formas inorgánicas de C) en las que se ha obtenido como la cantidad de C oxidable · 1,724.

3.2.3. Análisis estadístico de datos

Se ha realizado un estudio estadístico, mediante el paquete SPSS 15.0, para el conjunto de los datos de las provincias de Pontevedra, sur de A Coruña y Ourense. En primer lugar se ha realizado una prueba de normalidad, usando el test de Kolmogorov-Smirnov. Posteriormente los datos se sometieron a pruebas no paramétricas: prueba de Kruskal-Wallis y prueba de Mann-Whitney.

Tabla 4-1. Datos analíticos de los suelos del estudio (Continuación).

| Muestra | Uso | P. S. (g) | P. Gr. (g) | P. T.F. (g) | V. Gr. (cm ³) | V. T.F. (cm ³) | pH H O | pH KCl | D.a. (g/cm ³) | %Ct | %Cox | %C no ox | % M.O. | %Nt |
|---------|------------------|--------------|---------------|----------------|------------------------------|-------------------------------|-----------|-----------|------------------------------|------|------|----------|--------|------|
| PO-53 | Prado | 238,18 | 3,81 | 234,37 | 1,50 | 194,75 | 4,66 | 4,07 | 1,20 | 3,69 | 3,60 | 0,09 | 6,36 | 0,28 |
| PO-54 | Cultivo | 195,31 | 6,63 | 188,68 | 3,00 | 193,25 | 7,43 | 6,64 | 0,98 | 2,80 | 2,51 | 0,29 | 4,83 | 0,21 |
| PO-55 | Viñedo | 226,53 | 27,70 | 198,83 | 12,00 | 184,25 | 6,44 | 5,26 | 1,08 | 6,34 | 5,91 | 0,42 | 10,93 | 0,41 |
| PO-56 | Prado | 234,48 | 6,66 | 227,82 | 3,00 | 193,25 | 6,38 | 5,20 | 1,18 | 3,38 | 3,21 | 0,16 | 5,82 | 0,25 |
| PO-57 | Viñedo | 202,06 | 18,00 | 184,06 | 4,00 | 192,25 | 8,06 | 7,30 | 0,96 | 5,09 | 4,77 | 0,32 | 8,78 | 0,34 |
| PO-58 | Viñedo | 259,19 | 12,23 | 246,96 | 5,00 | 191,25 | 6,05 | 5,06 | 1,29 | 4,03 | 3,96 | 0,07 | 6,95 | 0,27 |
| PO-59 | Cultivo | 230,36 | 15,98 | 214,38 | 7,00 | 189,25 | 5,09 | 3,82 | 1,13 | 3,61 | 3,58 | 0,03 | 6,23 | 0,26 |
| PO-60 | Viñedo | 289,97 | 8,06 | 281,91 | 3,50 | 192,75 | 6,39 | 5,21 | 1,46 | 1,90 | 1,85 | 0,04 | 3,27 | 0,12 |
| PO-61 | Forestal (E) | 192,00 | 15,05 | 176,95 | 7,00 | 189,25 | 4,31 | 4,10 | 0,94 | 7,45 | 7,01 | 0,43 | 12,84 | 0,33 |
| PO-62 | Cultivo | 246,25 | 10,90 | 235,35 | 5,00 | 191,25 | 6,16 | 4,89 | 1,23 | 3,47 | 3,41 | 0,06 | 5,98 | 0,24 |
| PO-63 | Prado | 174,08 | 11,92 | 162,16 | 5,00 | 191,25 | 5,77 | 4,73 | 0,85 | 6,56 | 6,49 | 0,07 | 11,31 | 0,45 |
| PO-64 | Forestal (E y P) | 164,35 | 8,21 | 156,14 | 3,50 | 192,25 | 4,83 | 4,06 | 0,81 | 6,51 | 5,95 | 0,56 | 11,22 | 0,34 |
| PO-65 | Cultivo | 293,42 | 13,73 | 279,69 | 6,00 | 190,25 | 5,75 | 4,28 | 1,47 | 1,98 | 1,96 | 0,02 | 3,41 | 0,14 |
| PO-66 | Monte Bajo | 177,36 | 17,73 | 159,63 | 7,00 | 189,25 | 4,81 | 3,63 | 0,84 | 9,51 | 8,47 | 1,04 | 16,39 | 0,56 |
| PO-67 | Forestal (E) | 223,61 | 6,05 | 217,56 | 3,00 | 193,25 | 4,67 | 3,77 | 1,13 | 5,81 | 5,52 | 0,29 | 10,01 | 0,26 |
| PO-68 | Artificial | 275,75 | 54,45 | 221,30 | 22,00 | 174,25 | 6,37 | 4,72 | 1,27 | 0,61 | 0,12 | 0,49 | 1,05 | 0,01 |
| PO-69 | Forestal (E) | 206,22 | 14,50 | 191,72 | 7,00 | 189,25 | 4,19 | 3,97 | 1,01 | 5,15 | 4,78 | 0,36 | 8,87 | 0,22 |
| PO-70 | Forestal (P) | 214,73 | 15,50 | 199,23 | 7,00 | 189,25 | 5,06 | 3,97 | 1,05 | 4,22 | 4,00 | 0,21 | 7,27 | 0,14 |
| PO-71 | Cultivo | 269,90 | 6,51 | 263,39 | 2,50 | 193,75 | 7,76 | 6,89 | 1,36 | 2,57 | 2,37 | 0,20 | 4,43 | 0,18 |
| PO-72 | Prado | 251,52 | 10,92 | 240,60 | 5,00 | 191,25 | 6,88 | 5,70 | 1,26 | 1,89 | 1,77 | 0,12 | 3,25 | 0,13 |
| PO-73 | Prado | 236,06 | 5,29 | 230,77 | 2,50 | 193,75 | 6,71 | 5,31 | 1,19 | 4,08 | 4,03 | 0,05 | 7,04 | 0,25 |
| PO-74 | Prado | 283,24 | 1,60 | 281,64 | 0,50 | 195,75 | 8,38 | 7,75 | 1,44 | 3,60 | 2,64 | 0,95* | 4,56** | 0,16 |
| PO-75 | Forestal (E) | 257,00 | 5,40 | 251,60 | 2,50 | 193,75 | 5,52 | 4,07 | 1,30 | 1,39 | 1,27 | 0,12 | 2,39 | 0,09 |
| PO-76 | Forestal (P) | 321,44 | 0,00 | 321,44 | 0,00 | 196,25 | 8,92 | 8,31 | 1,64 | 3,02 | 2,87 | 0,15* | 4,95** | 0,06 |
| PO-77 | Monte Bajo | 187,92 | 7,07 | 180,85 | 3,00 | 193,25 | 5,62 | 4,10 | 0,94 | 8,30 | 8,05 | 0,25 | 14,30 | 0,44 |
| PO-78 | Cultivo | 272,73 | 5,81 | 266,92 | 2,50 | 193,75 | 5,81 | 4,78 | 1,38 | 1,31 | 1,28 | 0,02 | 2,25 | 0,13 |
| PO-79 | Prado | 314,74 | 14,47 | 300,27 | 6,00 | 190,25 | 5,94 | 4,78 | 1,58 | 1,51 | 1,46 | 0,05 | 2,60 | 0,16 |
| PO-80 | Forestal (P) | 179,99 | 16,21 | 163,78 | 4,50 | 191,75 | 4,96 | 3,64 | 0,85 | 8,24 | 8,12 | 0,12 | 14,21 | 0,42 |
| PO-81 | Prado | 230,13 | 4,34 | 225,79 | 2,00 | 194,25 | 5,87 | 4,80 | 1,16 | 5,20 | 4,89 | 0,31 | 8,96 | 0,37 |
| PO-82 | Cultivo | 190,77 | 1,66 | 189,11 | 0,50 | 195,75 | 5,67 | 4,47 | 0,97 | 4,99 | 4,91 | 0,08 | 8,61 | 0,38 |

*P: pino; E: eucalipto; R: roble; P. S.: peso total del suelo seco; P Gr.: peso de gravas; P T.F.: peso de la tierra fina; V Gr.: volumen de gravas; V. T.F.: volumen de la tierra fina; D.a.: densidad aparente; Ct: carbono total; Cox: carbono oxidable; C no ox: carbono no oxidable M.O.: materia orgánica; Nt: nitrógeno; *: el %C no ox se considera como %C-carbonatos; **: el porcentaje de M.O. se calcula como %Cox-1,724.*

4.1.1. pH

Existe una amplia variabilidad en las características ácido-base en el conjunto de las muestras. El valor de acidez actual, pH en agua, varía entre un mínimo de 4,2 y un máximo de 8,9 (Tabla 4-2).

Los suelos naturales, matorrales y forestales, tienen en general valores ácidos con un valor medio de 5,01; sólo en un caso, un pinar muy próximo al litoral en la zona de Corrubedo, se supera ampliamente este valor (muestra PO-76). Estos valores de pH se ajustan a las condiciones dominantes de los suelos naturales de Galicia, con pH entre 4,5 y 5,5 (Macías *et al.*, 2004).

El promedio en prados y cultivos es algo mayor (alrededor de 5,8), reconociéndose la adición de enclantes, así como el efecto de la proximidad al litoral

en aquellas muestras que representan los valores máximos (8,38 en una muestra de prado situada al lado de la costa, muestra PO-74). En los viñedos, casi todos recogidos en la zona de Cambados, el valor de pH es considerablemente mayor que en los demás usos. En estos suelos el encalado es una constante, aplicándose muy frecuentemente CaCO_3 como concha de mejillón.

El pH en KCl presenta valores más bajos que el pH en H_2O para todos los usos del suelo (Tabla 4-2), normalmente una unidad menos de pH en los promedios. El pH en KCl representa la acidez potencial, la disminución en el valor de pH se debe a que el cloruro de potasio es un intercambiador más fuerte que el agua y desplaza, sobre todo, el Al^{+3} del complejo de cambio. La presencia de formas de Al es típica de los suelos de Galicia, donde las elevadas precipitaciones y el rápido drenaje provocan un fuerte lavado de las bases de cambio (especialmente Ca, Na, y Mg) y la acidificación del complejo de cambio, principalmente por cationes aluminicos, y en menor medida por protones (Macías *et al.*, 2004). Considerando el conjunto de las muestras, existe una elevada correlación entre los valores de pH en agua y en kCl, $R^2 = 0,896$ (Figura 4-1).

Tabla 4-2. Resumen del estado ácido-base de los suelos del estudio distribuido según usos.

| Uso | Monte Bajo | | Forestal | | Prado | | Cultivo | | Viñedo | |
|-------------|-------------------------|--------|-------------------------|--------|-------------------------|--------|-------------------------|--------|-------------------------|--------|
| | pH H_2O | pH KCl | pH H_2O | pH KCl | pH H_2O | pH KCl | pH H_2O | pH KCl | pH H_2O | pH KCl |
| Mínimo | 4,53 | 3,49 | 4,19 | 3,47 | 4,66 | 3,92 | 4,40 | 3,78 | 6,05 | 5,06 |
| Promedio | 4,99 | 3,88 | 5,03 | 4,07 | 5,85 | 4,68 | 5,81 | 4,77 | 7,12 | 6,25 |
| Máximo | 5,62 | 4,21 | 8,92 | 8,31 | 8,38 | 7,75 | 7,76 | 6,89 | 8,06 | 7,30 |
| Mediana | 4,84 | 3,92 | 4,96 | 3,97 | 5,79 | 4,55 | 5,75 | 4,47 | 7,19 | 6,41 |
| Nº muestras | 7 | | 29 | | 22 | | 15 | | 8 | |

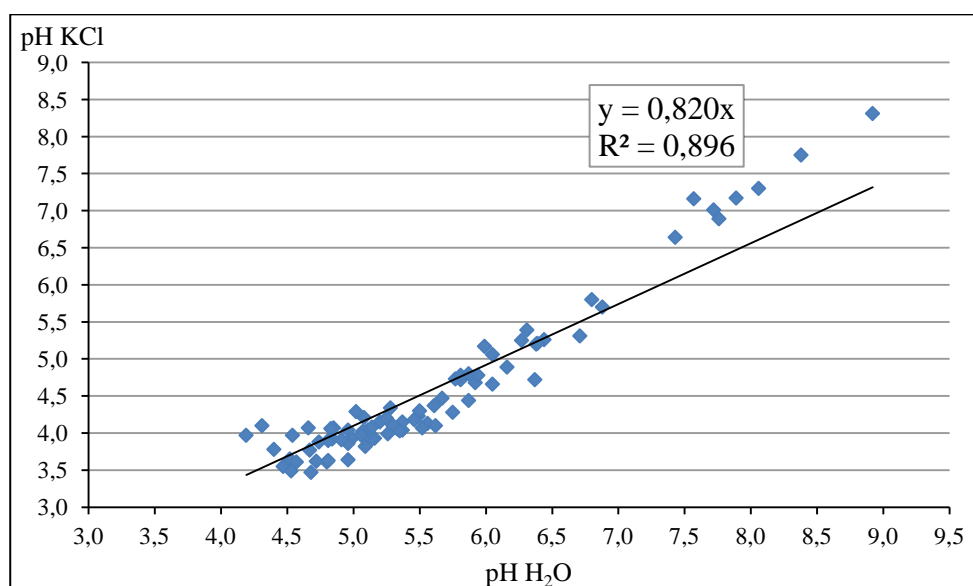


Figura 4-1. Relación entre el pH de los suelos medido H_2O y en KCl.

4.1.3. Carbono total

El contenido de Ct en el conjunto de los suelos estudiados (considerando todos los usos) varía ampliamente entre 1,31 y 16,52% (Figura 4-3), aunque el intervalo más frecuente está entre 1,31 y 11%. En este intervalo varían tanto las muestras recogidas en el NE de la provincia como las del NO. Las nubes de puntos relativamente homogéneas para las dos series de datos indican que la variabilidad en el contenido de carbono no obedece a factores ligados a la posición en el paisaje o a las diferencias climáticas ligadas a la mayor o menor proximidad a la costa. Por este motivo no se han diferenciado, dentro de cada uso, las muestras tomadas en el interior de las muestras próximas al litoral.

Atendiendo a estos resultados, y teniendo en cuenta las conclusiones obtenidas en un estudio realizado a partir de 1315 perfiles de suelos distribuidos por toda la España Peninsular, que revelan que el clima y el uso son los factores de mayor influencia en el contenido de carbono en los suelos, sobre todo en zonas húmedas como Galicia (Hontoria *et al.*, 2004), se considera el tipo de uso el principal condicionante del contenido de carbono en los suelos estudiados.

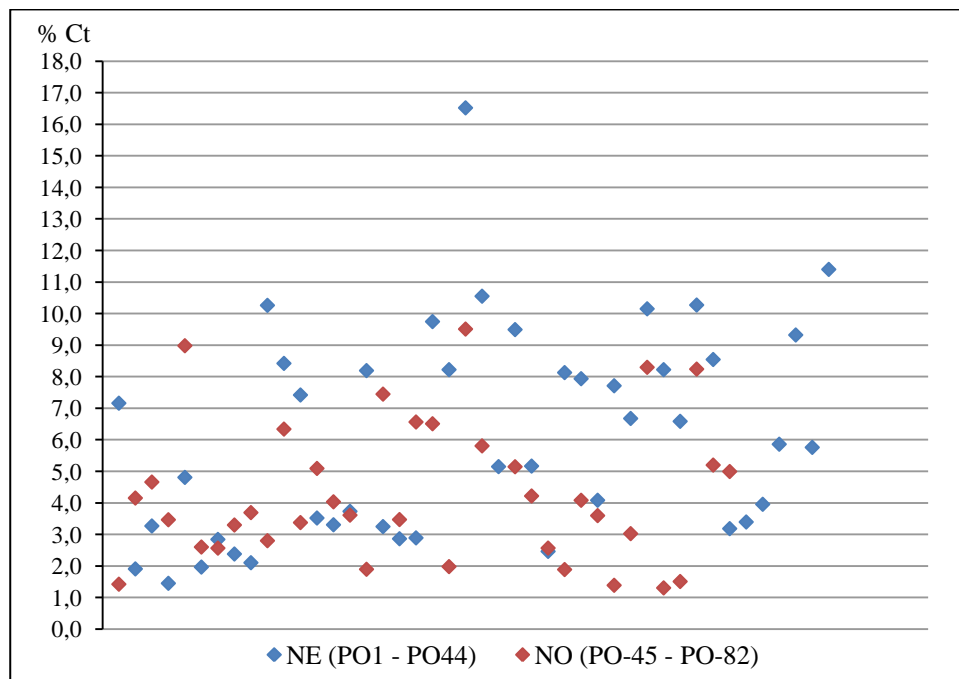


Figura 4-3. Distribución del Ct diferenciándose las muestras según su situación geográfica NE-NO.

En la Figura 4-4 se analizan las diferencias de Ct entre los distintos usos considerados. Los suelos de monte bajo presentan el mayor contenido de Ct, con un

valor mediana de 9,49% y un intervalo de variación entre 5,15 y 16,52%. Le siguen en importancia los suelos forestales, entre los que se han diferenciado los bosques de roble (mediana: 7,80 %; intervalo de variación: 4,81-11,40%) y los suelos de repoblación con pino y/o eucalipto (mediana: 7,16%; rango de variación: 1,39-10,27%). Las escasas diferencias observadas en sus contenidos de carbono no permiten hacer una diferenciación significativa entre ellos. Finalmente, los prados, cultivos y viñedos con valores de mediana de 3,45, 2,89 y 3,75%, e intervalos de variación entre 1,51-10,15, 1,31-8,22 y 1,90-6,39% respectivamente, presentan los contenidos menores de carbono.

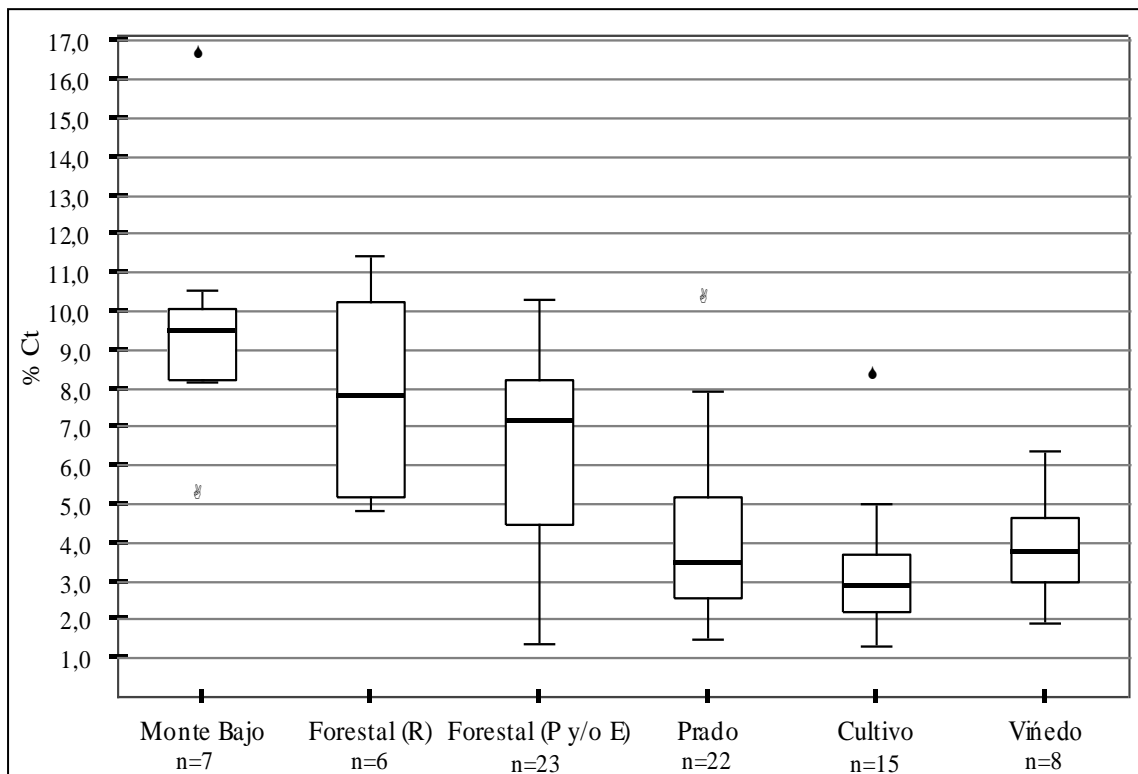


Figura 4-4. Diagramas de cajas (% Ct) para cada uso del suelo .Se representan: la mediana), Q_1 , Q_3 (bordes inferior y superior de la caja). Los valores más pequeños y más grandes que están dentro de los límites $Q_1-1,5\cdot Ri$ y $Q_3+1,5\cdot Ri$ constituyen los bigotes del gráfico, Ri es el rango intercuartílico (Q_3-Q_1). Los valores no incluidos en estos límites se consideran valores atípicos, dentro de ellos se diferencian los atípicos moderados (o) situados en $(Q_1-3\cdot Ri, Q_1-1,5\cdot Ri]$ ó en $[Q_3+1,5\cdot Ri, Q_3+3\cdot Ri)$ y los atípicos extremos(*) situados $\leq Q_1-3\cdot Ri$ ó $\geq Q_3+3\cdot Ri$.

Las formas de C en los suelos se pueden diferenciar en formas orgánicas (humus), formas inorgánicas (carbonatos), formas inorgánicas solubles (CO_2 disuelto e iones derivados según el pH) y formas orgánicas solubles. En los suelos de Galicia los carbonatos son rápidamente disueltos y las concentraciones de las formas solubles y gaseosas son poco significativas, por lo que son las formas húmicas (C orgánico) las

dominantes (Macías *et al.*, 2004). En las muestras del estudio, la cantidad de C_t observada se corresponde con formas orgánicas, excepto en el caso de dos muestras en las que se ha estimado la presencia de carbonatos (PO-74 y PO-76, Tabla 4-1).

Como se ha explicado en el primer capítulo, el contenido de materia orgánica del suelo resulta del balance neto entre los aportes por biomasa y la mineralización derivada de los procesos de descomposición. Los factores climáticos son relevantes en los dos parámetros del balance, al influir tanto en la productividad (y, por lo tanto, en los aportes al suelo), como en la descomposición por actividad microbiana. En los suelos del estudio, los factores climáticos no presentan variabilidad significativa, de manera que los contenidos de carbono observados pueden explicarse más por diferencias en el aporte de biomasa vegetal que por la eficacia de la descomposición y mineralización en los diferentes ambientes. En este sentido, la cantidad, naturaleza y disposición de los restos vegetales que lleguen al suelo van a condicionar en gran medida su contenido de C, de forma que, aportes ricos en compuestos de C de lenta degradación (aromáticos, ceras, ligninas) y una incorporación en el interior del suelo (derivada de raíces más que de hojas) van a favorecer la acumulación de materia orgánica (Macías *et al.*, 2004).

Los suelos con mayor contenido de carbono orgánico son los de monte bajo y forestales. Sin duda, la menor extracción de biomasa, o la no extracción en caso de algunos suelos de matorral, y la mayor entrada de restos vegetales, más lignificados, son dos de los factores a tener en cuenta; pero también otros tales como la densidad de planta (el marco de plantación en el caso de los suelos forestales), la edad de la población (los individuos jóvenes presentan mayor productividad), la tala de bosques de repoblación, los incendios y otros, contribuyen a la variabilidad final del *stock* de carbono.

Por otra parte, muchos de los suelos denominados “forestales” en este estudio, presentan un sotobosque con matorrales y/o gramíneas, de manera que podrían ser tratados como de “uso mixto”. En otros casos, las prácticas silvícolas eliminaron el sotobosque. Dado el carácter irregular de estas prácticas, tanto a lo largo del año como entre distintos años, no se ha considerado un patrón determinado para cada parcela del estudio. Los resultados obtenidos reflejan una variabilidad dependiente tanto del uso mayoritario, como del manejo.

Aunque en las muestras analizadas, no se han observado grandes diferencias en el contenido de C entre los suelos forestales de roble y los suelos con pinos y/o eucaliptos, en otros estudios realizados en Galicia (Macías *et al.*, 2004) se han visto mayores contenidos de carbono en los suelos de pinar, con respecto a los suelos de

robles, eucaliptales y bosques mixtos; y a su vez, mayores contenidos de carbono en robledales que en eucaliptales.

El contenido de carbono de suelos forestales y de monte bajo en este estudio se ajusta a los valores observados en otros suelos de Galicia, así, en un estudio de 3000 muestras de horizontes superficiales de suelos de la comunidad gallega se ha visto que los valores más frecuentes en suelos no cultivados están entre 6 y 9% de Ct (Macías & Calvo de Anta, 2001). Considerando el conjunto de suelos de la Península Ibérica los valores obtenidos son relativamente altos; en una base de datos de 766 perfiles de suelos distribuidos por la España Peninsular se han observado contenidos medios de C orgánico (%) en el primer horizonte del suelo de $5,8 \pm 4,0\%$ para matorrales y de $3,9 \pm 3,0\%$ para suelos forestales (Hontoria *et al.*, 1999).

Los suelos bajo prado normalmente presentan mayores cantidades de carbono que los suelos agrícolas. La mayor entrada de restos vegetales (sobre todo a través de raíces) puede justificar este resultado. No obstante, la rotación de cultivos, característica de regiones como Galicia, provoca una cierta homogeneización en muchos suelos, que son cultivados o dedicados a pasto de forma alternativa. Ésta sería la explicación por la que no se observan grandes diferencias entre los contenidos de carbono en suelos de prado y cultivo. Así, se ha visto, que muchos suelos de cultivo, principalmente de maíz, son sustituidos por prados entre los meses de octubre y abril.

Como evidencian distintos estudios realizados en el territorio español (Romanyà *et al.*, 2007; Hontoria *et al.*, 2004) los suelos de cultivo presentan menores contenidos de carbono que los suelos de bosque, matorral y prado. En los suelos de cultivo la tasa anual de entradas de carbono al suelo se reduce con respecto a los sistemas menos extractivos; por otra parte, el laboreo y los períodos en los que el suelo está sin vegetación incrementan la aireación y modifican las condiciones de la capa superior del suelo, acelerando frecuentemente la velocidad de descomposición de la materia orgánica.

En las parcelas del muestreo no se reconocen prácticas de mantenimiento-control de las pérdidas de materia orgánica, tales como prácticas de laboreo mínimo; por lo tanto, no han sido consideradas en la discusión de estos resultados. No obstante, sí se ha reconocido la adición de residuos orgánicos, tales como estiércoles y restos de cosechas (práctica habitual en los suelos cultivados de Galicia), que incrementan el contenido de carbono en el suelo. La adición no se realiza de modo regular en todos los suelos y años. Durante el muestreo se observó que esta práctica fue particularmente frecuente en los suelos de viñedo. Una encuesta realizada a viticultores de la zona

confirmó el carácter extensivo de esta adición a todos (o la mayoría) de estos suelos. En definitiva, la aplicación de residuos orgánicos en cultivos y viñedos explica los contenidos de C más elevados (de lo que cabría esperar), particularmente en los suelos de viñedo.

Comparando estos resultados con los obtenidos en otros estudios (Hontoria *et al*, 1999), de nuevo se observa que el contenido de carbono está por encima de la media de los cultivos del territorio español: $1,0 \pm 0,8\%$ Co en cultivos leñosos y $1,2 \pm 1,0\%$ en cultivos herbáceos.

En estudios realizados en distintas zonas de Galicia, se ha comprobado que los suelos cultivados tienen entre un 30 y un 50% menos de C que los suelos con vegetación natural o forestal bajo las mismas condiciones climáticas y litológicas, y las praderas han perdido entre un 20 y un 30% del contenido original (Macías & Calvo de Anta, 2001).

4.1.4. Carbono oxidable y carbono no oxidable

En el suelo existen formas de carbono con distinta estabilidad y tendencia al equilibrio con el medio. Dentro de ellas, el carbono oxidable representa las formas lábiles de C, formas orgánicas menos estables que tienen una mayor tendencia al equilibrio con las condiciones edáficas. El contenido de Cox (C orgánico) con respecto al Ct ($\text{Cox} \cdot 100 / \text{Ct}$) varía entre 7% (muestra PO-74) y 99%, con un valor medio en el conjunto de las muestras del 92% y un valor de mediana del 93%. La Figura 4-5 muestra que hay una alta correlación entre el porcentaje de Cox y el de Ct, R^2 0,99.

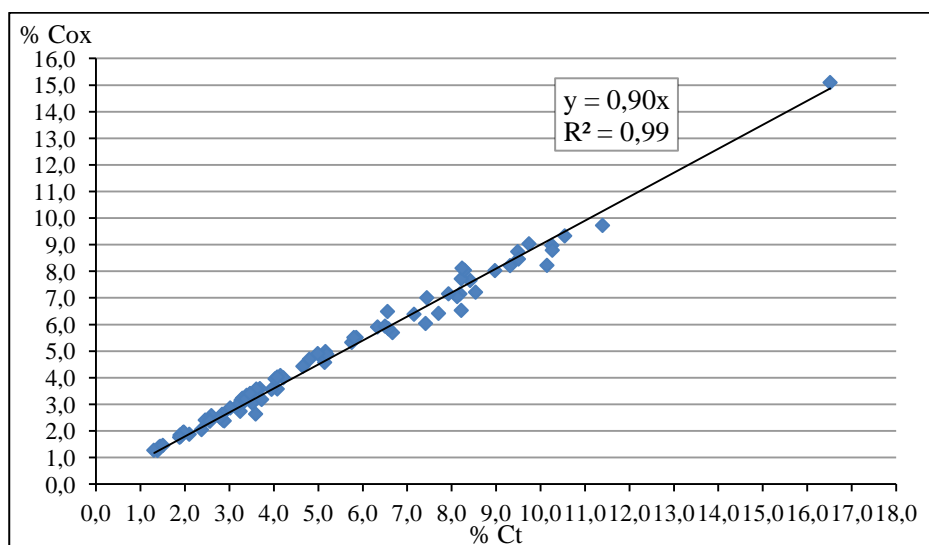


Figura 4-5. Relación entre el C total y el C oxidable en el conjunto de las muestras.

En la Figura 4-6 se representa el fraccionamiento del porcentaje de C total en C oxidable y C no oxidable para cada una de las muestras del estudio. En todas ellas el contenido de Cox siempre es mayor que el de C no ox.

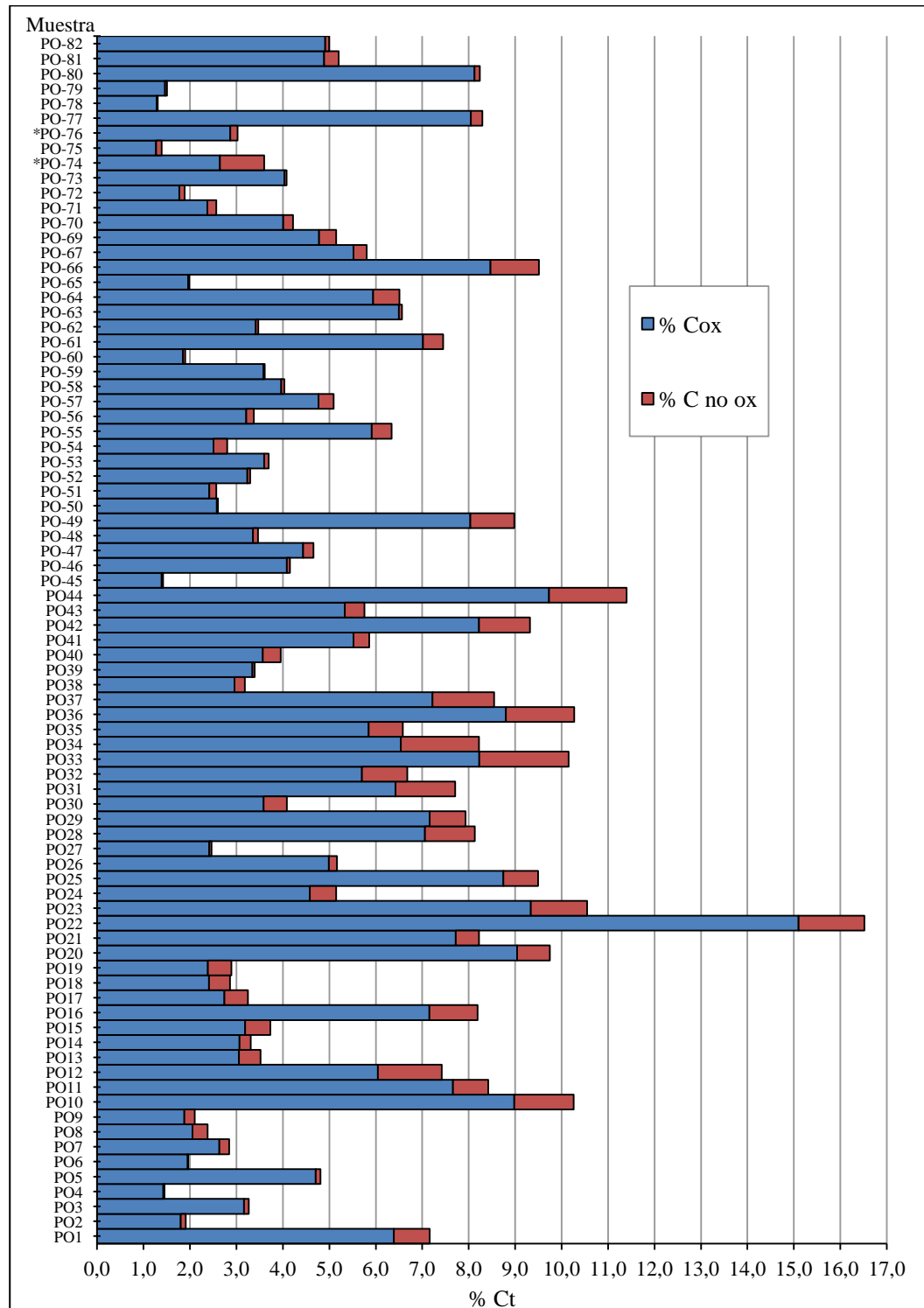


Figura 4-6. Fraccionamiento del carbono total en C ox (% Cox) y C no ox (% C no ox) para cada una de las muestras del estudio. *: el % de C no ox se considera % de $C-CO_3^{-2}$.

Cabe aclarar, que en las muestras PO-74 y PO-76 el porcentaje de carbono no oxidable se considera como porcentaje de C inorgánico en forma de carbonatos, dado que estas muestras, situadas muy próximas al litoral, presentan abundantes restos de conchas y valores de pH por encima de 8. En todas las demás muestras el C no ox está representado por formas orgánicas.

El C no ox (en las muestras sin carbonatos) representa las formas más recalcitrantes de C, son formas orgánicas de mayor estabilidad, que pueden escapar a la actuación de los procesos bióticos y oxidativos y mantenerse estables durante más tiempo. Se trataría de mezclas de C-lignina, carbones resultado de combustión incompleta (incendios forestales) y/o macromoléculas hidrofóbicas estabilizadas por procesos de polimerización o por su unión con elementos minerales (Almendros, 2004).

El mayor o menor contenido de formas recalcitrantes en un suelo puede depender de su uso, según la naturaleza de los restos orgánicos que llegan a él y de los mecanismos de estabilización de la materia orgánica dominantes. En primer lugar, los restos vegetales más lignificados tienen mayor persistencia en el suelo, principalmente aquellos aportados por sistemas forestales o matorrales; en segundo lugar los procesos de absorción a las superficies minerales y la complejación con elementos metálicos son los mecanismos de estabilización más importantes (Macías *et al.*, 2005).

Para este estudio, el porcentaje de C recalcitrante (% Cr), calculado como $\% C \text{ no ox} \cdot 100 / \% C_t$ (Figura 4-7), presenta valores que van desde el 0,7% al 20,5% (se excluyen las muestras PO-74 y PO-76). Los suelos de monte bajo presentan valores con un rango de variación entre 3 y 13%, mayoritariamente alrededor del 11%. En suelos forestales, prados y cultivos se reconoce una gran dispersión, desde valores mínimos próximos al 1% hasta máximos próximos al 18%. Los viñedos presentan los valores más bajos y con menor dispersión entre todos los usos, con un mínimo del 0,7%, valores mayoritarios próximos al 2% y un máximo cerca del 7%.

Aunque cabría esperar mayor contenido de formas recalcitrantes en los suelos de matorral y forestales, por aportes más lignificados y por la posible presencia de carbones resultantes de incendios forestales, tan recurrentes en este tipo de suelos en Galicia, la dispersión de los datos dentro de los distintos usos no permite establecer diferencias claras. Simplemente, se puede afirmar que los viñedos presentan el menor contenido de formas recalcitrantes de C.

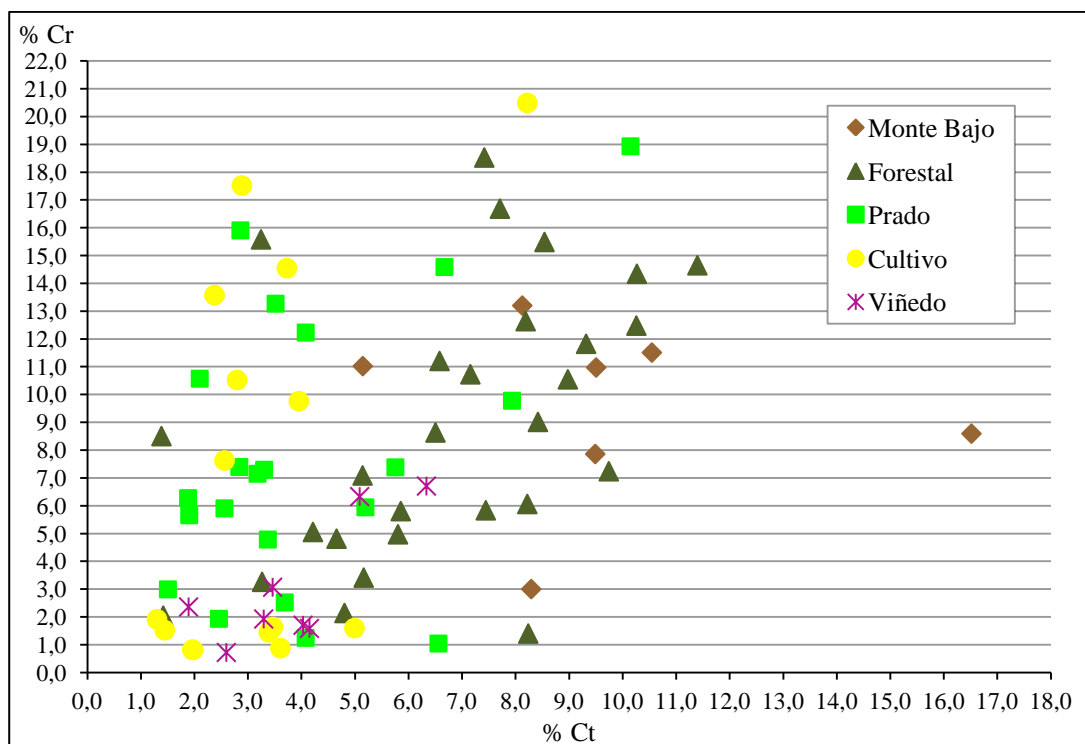


Figura 4-7. Porcentaje de C recalcitrante ($C_{no\ ox} \cdot 100 / C_t$) respecto al C_t del suelo para el conjunto de las muestras según el uso.

4.1.2. Densidad aparente

Los suelos presentan una densidad aparente (D.a.) que varía entre 0,6 y 1,64 g/cm^3 , con un promedio (y mediana) de 1,07 g/cm^3 (Figura 4-2).

El contenido de materia orgánica está estrechamente relacionado con la densidad aparente del suelo, de forma que una disminución de la primera está asociada a un aumento de la densidad aparente del suelo. Esto se pone de manifiesto en la Figura 4-2, con menos del 6% de carbono total de densidad del material es mayoritariamente superior a 1 g/cm^3 , a partir de este valor la densidad aparente desciende paulatinamente hasta valores próximos a 0,8 g/cm^3 .

Al haber una relación entre la densidad aparente y el C_t , las diferencias según los usos del suelo son claras. Los suelos forestales y de monte bajo presentan una densidad aparente entre 0,8 y 1 g/cm^3 , es en estos usos donde aparecen los valores mínimos. Sin embargo, el máximo valor de densidad aparente (1,64) también está representado por un suelo forestal, pero se trata de un pinar muy próximo a la línea de costa con un gran contenido de arena (muestra PO-76). Los suelos de prado, cultivo y viñedo presentan los valores de D.a más elevados entre 1,2 y 1,4 g/cm^3 .

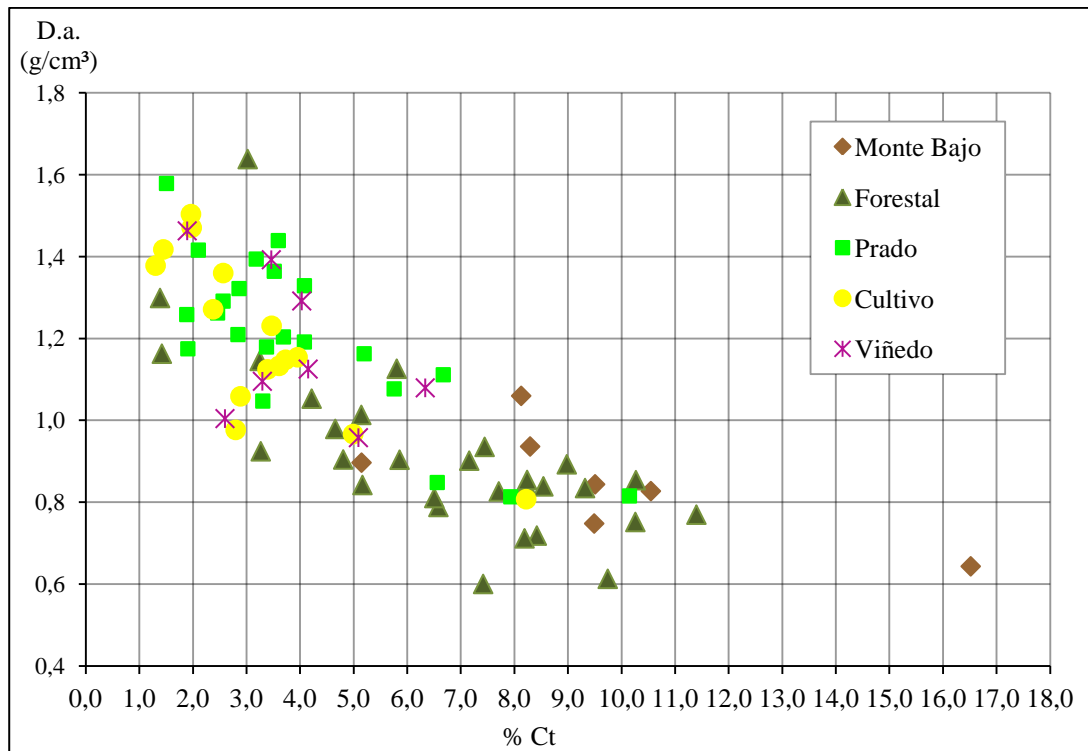


Figura 4-2. Variación de la densidad aparente en relación al contenido de carbono total y uso del suelo.

4.1.5. Nitrógeno total

La calidad o naturaleza de la materia orgánica de los suelos puede derivarse, en cierta medida, de los contenidos de nitrógeno del suelo y de la relación C/N. El nitrógeno total del suelo está constituido por formas orgánicas (proteínas, péptidos, aminas, aminoácidos...), que son las mayoritarias, y por las formas inorgánicas. Éstas últimas están representadas por las formas amoniacales (NH_4^+), nitratos (NO_3^-) y nitritos (NO_2^-).

El contenido de N total de las muestras del estudio varía entre 0,06 y 1,28% (Tabla 4-3). Los valores más elevados se reconocen en los suelos de monte bajo, que presentan un valor promedio de 0,67% y una mediana de 0,62%, dentro de un intervalo entre 0,32 y 1,28%. En segundo lugar están los suelos de uso forestal, con casi la mitad de N que los suelos de monte bajo (0,34% de promedio y mediana y rango de variación 0,06-0,78%). Los suelos de prado, cultivo y viñedo presentan menores contenidos de nitrógeno.

Estos resultados ponen de manifiesto la importancia de especies vegetales de tipo leguminosas, fijadoras de N atmosférico, en los suelos de monte bajo y uso mixto forestal-monte bajo, principalmente tojos y retamas (*Ulex europaeus* y *Cytisus*

scoparius). Los cultivos y prados son extractores del N edáfico, de manera que para mantener la productividad en estos usos se requiere la adición de fertilizantes nitrogenados minerales (en forma de nitratos o compuestos amoniacales) u orgánicos (estiércol rico en proteínas vegetales y purines). El balance en estos suelos resultará variable en función del manejo, entre otros parámetros.

Tabla 4-3. Resumen del contenido de nitrógeno (%) de los suelos según el uso.

| Uso | Monte Bajo | Forestal | Prado | Cultivo | Viñedo |
|----------------|------------|----------|-------|---------|--------|
| Mínimo | 0,32 | 0,06 | 0,13 | 0,12 | 0,12 |
| Q ₁ | 0,50 | 0,25 | 0,20 | 0,17 | 0,19 |
| Mediana | 0,62 | 0,34 | 0,26 | 0,22 | 0,25 |
| Q ₃ | 0,73 | 0,43 | 0,40 | 0,36 | 0,29 |
| Máximo | 1,28 | 0,78 | 0,64 | 0,52 | 0,41 |
| Promedio | 0,67 | 0,34 | 0,31 | 0,26 | 0,25 |
| Desv. est. | 0,31 | 0,17 | 0,16 | 0,13 | 0,10 |
| Nº muestras | 7 | 29 | 22 | 15 | 8 |

La relación C/N del suelo expresa con mejor definición la naturaleza de la materia orgánica. Valores elevados de la relación (>20) son indicativos de compuestos orgánicos con bajos contenidos proteicos en relación a otros compuestos. Su labilidad o sensibilidad a la descomposición/mineralización se considera de ligera a baja. Valores bajos (<15) definen compuestos orgánicos ricos en proteínas, fácilmente descomponibles por la actividad biológica del suelo.

En los suelos del estudio, los valores más elevados del parámetro C/N corresponden a los suelos forestales (mediana: 18,39; intervalo: 13-53). Según esto, los elevados contenidos (en general) de carbono de estos suelos guardan relación, además de con los aportes anuales netos por biomasa, con un elevado grado de estabilidad frente a las poblaciones microbianas (Tabla 4-4). Los suelos de monte bajo presentan relaciones C/N que oscilan entre 13 y 19 (mediana: 14,19), la materia orgánica de estos suelos presentan una mayor labilidad (más fácilmente descomponible) frente a los suelos forestales. Los suelos de cultivo y prado presentan las relación C/N más baja del conjunto de los usos (el valor de mediana está en torno a 13). Por último, los suelos de viñedo presentan una relación bastante elevada (valor de mediana de 15,28), mayor que en cultivos, prados y matorrales.

El conjunto de estos resultados justifican, en cierta medida, la morfología de los horizontes humíferos de los suelos del estudio. Bajo cubiertas forestales y matorrales predomina el humus de tipo *moder*, mientras que en cultivos y prados se reconoce un mayor grado de descomposición hacia la formación de humus *mull* (alto grado de descomposición, no reconocimiento de tejidos vegetales, color oscuro, estructura

migajosa, etc).

Tabla 4-4. Resumen de la relación C/N en los suelos del estudio según el uso.

| Uso | Monte Bajo | Forestal | Prado | Cultivo | Viñedo |
|----------------|------------|----------|-------|---------|--------|
| Mínimo | 12,90 | 13,12 | 5,65 | 7,65 | 14,32 |
| Q ₁ | 13,13 | 16,18 | 11,73 | 11,37 | 14,78 |
| Mediana | 14,19 | 18,39 | 13,07 | 13,08 | 15,28 |
| Q ₃ | 16,65 | 22,86 | 14,00 | 13,83 | 15,81 |
| Máximo | 18,98 | 53,00 | 22,85 | 17,76 | 17,50 |
| Promedio | 15,09 | 21,55 | 13,34 | 12,53 | 15,51 |
| Desv. est. | 2,36 | 9,06 | 3,48 | 2,59 | 1,05 |
| Nº muestras | 7 | 29 | 22 | 15 | 8 |

La relación C/N suele ser más elevada cuanto mayor es la estabilidad de la materia orgánica y menor su oxidabilidad (menor porcentaje Cox frente al C total). En este estudio, estos resultados no son fácilmente apreciables en la medida en que apenas hay variaciones en la proporción de carbono oxidable (más del 90% en la mayoría de los suelos) (Figura 4-8).

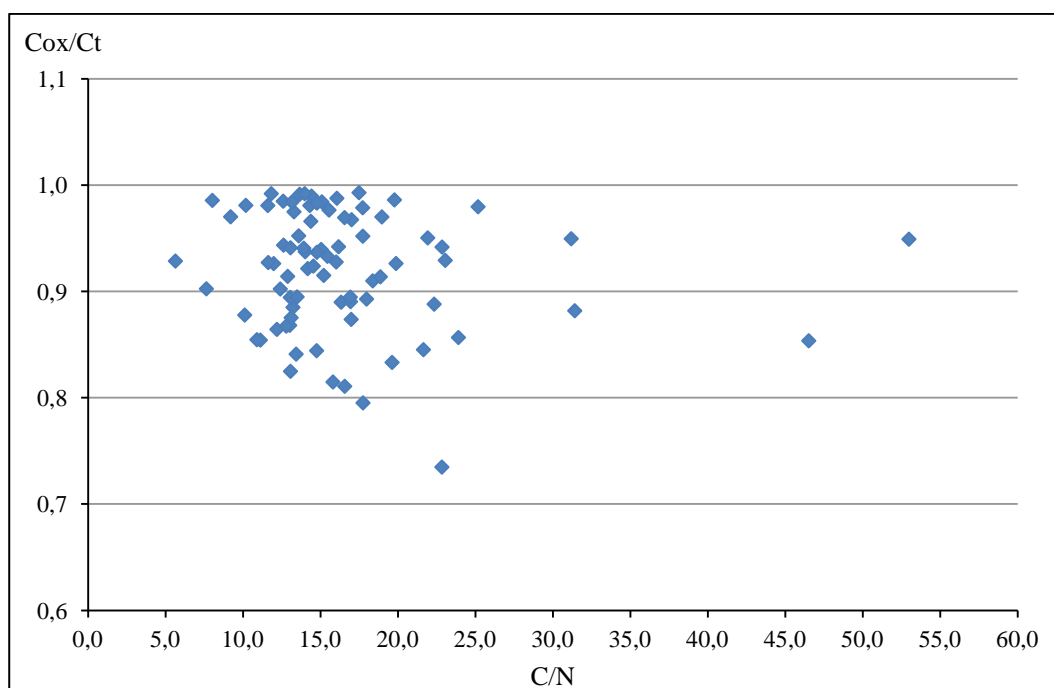


Figura 4-8. Variaciones de la relación C/N vs Cox/Ct en el conjunto de las muestras.

4.2. Otros suelos: Suelos de la zona sur de Galicia

4.2.1. Horizontes superficiales

4.2.1.1. Análisis estadístico de datos

Para mejorar la interpretación de los resultados propios, y como contribución al proyecto de investigación del que forma parte este trabajo, se ha realizado un estudio estadístico considerando un total de 843 muestras de horizontes superficiales de las provincias de Pontevedra, Ourense y sur de A Coruña. El objetivo de este análisis es saber si existen diferencias significativas en los contenidos de C total entre los diferentes usos del suelo. En la Figura 4-9 se representa la distribución, según usos del suelo, del conjunto de las muestras. El 39% de estos suelos es de uso forestal, fundamentalmente bosques de repoblación con pino y eucalipto; 26% de monte bajo con matorrales de tojo y brezos; 20% de prados, probablemente con rotación prado-cultivo; 10% de cultivo (el día del muestreo); 4% de viñedo y 1% de marisma representados únicamente por 8 muestras en la provincia de Pontevedra.

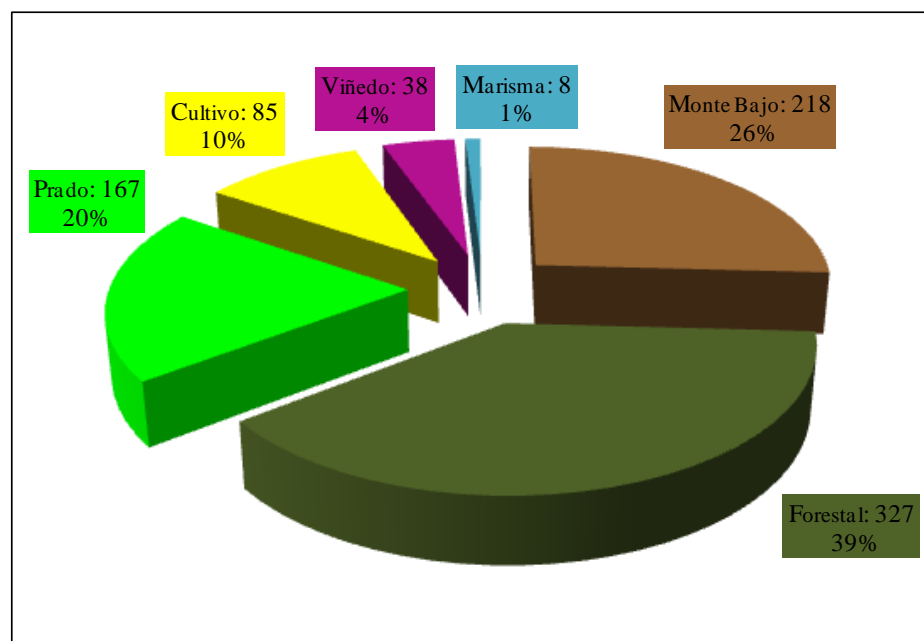


Figura 4-9. Distribución según usos del suelo del conjunto de muestras incluidas en el análisis estadístico.

- Prueba de normalidad

El contenido de carbono total del conjunto de estas muestras varía entre 0,18 y 23%, según una distribución fuertemente asimétrica, en donde predominan valores en

torno a 4%.(Figura 4-10).

El test de Kolmogorov-Smirnov, aplicado para contrastar la hipótesis de normalidad de la población, revela que ésta no se ajusta a una distribución normal ($\text{sig}<0,05$) (Tabla 4-5). En consecuencia, se utilizarán contrastes no paramétricos para el análisis estadístico de los datos.

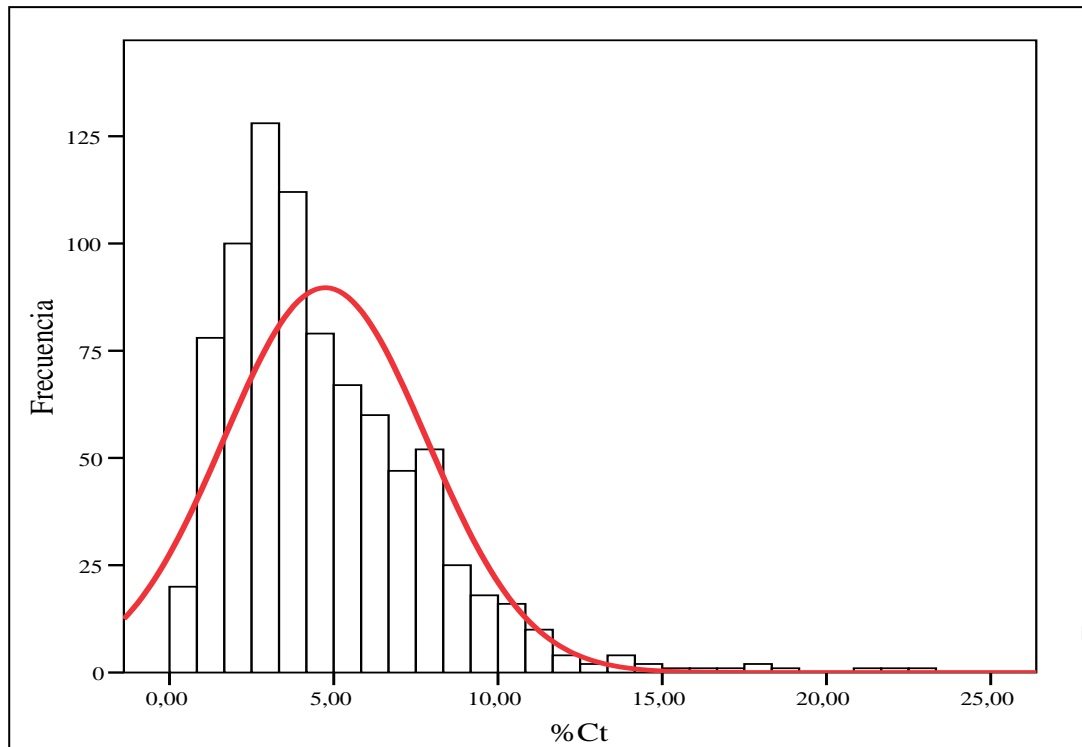


Figura 4-10. Histograma de la distribución de frecuencias del % Ct con curva de normalidad.

Tabla 4-5. Resultados de la prueba de normalidad

| | Kolmogorov-Smirnov(a) | | |
|------|-----------------------|-----|-------|
| | Estadístico | gl | Sig. |
| % Ct | 0,109 | 843 | 0,000 |

a: Corrección de la significación de Lilliefors

- Prueba H de Kruskal-Wallis

Esta prueba no paramétrica, equivalente al test ANOVA para poblaciones con distribución normal, se realiza para establecer si hay o no diferencias significativas en el contenido de Ct entre los diferentes usos del suelo. El resultado de esta prueba se recoge en la Tabla 4-6: dado que el nivel crítico (significación asintótica) es $<0,05$ se rechaza la hipótesis de igualdad de los grupos comparados. En conclusión, hay diferencias entre el

contenido total de C para los distintos usos de suelo.

Tabla 4-6. Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis.

| Rangos | | | | Estadísticos de contraste(a,b) | |
|--------|------------|-----|----------------|--------------------------------|---|
| %Ct | Uso | Nº | Rango promedio | | Uso |
| | Monte Bajo | 218 | 488,24 | Chi-cuadrado | 69,826 |
| | Forestal | 327 | 449,71 | | |
| | Prado | 167 | 383,54 | Grados de libertad | 5 |
| | Cultivo | 85 | 323,24 | | |
| | Viñedo | 38 | 201,70 | Significación asintótica | 0,000 |
| | Marisma | 8 | 383,06 | | |
| | Total | 843 | | | |
| | | | | | a: Prueba de Kruskal-Wallis b: Variable de agrupación: Uso |

- Prueba de Mann-Whitney

La prueba de Mann-Whitney se ha realizado para establecer qué grupos de uso difieren entre sí, considerando dos muestras independientes, pero acompañada de la corrección de Bonferroni para controlar la tasa de error. Puesto que son 6 grupos de uso, es necesario hacer 15 comparaciones. De acuerdo con la corrección de Bonferroni las decisiones están basadas en un nivel de significación de $0,05/15 = 0,0033$. Es decir, dos grupos difieren significativamente cuando el nivel crítico obtenido es menor a 0,0033.

El resultado de esta prueba se recoge en la Tabla 4-7, donde se reflejan los niveles de significación para cada una de las comparaciones. Se obtienen las siguientes conclusiones:

- El contenido de carbono total en suelos de monte bajo no difiere significativamente ($\text{sig} = 0,055$) del contenido en suelos forestales, sin embargo el Ct en estos dos usos si difiere significativamente de los suelos de prado, cultivo y viñedo.

- Los suelos de prado y cultivo no presentan diferencias significativas entre sus contenidos de carbono total ($\text{sig} = 0,027$), no obstante si difieren con los contenidos en monte bajo, uso forestal y viñedos.

- Los suelos de viñedo difieren significativamente en el contenido de C con todos los demás grupos.

- Los suelos de marisma no difieren significativamente con ninguno de los grupos, hecho que se justifica por el escaso número de muestras incluidas en este uso (8) y por la fuerte dispersión en sus contenidos de C total.

Tabla 4-7. Resultados obtenidos a partir de la prueba de Mann-Whitney.

| ¿Difiere significativamente el contenido de Ct entre..? | Monte Bajo | Forestal | Prado | Cultivo | Viñedo | Marisma |
|---|------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Monte Bajo | | No Sig=0,055 | Sí Sig=0,00297 | Sí Sig=0,000 | Sí Sig=0,000 | No Sig=0,559 |
| Forestal | | | Sí Sig=0,002 | Sí Sig=0,000 | Sí Sig=0,000 | No Sig=0,552 |
| Prado | | | | No Sig=0,027 | Sí Sig=0,000 | No Sig=0,587 |
| Cultivo | | | | | Sí Sig=0,002 | No Sig=0,864 |
| Viñedo | | | | | | No Sig=0,214 |
| Marisma | | | | | | |

El conjunto de los datos se representa finalmente mediante un diagrama de cajas (Figura 4-11). Éste permite establecer comparaciones con los resultados obtenidos en la primera parte de este trabajo (“suelos del estudio”: suelos muestreados de la provincia de Pontevedra) y obtener conclusiones más generales del contenido de Ct en toda la zona sur de Galicia.

En el conjunto de las muestras y paralelamente a lo observado en los suelos de la primera parte del estudio, los suelos de monte bajo y forestal presentan los mayores contenidos de carbono total. Para los suelos monte bajo el valor de mediana está alrededor de 5,2%, el valor mínimo es de 0,18% y el máximo de 22% de Ct. En suelos forestales el valor de mediana está en torno a 4,3%, con un rango de variación desde 0,30 y 23%. Tomando en consideración estos dos usos del suelo, los valores de mediana obtenidos en el conjunto de las muestras son claramente inferiores a los obtenidos en la primera parte de este estudio (9,5% para monte bajo, y 7,80 y 7,16% en suelos forestales), por el contrario, el intervalo de variación en este caso es mayor.

Los suelos de prado y cultivo presentan el mayor contenido de Ct después de los suelos forestales y de matorral. Tienen un valor de mediana de 3,5 y 3% respectivamente, con un intervalo de variación que va desde 1 a 21% en el caso de prados y de 0,5 a 17% en cultivos. Los resultados en estos usos son muy similares a los valores obtenidos en las muestras de la provincia de Pontevedra (primera parte del estudio) cuyos valores de mediana también están comprendidos entre 3,5 y 3% de Ct.

Los suelos de viñedo en el conjunto de las muestras presentan un intervalo de variación entre 0,40 y 6,30%, con un valor de mediana del 2% de Ct. Éste valor es menor que el observado en los suelos de viñedo del noroeste de la provincia de Pontevedra, cuyo valor de mediana es de 3,75%.

Por último los suelos de marisma presentan un valor de mediana próximo a 2,4% y un amplio intervalo de variación entre 1,30 y 18%.

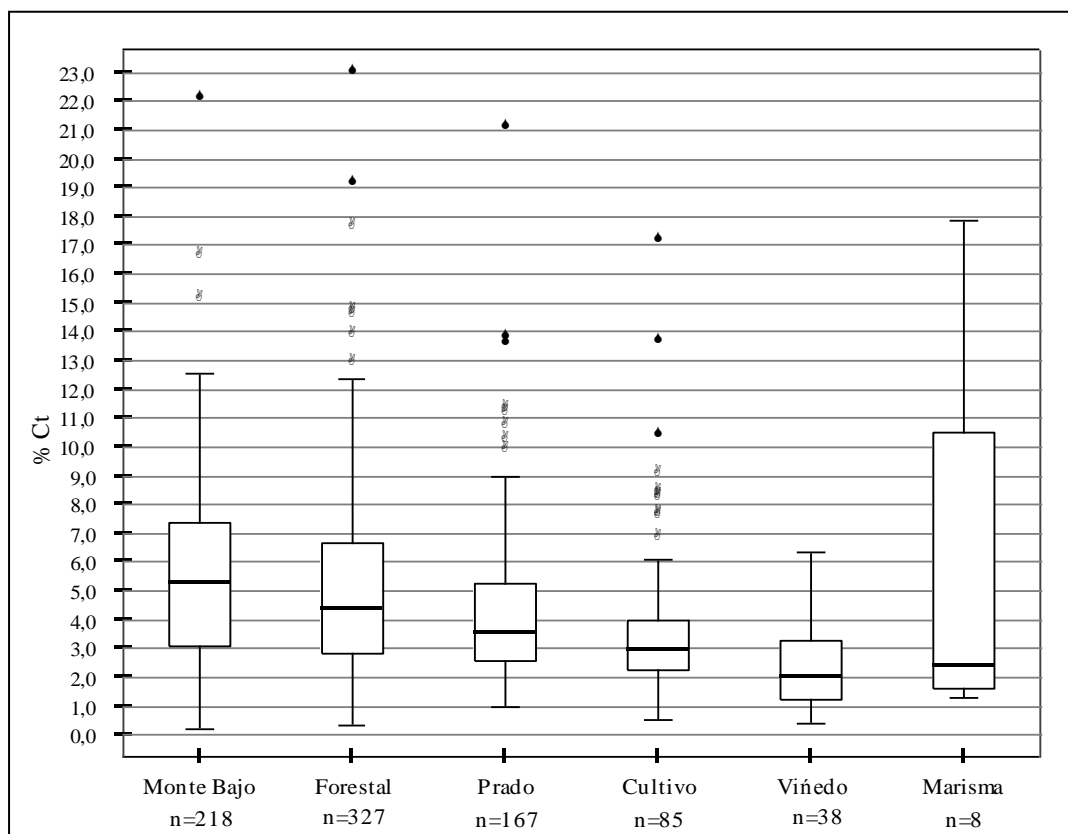


Figura 4-11. Diagramas de cajas y bigotes para los horizontes A de las provincias de Pontevedra, Ourense y sur de A Coruña.

4.1.1.2. Modelización de la distribución de carbono total

Tomando en consideración los resultados obtenidos en el apartado anterior, se ha analizado la distribución del contenido de C en el conjunto de suelos de la zona sur de Galicia diferenciando, por un lado, los datos de las provincias de Pontevedra y sur de A Coruña y, por otro lado, los datos de la provincia de Ourense. Dentro de estos dos grupos se diferenciaron las muestras según los usos del suelo y dentro de cada uso según el intervalo de altitud (<600m, 600-800m y >800m) (Tablas 4-8 y 4-9). Los resultados muestran que la dispersión observada guarda relación con condiciones

climáticas, es decir, con la mayor o menor proximidad al mar y con la altitud.

Para todos los usos estudiados el contenido de carbono de los suelos de las provincias de Pontevedra y sur A Coruña siempre es más elevado que el de suelos de la provincia Ourense.

Para suelos de monte bajo se obtienen valores de medianas de 7,64 y 4,05% para las provincias de Pontevedra y sur de A Coruña y para la provincia la provincia de Ourense respectivamente. El factor de continentalidad se reconoce cuando se comparan muestras con el mismo uso y la misma altitud entre ambas regiones: los suelos de monte bajo de la provincia de Pontevedra y A Coruña siempre presentan mayor contenido de carbono que los de la provincia de Ourense 7,65 y 3,47%, respectivamente en altitudes inferiores a 600 m, y 5,24 y 3,49%, respectivamente, en altitudes de 600-800m. En la provincia de Ourense las variaciones altitudinales se manifiestan en un incremento de materia orgánica del suelo a medida que aumenta la altitud (% Ct: 3,47< 3,49< 4,86).

En los suelos con uso forestal los resultados son muy similares. El contenido de carbono del suelo es siempre más elevado en la provincia de Pontevedra (6,27 y 3,54%, respectivamente), y esta diferencia se mantiene cuando se comparan muestras de un mismo intervalo de altitud (6,35 y 3,47%, respectivamente, a <600m; 6,12 y 3,48%, respectivamente, a altitudes comprendidas entre 600 y 800m). En la provincia de Ourense, los suelos forestales situados a altitudes superiores a 800 m, con un valor de mediana de 3,69% no difieren sustancialmente de los de otras altitudes.

En los suelos de prado, se repite el mismo patrón, considerando todas las muestras, el contenido de carbono es superior en la provincia de Pontevedra que en Ourense (3,75 y 3,38%, respectivamente). Lo mismo ocurre para los rangos de altitud inferiores a 600 m (3,69 y 3,11% respectivamente) y de 600 a 800 m (8,07 y 2,65% respectivamente) aunque el valor de mediana en los suelos de Pontevedra para este último rango, con sólo 4 muestras, no se considera representativo. En los suelos de montaña de Ourense se observa un incremento importante de carbono en relación a los de altitudes más bajas. Algunas muestras de prados de montaña tienen incluso características de suelos turbosos, con más de 20% de carbono.

En los suelos de cultivo las comparaciones son más arriesgadas en la medida que el hombre realiza habitualmente aportes de materia orgánica en forma de estiércol. En todo caso, sigue existiendo una variación similar a la obtenida en los otros usos, con mayores contenidos de carbono en la provincia de Pontevedra (3,06% de mediana; intervalo: 1,29-10,33%) que en Ourense para una altitud <600 m (2,76%; intervalo 0,51-7,50%).

Los suelos de viñedo muestran, como los demás, mayor contenido en carbono en la provincia de Pontevedra (4,03% de mediana; intervalo: 1,90-6,34%) que en Ourense (1,65%; intervalo 0,39-3,53%). El efecto de la continentalidad, pero sobre todo, la adición de estiércol en el manejo de estos suelos en la provincia de Pontevedra, explica las diferencias observadas con respecto a los suelos de Ourense, que no reciben aportes de materia orgánica.

Por último, los suelos de marisma en Pontevedra presentan un valor de mediana de 2,39%. Este dato no se considera representativo ya que la desviación típica para este uso es de 5,80.

El factor clima asociado a la mayor o menor continentalidad, o a la altitud, junto al factor uso del suelo, permite clasificar los resultados obtenidos (% Ct como valor de mediana) en 5 grupos (Tabla 4-10):

- **Grupo 1:** Incluye los suelos forestales y de monte bajo de las provincias de Pontevedra y sur de A Coruña (todos ellos con altitud menor a 800 m) con un contenido de Ct entre el 6,27 y 7,64%.

- **Grupo 2:** Está representado por los suelos de monte bajo de la provincia de Ourense con altitud mayor a 800 m y contenido de carbono de 4,86%.

- **Grupo 3:** Engloba todos los suelos de viñedos (todos con <600m) y los prados con altitud menor a 800 m de las provincias de Pontevedra y sur de A Coruña, así como los prados de montaña (>800m), todos los suelos forestales (<600 a >800) y los suelos de monte bajo menores de 800 m de la provincia de Ourense. El contenido de Ct en este grupo varía entre 3,5 y 4%.

- **Grupo 4:** Incluye todos los suelos de cultivo de la provincia de Pontevedra y sur de A Coruña (<600 m), además de los cultivos y prados menores de 800 de altitud en la provincia de Ourense. Los porcentajes de Ct van desde 2,7 a 3,1%.

- **Grupo 5:** Está representado por los suelos de viñedo de la provincia de Ourense, con un contenido en C de 1,65%.

A partir de la agrupación anterior se ha estimado el contenido absoluto de C en el suelo, expresado en kg C/m^2 , considerando una densidad aparente de $1,0 \text{ g/cm}^3$ y un espesor de 30 cm de suelo (Tabla 4-11). El contenido total de C en el conjunto de los suelos estudiados varía entre 5 y 23 kg/m^2 .

Tabla 4-8. Resumen de datos analíticos del % Ct en los suelos de la provincia de Pontevedra y A Coruña-sur (Anexo: Tabla 7-1). Se distribuyen de acuerdo a usos e intervalo de altitud (m).

| Uso | Monte Bajo | | | | Forestal | | | | Prado | | | | Cultivo | | | | Viñedo | | | | Marisma | | | |
|----------------|------------|-------|---------|-------|----------|-------|---------|-------|-------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|--------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | T | < 600 | 600-800 | > 800 | T | < 600 | 600-800 | > 800 | T | < 600 | 600-800 | > 800 | T | < 600 | 600-800 | > 800 | T | < 600 | 600-800 | > 800 | T | < 600 | 600-800 | > 800 |
| Mínimo | 1,90 | 1,90 | 3,19 | - | 0,92 | 0,92 | 4,96 | - | 1,51 | 1,51 | 6,60 | - | 1,29 | 1,29 | - | - | 1,90 | 1,90 | - | - | 1,29 | 1,29 | - | - |
| Q ₁ | 5,59 | 6,29 | 4,20 | - | 4,22 | 4,18 | 5,32 | - | 3,19 | 3,18 | 7,60 | - | 2,37 | 2,37 | - | - | 3,30 | 3,30 | - | - | 1,71 | 1,71 | - | - |
| Mediana | 7,64 | 7,65 | 5,24 | - | 6,27 | 6,35 | 6,12 | - | 3,75 | 3,69 | 8,07 | - | 3,06 | 3,06 | - | - | 4,03 | 4,03 | - | - | 2,39 | 2,39 | - | - |
| Q ₃ | 9,11 | 9,12 | 8,13 | - | 7,84 | 8,01 | 6,93 | - | 5,90 | 4,71 | 8,23 | - | 3,85 | 3,85 | - | - | 5,09 | 5,09 | - | - | 10,46 | 10,46 | - | - |
| Máximo | 22,02 | 22,02 | 9,49 | - | 14,62 | 14,62 | 9,32 | - | 13,70 | 13,70 | 8,30 | - | 10,33 | 10,33 | - | - | 6,34 | 6,34 | - | - | 17,89 | 17,89 | - | - |
| Promedio | 7,64 | 7,75 | 6,05 | - | 6,26 | 6,25 | 6,41 | - | 4,92 | 4,66 | 7,76 | - | 3,56 | 3,56 | - | - | 4,02 | 4,02 | - | - | 6,03 | 6,03 | - | - |
| Desv. est. | 3,22 | 3,25 | 2,38 | - | 2,60 | 2,65 | 1,44 | - | 2,89 | 2,87 | 0,68 | - | 1,98 | 1,98 | - | - | 1,32 | 1,32 | - | - | 5,80 | 5,80 | - | - |
| Nº muestras | 72 | 67 | 5 | 0 | 125 | 118 | 7 | 0 | 49 | 45 | 4 | 0 | 32 | 32 | 0 | 0 | 9 | 9 | 0 | 0 | 8 | 8 | 0 | 0 |

T: todas las muestras.

Tabla 4-9. Resumen de datos analíticos del % Ct en los suelos de la provincia de Ourense (Anexo: Tabla 7-2). Se distribuyen de acuerdo a usos e intervalo de altitud (m).

| Uso | Monte Bajo | | | | Forestal | | | | Prado | | | | Cultivo | | | | Viñedo | | | |
|----------------|------------|-------|---------|-------|----------|-------|---------|-------|-------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|--------|-------|---------|-------|
| | T | < 600 | 600-800 | > 800 | T | < 600 | 600-800 | > 800 | T | < 600 | 600-800 | > 800 | T | < 600 | 600-800 | > 800 | T | < 600 | 600-800 | > 800 |
| Mínimo | 0,18 | 0,18 | 0,43 | 0,74 | 0,34 | 0,44 | 0,34 | 0,55 | 0,96 | 1,46 | 0,96 | 0,98 | 0,51 | 0,51 | 0,75 | 1,07 | 0,39 | 0,39 | - | - |
| Q ₁ | 2,41 | 1,22 | 2,54 | 3,39 | 2,36 | 2,21 | 2,47 | 2,44 | 2,37 | 2,38 | 1,86 | 2,86 | 2,21 | 2,28 | 2,21 | 2,74 | 1,12 | 1,12 | - | - |
| Mediana | 4,05 | 3,47 | 3,49 | 4,86 | 3,54 | 3,47 | 3,48 | 3,69 | 3,38 | 3,11 | 2,65 | 3,97 | 2,87 | 2,76 | 3,05 | 3,19 | 1,65 | 1,65 | - | - |
| Q ₃ | 6,03 | 5,14 | 5,34 | 7,00 | 5,16 | 4,98 | 5,51 | 5,01 | 5,15 | 4,21 | 4,80 | 5,92 | 4,36 | 3,67 | 4,99 | 4,94 | 3,00 | 3,00 | - | - |
| Máximo | 11,91 | 7,40 | 8,58 | 11,91 | 22,92 | 22,92 | 19,09 | 17,55 | 21,02 | 7,76 | 9,80 | 21,02 | 17,10 | 7,50 | 17,10 | 8,32 | 3,53 | 3,53 | - | - |
| Promedio | 4,34 | 3,43 | 4,04 | 5,20 | 4,25 | 4,10 | 4,55 | 4,27 | 3,95 | 3,57 | 3,52 | 4,77 | 3,80 | 3,15 | 4,18 | 4,05 | 1,89 | 1,89 | - | - |
| Desv. est. | 2,41 | 2,13 | 2,09 | 2,51 | 3,20 | 3,14 | 3,45 | 3,05 | 2,56 | 1,72 | 2,13 | 3,40 | 3,00 | 1,70 | 3,62 | 2,46 | 0,93 | 0,93 | - | - |
| Nº muestras | 146 | 43 | 38 | 63 | 202 | 102 | 48 | 51 | 118 | 42 | 37 | 38 | 53 | 19 | 29 | 5 | 29 | 29 | 0 | 0 |

T: todas las muestras.

Tabla 4-10. Porcentaje de C total en diferentes grupos de suelos en función de la altitud y el uso para las provincias de Pontevedra y sur de A Coruña y la provincia de Ourense.

| GRUPO | P: PONTEVEDRA Y SUR DE A CORUÑA | | | P: OURENSE | | |
|-------|---------------------------------|-------------|------|------------|-------------|------|
| | Uso | Altitud (m) | % Ct | Uso | Altitud (m) | % Ct |
| 1 | Monte Bajo | < 600 - 800 | 7,64 | | | |
| | Forestal | < 600 - 800 | 6,27 | | | |
| 2 | | | | Monte Bajo | > 800 | 4,86 |
| 3 | Viñedo | < 600 | 4,03 | Prado | > 800 | 3,97 |
| | Prado | < 600 - 800 | 3,75 | Forestal | > 800 | 3,69 |
| | | | | Monte Bajo | < 600 - 800 | 3,49 |
| | | | | Forestal | < 600 - 800 | 3,48 |
| 4 | Cultivo | < 600 | 3,06 | Prado | < 600 | 3,11 |
| | | | | Cultivo | 600 - > 800 | 3,08 |
| | | | | Cultivo | < 600 | 2,76 |
| | | | | Prado | 600 - 800 | 2,65 |
| 5 | | | | Viñedo | < 600 | 1,65 |

P: Provincia/s

Tabla 4-11. Contenido de C (Kg C/m²) en diferentes grupos de suelos en función de la altitud y el uso para las provincias de Pontevedra y sur de A Coruña y la provincia de Ourense.

| GRUPO | P: PONTEVEDRA Y SUR DE A CORUÑA | | | P: OURENSE | | |
|-------|---------------------------------|-------------|---------------------|------------|-------------|---------------------|
| | Uso | Altitud (m) | kg C/m ² | Uso | Altitud (m) | kg C/m ² |
| 1 | Monte Bajo | < 600 - 800 | 22,91 | | | |
| | Forestal | < 600 - 800 | 18,81 | | | |
| 2 | | | | Monte Bajo | > 800 | 14,58 |
| 3 | Viñedo | < 600 | 12,10 | Prado | > 800 | 11,90 |
| | Prado | < 600 - 800 | 11,25 | Forestal | > 800 | 11,07 |
| | | | | Monte Bajo | < 600 - 800 | 10,47 |
| | | | | Forestal | < 600 - 800 | 10,44 |
| 4 | Cultivo | < 600 | 9,18 | Prado | < 600 | 9,33 |
| | | | | Cultivo | 600 - > 800 | 9,24 |
| | | | | Cultivo | < 600 | 8,28 |
| | | | | Prado | 600 - 800 | 7,95 |
| 5 | | | | Viñedo | < 600 | 4,95 |

P: Provincia/s

Estos resultados representan valores bastante elevados si se comparan con los contenidos medios de carbono observados en los suelos de la Península Ibérica. Así, en un estudio realizado por Rodríguez-Murillo (2001) tomando como base un conjunto de 1030 perfiles de suelos distribuidos por toda la España Peninsular se ha visto que los suelos de matorral presentan un contenido medio de 11,3 Kg C/m², seguidos de los de bosque con 8,74 Kg C/m² y el “uso mixto” matorral-arbolado con 8,20 Kg C/m². Mientras que los cultivos de secano son los que presentan menor cantidad de C (5,08 Kg C/m²). En este mismo estudio se estima que las variaciones de carbono para el

conjunto de suelos, oscilan desde menos de 4 Kg C/m² en zonas como el valle del Ebro o la costa sur Mediterránea hasta más de 20 Kg C/m² en las zonas de montaña del norte o noroeste.

4.2.2 Horizontes subsuperficiales

Como se ha comentado anteriormente, en la recopilación de datos realizada para el sur de Galicia, se han analizado un total de 113 muestras de horizontes subsuperficiales, B ó C, situados justo por debajo de los horizontes A. En la Tabla 4-12 se resumen los datos del contenido de carbono total en estos horizontes frente a los datos de los horizontes A. Sólo se consideran los usos monte bajo, forestal y prado porque no se dispone de datos para los demás usos.

La mayor parte del carbono se encuentra en los horizontes superficiales del suelo. En todos los casos el contenido de carbono de los horizontes B ó C es considerablemente menor al de los horizontes superiores. En los suelos de la provincia de Pontevedra y sur de A Coruña los contenidos de carbono observados en usos de monte bajo y forestal oscilan entre 0,23 y 2,23% (mediana de 0,27 y 0,85%, respectivamente). En Ourense el rango de variación en suelos forestales y de monte bajo es más amplio, de 0,07 a 5,08%; y un valor de mediana entorno a 0,70%. Para suelos de prados el valor de mediana es de 0,52% (rango de variación: 0,10-2,10%).

Tabla 4-12. Análisis comparativo del contenido de Ct entre horizontes A y horizontes subsuperficiales (B ó C) para las provincias de Pontevedra y sur de A Coruña (Anexo: Tabla 7-3) y la provincia de Ourense (Anexo: Tabla 7-4).

| | | P: PONTEVEDRA Y SUR DE A CORUÑA | | | P: OURENSE | | |
|------------------|----------------|---------------------------------|----------|-------|------------|----------|-------|
| Horizontes A | Uso | Monte Bajo | Forestal | Prado | Monte Bajo | Forestal | Prado |
| | Mínimo | 1,90 | 0,92 | 1,51 | 0,18 | 0,34 | 0,96 |
| | Q ₁ | 5,59 | 4,22 | 3,19 | 2,41 | 2,36 | 2,37 |
| | Mediana | 7,64 | 6,27 | 3,75 | 4,05 | 3,54 | 3,38 |
| | Q ₃ | 9,11 | 7,84 | 5,90 | 6,03 | 5,16 | 5,15 |
| | Máximo | 22,02 | 14,62 | 13,70 | 11,91 | 22,92 | 21,02 |
| | Promedio | 7,64 | 6,26 | 4,92 | 4,34 | 4,25 | 3,95 |
| | Desv. est. | 3,22 | 2,60 | 2,89 | 2,41 | 3,20 | 2,56 |
| | Nº muestras | 72 | 125 | 49 | 146 | 202 | 118 |
| Horizontes B ó C | Uso | Monte Bajo | Forestal | Prado | Monte Bajo | Forestal | Prado |
| | Mínimo | 0,23 | 0,41 | - | 0,14 | 0,07 | 0,10 |
| | Q ₁ | 0,25 | 0,54 | - | 0,36 | 0,35 | 0,23 |
| | Mediana | 0,27 | 0,85 | 0,87 | 0,74 | 0,70 | 0,52 |
| | Q ₃ | 0,85 | 1,53 | - | 1,24 | 1,23 | 1,32 |
| | Máximo | 1,43 | 2,23 | - | 5,08 | 3,49 | 2,10 |
| | Promedio | 0,64 | 1,09 | - | 1,01 | 0,87 | 0,83 |
| | Desv. est. | 0,56 | 0,67 | - | 0,93 | 0,70 | 0,74 |
| | Nº muestras | 3 | 6 | 1 | 47 | 50 | 6 |

5. RESUMEN Y CONCLUSIONES

El presente trabajo se enmarca dentro de un proyecto de investigación del Plan Nacional titulado “Elaboración de un mapa digital de carbono en suelos de la Cornisa Cantábrica (Galicia, Asturias, Cantabria y País Vasco) (1:50.000)”. El estudio pretende ser de utilidad para mejorar la base de datos de los suelos de Europa, de acuerdo a las recomendaciones del *European Soil Bureau* (Jones *et al.*, 2004).

En este trabajo se ha colaborado a completar el muestreo y análisis de suelos de Galicia. Se ha analizado el contenido de carbono de muestras de horizontes A de 82 suelos de la provincia de Pontevedra, bajo diferentes usos, desde la zona costera hasta el interior de la provincia.

Los resultados obtenidos pueden resumirse: Los suelos forestales y de monte bajo son ácidos (pH en torno a 5,06). Prados, cultivos y viñedos presentan amplia variabilidad (pH: 4,2-8,9) en función de los tratamientos de encalado realizados por el hombre. El contenido de carbono total oscila globalmente entre 1,3 y 16,5%. Los valores más elevados se encuentran bajo matorrales (mediana: 8,9%) seguido de los suelos forestales (7,5%). Prados, viñedos y cultivos presentan contenidos menores (mediana: 3,5, 3,8 y 2,9%, respectivamente). La mayor parte del carbono del suelo es carbono lábil, fácilmente oxidable. El C recalcitrante (C no oxidable) representa siempre menos del 10%. El contenido de materia orgánica es un condicionante fundamental de la densidad aparente de los suelos. Con menos del 6% de carbono total de densidad aparente del material es mayoritariamente superior a 1 g/cm³, a partir de este valor la densidad aparente desciende paulatinamente hasta valores próximos a 0,8 g/cm³. En el conjunto de los suelos, la densidad aparente presenta un valor medio de 1 g/cm³.

Por otra parte, se ha realizado discusión de datos de otros suelos de las provincias de Pontevedra, Ourense y sur de A Coruña (zona sur de Galicia) (un total de 834 muestras de horizontes A y 113 de horizontes subsuperficiales). La discusión conjunta (la primera aproximación para el proyecto original) permite abordar una modelización y una estimación del *stock* de carbono en términos absolutos (kg C/m² de suelo) en suelos de la zona sur de Galicia. Los valores serán de utilidad para la sectorización de unidades cartográficas, en un mapa final que permita valorar espacialmente el papel de suelo como sumidero de C en esta zona.

Los resultados obtenidos pueden resumirse: Para todos los usos, el contenido de carbono total en suelos de la provincia de Pontevedra y sur de A Coruña es netamente superior al observado en suelos de la provincia de Ourense. El factor clima asociado a la mayor o menor continentalidad, o a la altitud, junto al factor uso del suelo, permite agrupar los resultados en 5 grupos. El valor absoluto de C en los suelos, considerando un espesor de 30 cm y para una densidad aparente media de 1 g/cm^3 , resulta:

- **Grupo 1:** Suelos de uso forestal y monte bajo de las provincias de Pontevedra y sur de A Coruña: $18,9\text{-}22,9 \text{ kg C/m}^2$.

- **Grupo 2:** Matorrales de montaña de la provincia de Ourense: $14,6 \text{ kg C/m}^2$.

- **Grupo 3:** Suelos de viñedo y prado de la provincia de Pontevedra y sur y A Coruña y suelos forestales, matorrales y prados de montaña de Ourense: $10,4\text{-}12,1 \text{ kg C/m}^2$.

- **Grupo 4:** Suelos de cultivo en la provincia de Pontevedra y sur de A Coruña y cultivos y prados (resto) de la provincia de Ourense: $8,3\text{-}9,3 \text{ kg C/m}^2$.

- **Grupo 5:** Suelos de viñedo de la provincia de Ourense: $4,95 \text{ kg C/m}^2$.

A partir de los resultados obtenidos en los análisis de 82 muestras de horizontes A de suelos de la provincia de Pontevedra, se han obtenido las siguientes conclusiones:

1) Los suelos forestales y de monte bajo son ácidos (pH en torno a 5,06). Prados, cultivos y viñedos presentan amplia variabilidad (pH: 4,2-8,9) en función de los tratamientos de encalado realizados por el hombre.

2) El contenido de C total oscila ampliamente en el conjunto de las muestras (1,3 y 16,5%). Los valores más elevados se encuentran bajo matorrales, seguido de los suelos forestales. Prados, viñedos y cultivos presentan contenidos menores.

3) La mayor parte del Ct es carbono lábil, fácilmente oxidable. El C recalcitrante representa para el conjunto de las muestras valores medios menores al 10% del Ct. Los valores de la relación C/N son indicativos de que la materia orgánica es fácilmente biodegradable.

4) La densidad aparente de los suelos presenta valores medios de 1 g/cm^3 , guardando una relación inversamente proporcional con el contenido de materia orgánica.

Considerando globalmente los datos de 843 muestras de suelos de la zona sur de Galicia resulta:

4) La variación espacial del contenido de Ct de los suelos se relaciona con el grado de continentalidad, uso del suelo y altitud, por este orden.

5) Con los datos obtenidos se ha realizado una jerarquización en 5 grupos en orden de magnitud, desde 1,5% a 7,5% de C, desde las áreas de viñedo de Ourense a zonas de monte bajo y bosques de la provincia de Pontevedra, respectivamente.

6) Teniendo en cuenta parámetros de espesor de suelo húmico (30cm) y densidad aparente (1g/cm^3) se ha estimado el valor absoluto de carbono, resultando que el *stock* de C para los suelos de la zona sur de Galicia varía entre 5 y 23 kg/m^2 para los usos considerados.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almendros, G. (2004). Investigaciones básicas sobre el origen y la estructura molecular de las formas estables de materia orgánica relacionadas con el proceso de secuestro de carbono. *Edafología*, 11 (2), 229-248.
- Batjes, N.H. (1996). Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 101 (1), 17-23.
- Calvo de Anta, R. & col. (2012). Datos de suelos de las provincias de Ourense, Pontevedra y A Coruña. Santiago de Compostela, Universidad de Santiago de Compostela (comunicación personal).
- Camps, M., Pinto M. (2004). Los sumideros de carbono en el marco del protocolo de Kioto. *Edafología*, 11 (1), 27-36.
- European Environmental Agency (2008). European forests-ecosystem conditions and sustainable use. Report nº 3. Office for Official Publications of the European Communities. Copenhagen, Denmark. 110 pp.
- FAO (2001). Soil carbon sequestration for improved land management. World Soil Resources Reports nº 96, ISSN. Rome, Italy. 57 pp.
- FAO-UNESCO (1995). World soil carbon stocks global change. ISRIC. Wageningen UR, The Netherlands. 28pp.
- Fisher, R. F. (1995). Soil organic matter: Clue or Conundrum. In “McFee, W. And Kelly, J. M (eds.)” Carbon forms and function in forest soils. Soil Science of America, Inc. Madison, USA. 1-11.
- Gutián, F & Carballas, T. (1976) .Técnicas de análisis de suelos. Editorial Pico Sacro. Santiago de Compostela, España. 288 pp.
- Gutiñas, M.E. (2009). Influencia de la temperatura y de la humedad en la dinámica de la materia orgánica de los suelos de Galicia y su relación con el cambio climático. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela, España. 749 pp.
- Hontoria, C., Rodríguez-Murillo, J.C., Saa, A. (1999): Relationships between soil organic carbon content and other site characteristics in peninsular Spain. *Soil Science Society of America Journal*, 63 (1), 614-621.
- Hontoria, C., Rodríguez-Murillo, J.C., Saa, A. (2004). Contenido de carbono orgánico en el suelo y factores de control en la España Peninsular. *Edafología*, 11 (2), 149-157.

- IPCC (1996). Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Disponible desde Internet en: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.html>>. Con acceso el 15/2/2012.
- IPCC (2000). Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura. Resumen para responsable de políticas. Informe especial del Grupo de trabajo III. Disponible desde Internet en: <http://www.grida.no/climate/ipcc/spmpdf/srl-s.pdf>. Con acceso el 17/2/2012.
- IPCC (2001). Climate Change 2001: The scientific basis. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, USA. 881 pp.
- IPCC (2005). La captación y almacenamiento de dióxido de carbono. Resumen para responsables de políticas. Informe especial del grupo de trabajo III. Disponible en Internet en: http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_spm_ts_sp.pdf. Con acceso el 17/2/2012.
- IPCC (2007). Climate Change 2007: Synthesis report, Fourth Assessment Report, A report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, WMO-UNEP. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom. 52 pp.
- Jones, R.J.A, Hiederer, R., Rusco, E., Loveland, P.J. and Montanarella, L. (2003). Topsoil Organic Carbon in Europe. Proceeding of the 4th European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems. Bologna, June 2003.249- 251.
- Jones, R.J.A., Hiederer, R., Rusco, E., Loveland, P.J. and Montanarella, L. (2004). The map of organic carbon in topsoils in Europe, Version 1.2, September 2003: Explanation of Special Publication Ispra 2004 No.72 (S.P.I.04.72). European Soil Bureau Research Report No.17, EUR 21209 EN, 26pp. and 1 map in ISO B1 format. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.40 pp.
- Lal, R. (1997). Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment. *Soil and Tillage Research*. 43(1), 81-107.
- Lal, R. (2001). Soil C Sequestration and the Greenhouse effect. SSSA Special Publications n° 57. Madison (Wisconsin), USA. 236 pp.
- Lal, R., Kimble, J., Levine, E., Stewart,B.A. (1995). Soils and Global Change. Lewis Publishers. Boca Raton (Florida), USA.
- Macías, F. & Calvo de Anta, R., (2001). Los suelos como sumidero de carbono: materia orgánica de los suelos de Galicia. En: XXII Reunión Nacional de la Sociedad

- Española de la Ciencia del Suelo. Santiago de Compostela, septiembre 2001.118-121.
- Macías, F., (2004). Sumideros de carbono para el forzamiento climático antropoceno. Una visión de alternativas de actuación desde la ciencia del suelo. *Edafología*, 11 (1), 7-25.
- Macías, F., Camps, M., Rodríguez, L., (2005). Alternativas de secuestro de carbono orgánico en suelos y biomasa de Galicia. *Recursos Rurais*, 1, 71-85.
- Macías, F., Calvo de Anta, R. Rodríguez L., Verde, R., Pena, X., Camps, M. (2004). El sumidero de C de los suelos de Galicia. *Edafología*, 11 (3), 341-376.
- Martínez, E., Fuentes, J.P., Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8 (1), 68-96.
- Naciones Unidas (1992). Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Disponible desde Internet en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>. Con acceso el 15/2/2012.
- Naciones Unidas (1998). Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Calentamiento Climático. Disponible en Internet en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>. Con acceso el 15/2/2012.
- Oades J M. (1989). An introduction to organic matter in mineral soils. In: Dixon J B, Weed S B. Minerals in Soil Environments. 2nd ed. SSSA Book Series. Madison, (Wisconsin), USA. 89-159.
- Pardos, J.A. (2010). Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global. INIA. Madrid, España. 253 pp.
- Rodríguez-Murillo, J.C. (2001). Organic carbon content under different types of land use and soil in peninsular Spain. *Biology and Fertility of Soils*, 33 (1), 53-61.
- Romanyá J., Rovira, P., Vallejo R. (2007). Análisis del carbono en los suelos agrícolas de España. Aspectos relevantes en relación a la reconversión a la agricultura ecológica en el ámbito mediterráneo. *Ecosistemas*, 16 (1), 50-57.
- Soils Science Society of America (2001). Carbon Sequestration: Position of the Soils Science Society of America. Disponible desde Internet en: <https://www.soils.org/files/about-society/carbon-sequestration-paper.pdf>. Con acceso el 16/2/2012.

ANEXO

Tabla 7-1. Muestras de las provincias de Pontevedra y sur de A Coruña, horizontes A (Continuación).

| Muestra | Coordenadas UTM | | Altitud m | Hor. | Uso | D.a, g/cm ³ | pH H ₂ O | pH KCl | pH FNa | %N | %Ct | %Cox |
|---------|-----------------|------------|--------------|------|---------|---------------------------|------------------------|-----------|-----------|-------|-------|-------|
| | X UTM 29N | Y UTM 29N | | | | | | | | | | |
| Silleda | 563987,00 | 4720432,00 | <600 | A | Prado | | 5,79 | 4,87 | 9,53 | 0,59 | 5,90 | |
| PO27 | 554855,82 | 4716239,54 | <600 | A | Prado | 1,26 | 5,33 | 4,06 | | 0,21 | 2,46 | 2,42 |
| PO29 | 556001,31 | 4719593,41 | 600-800 | A | Prado | 0,81 | 5,56 | 4,13 | | 0,64 | 7,94 | 7,16 |
| Lalin | 571926,00 | 4722144,00 | <600 | A | Prado | | 5,24 | 4,10 | 8,55 | 0,26 | 2,70 | |
| Dozon | 581790,00 | 4716308,00 | 600-800 | A | Prado | | 5,28 | 4,76 | 10,43 | 0,56 | 6,60 | |
| Vilaboa | 529745,00 | 4688770,00 | <600 | A | Prado | | 6,07 | 5,34 | 9,27 | | 3,60 | |
| F24 | 533399,00 | 4693613,00 | <600 | A | Prado | 1,43 | 4,49 | | | 2,87 | 11,10 | 8,80 |
| PO-51 | 517828,5 | 4703687,83 | <600 | A | Prado | 1,29 | 5,92 | 4,68 | | 0,20 | 2,57 | 2,41 |
| PO-53 | 517608,68 | 4703974,32 | <600 | A | Prado | 1,20 | 4,66 | 4,07 | | 0,28 | 3,69 | 3,60 |
| Covelo | 549241,00 | 4676989,00 | <600 | A | Prado | | 4,97 | 4,12 | 9,98 | 0,33 | 4,00 | |
| PO-31 | 510971,54 | 4657323,02 | <600 | A | Prado | | | | | | 13,51 | 12,49 |
| C-1366 | 511933,76 | 4724727,79 | <600 | A | Cultivo | | | | | | 5,18 | |
| 786 | 509746,3 | 4736618,39 | <600 | A | Cultivo | | 4,40 | 3,80 | 9,70 | <0,01 | 3,82 | |
| 788 | 507738,48 | 4734699,33 | <600 | A | Cultivo | | 4,90 | 4,30 | 10,40 | <0,01 | 10,33 | |
| 790 | 500890,98 | 4731066,6 | <600 | A | Cultivo | | 4,60 | 4,10 | 9,10 | <0,01 | 2,88 | |
| 791 | 497277,04 | 4724405,97 | <600 | A | Cultivo | | 5,30 | 4,50 | 8,10 | <0,01 | 3,12 | |
| 792 | 498236,58 | 4726089,17 | <600 | A | Cultivo | | 4,80 | 4,20 | 7,80 | <0,01 | 3,00 | |
| 794 | 502663,02 | 4730905,6 | <600 | A | Cultivo | | 4,70 | 4,10 | 9,40 | <0,01 | 1,92 | |
| 795 | 511013,95 | 4732175,54 | <600 | A | Cultivo | | 4,50 | 4,00 | 10,70 | <0,01 | 4,61 | |
| 797 | 512463,79 | 4734914,12 | <600 | A | Cultivo | | 4,90 | 4,10 | 7,90 | <0,01 | 2,70 | |
| 799 | 538513,65 | 4741075,30 | <600 | Ah | Cultivo | | 5,00 | 4,00 | 9,10 | <0,01 | 2,99 | |
| 801 | 535903,53 | 4740641,00 | <600 | Ah | Cultivo | | 5,30 | 4,30 | 8,90 | <0,01 | 4,77 | |
| 804 | 537710,56 | 4734598,99 | <600 | Ah | Cultivo | | 5,00 | 4,10 | 9,00 | <0,01 | 7,58 | |
| 807 | | | | Ah | Cultivo | | 5,10 | 4,10 | 10,10 | <0,01 | 3,35 | |
| 811 | 528927,63 | 4739807,54 | <600 | Ah | Cultivo | | 5,20 | 4,50 | 8,30 | <0,01 | 1,36 | |
| 812 | 525133,83 | 4734904,76 | <600 | Ah | Cultivo | | 5,50 | 4,50 | 9,20 | <0,01 | 1,29 | |
| PO4 | 537160,37 | 4732990,41 | <600 | Ah | Cultivo | 1,42 | 4,54 | 3,97 | | 0,12 | 1,45 | 1,43 |
| PO6 | 536929,10 | 4731854,03 | <600 | Ah | Cultivo | 1,50 | 5,49 | 4,23 | | 0,17 | 1,97 | 1,95 |
| PO8 | 538115,51 | 4731327,76 | <600 | Ah | Cultivo | 1,27 | 5,61 | 4,37 | | 0,20 | 2,38 | 2,06 |
| PO15 | 545515,33 | 4727238,76 | <600 | A | Cultivo | 1,15 | 5,99 | 5,17 | | 0,34 | 3,73 | 3,19 |
| PO19 | 544614,24 | 4725199,19 | <600 | A | Cultivo | 1,06 | 5,81 | 4,73 | | 0,22 | 2,89 | 2,38 |
| PO34 | 575301,37 | 4728671,65 | <600 | A | Cultivo | 0,81 | 6,31 | 5,39 | | 0,49 | 8,22 | 6,54 |
| PO39 | 580365,36 | 4729991,93 | <600 | A | Cultivo | 1,12 | 5,30 | 4,10 | | 0,42 | 3,39 | 3,35 |
| PO40 | 582679,85 | 4732339,14 | <600 | A | Cultivo | 1,15 | 4,40 | 3,78 | | 0,52 | 3,96 | 3,57 |
| PO-78 | 495169,81 | 4717371,68 | <600 | A | Cultivo | 1,38 | 5,81 | 4,78 | | 0,13 | 1,31 | 1,28 |
| PO-82 | 497934,86 | 4717395,07 | <600 | A | Cultivo | 0,97 | 5,67 | 4,47 | | 0,38 | 4,99 | 4,91 |
| PO-59 | 520778,19 | 4706729,19 | <600 | A | Cultivo | 1,13 | 5,09 | 3,82 | | 0,26 | 3,61 | 3,58 |
| PO-62 | 524475,96 | 4707701,52 | <600 | A | Cultivo | 1,23 | 6,16 | 4,89 | | 0,24 | 3,47 | 3,41 |
| PO-65 | 526119,09 | 4708363,57 | <600 | A | Cultivo | 1,47 | 5,75 | 4,28 | | 0,14 | 1,98 | 1,96 |
| PO-71 | 517312,47 | 4713762,67 | <600 | A | Cultivo | 1,36 | 7,76 | 6,89 | | 0,18 | 2,57 | 2,37 |
| F11 | 529542,34 | 4700301,83 | <600 | Ap | Cultivo | 1,18 | 5,02 | | | 1,61 | 2,36 | 2,26 |
| F21 | 533571,95 | 4702912,85 | <600 | Ap | Cultivo | 1,14 | 5,72 | | | 1,04 | 3,80 | 2,92 |
| PO-54 | 517604,99 | 4704035,35 | <600 | A | Cultivo | 0,98 | 7,43 | 6,64 | | 0,21 | 2,80 | 2,51 |
| PO-55 | 518866,53 | 4705864,41 | <600 | A | Viñedo | 1,08 | 6,44 | 5,26 | | 0,41 | 6,34 | 5,91 |
| PO-57 | 518983,60 | 4706317,14 | <600 | A | Viñedo | 0,96 | 8,06 | 7,30 | | 0,34 | 5,09 | 4,77 |
| PO-58 | 520742,73 | 4706742,79 | <600 | A | Viñedo | 1,29 | 6,05 | 5,06 | | 0,27 | 4,03 | 3,96 |
| PO-60 | 521027,61 | 4707329,70 | <600 | A | Viñedo | 1,46 | 6,39 | 5,21 | | 0,12 | 1,90 | 1,85 |
| F18 | 532611,05 | 4696137,92 | <600 | Ah1 | Viñedo | 0,98 | 4,98 | | | 1,89 | 5,31 | 4,24 |
| PO-46 | 514527,56 | 4702148,46 | <600 | A | Viñedo | 1,12 | 7,57 | 7,16 | | 0,28 | 4,15 | 4,09 |
| PO-48 | 515483,98 | 4701432,73 | <600 | A | Viñedo | 1,39 | 7,89 | 7,17 | | 0,21 | 3,47 | 3,36 |
| PO-50 | 516591,21 | 4702050,97 | <600 | A | Viñedo | 1,00 | 7,72 | 7,01 | | 0,15 | 2,60 | 2,58 |
| PO-52 | 517793,42 | 4703680,51 | <600 | A | Viñedo | 1,10 | 6,80 | 5,80 | | 0,23 | 3,30 | 3,23 |
| F1 | 529355,90 | 4700261,87 | <600 | Ah1 | Marisma | 1,36 | 5,17 | | | 0,81 | 2,28 | 2,25 |
| F1 | 529355,90 | 4700261,87 | <600 | Ah2 | Marisma | 1,41 | 5,43 | | | 0,54 | 1,29 | 0,58 |
| F1 | 529355,90 | 4700261,87 | <600 | A/Cg | Marisma | 1,43 | 5,26 | | | 0,32 | 1,38 | 1,02 |
| F2 | 529387,01 | 4700142,94 | <600 | Ag | Marisma | 1,33 | 5,53 | | | 3,01 | 10,39 | 7,79 |
| F2 | 529387,01 | 4700142,94 | <600 | Ag | Marisma | 1,18 | 6,09 | | | 3,10 | 17,89 | 14,79 |
| F10 | 530059,93 | 4698813,02 | <600 | Ag1 | Marisma | 1,48 | 5,21 | | | 1,44 | 2,49 | 2,06 |
| F10 | 530059,93 | 4698813,02 | <600 | Ag2 | Marisma | 1,48 | 5,32 | | | 1,55 | 1,82 | 1,79 |
| F14 | 531698,08 | 4688852,96 | <600 | Ag | Marisma | 1,39 | 6,25 | | | 2,79 | 10,66 | 8,70 |

Tabla 7-2. Muestras de las provincia de Ourense, horizontes A. (Continuación).

| Muestra | Coordenadas UTM | | Altitud (m) | Hor. | Uso | D.a, g/cm ³ | pH H ₂ O | pH KCl | pH FNa | %N | %Ct | %Cox |
|---------|-----------------|-----------|-------------|------|---------|------------------------|---------------------|--------|--------|-------|-------|-------|
| | X UTM 29N | Y UTM 29N | | | | | | | | | | |
| O85 | 618009 | 4677940 | 600-800 | A | Cultivo | 0,95 | 4,62 | 3,77 | | 0,25 | 3,58 | 3,39 |
| O90 | 611281 | 4679430 | <600 | A | Cultivo | 0,99 | 5,12 | 4,25 | | 0,26 | 3,52 | 2,99 |
| 228-33 | 656941 | 4686035 | 600-800 | A | Cultivo | | 4,61 | 3,76 | 7,83 | <0,01 | 0,75 | |
| 228-46 | 652216 | 4679975 | 600-800 | A | Cultivo | | 5,20 | 4,12 | 8,03 | 0,05 | 1,20 | |
| O22 | 585227 | 4668796 | <600 | A | Cultivo | 1,01 | 5,17 | 3,71 | | 0,23 | 2,76 | 2,59 |
| O25 | 586693 | 4665621 | 600-800 | A | Cultivo | 1,15 | 5,68 | 4,42 | | 0,24 | 1,75 | 1,22 |
| O26 | 586524 | 4663322 | 600-800 | A | Cultivo | 0,94 | 5,86 | 5,34 | | 0,18 | 2,21 | 1,77 |
| O31 | 584444 | 4660152 | >800 | A | Cultivo | 0,70 | 4,84 | 3,86 | | 0,33 | 4,94 | 4,08 |
| O52 | 590441 | 4650417 | 600-800 | A | Cultivo | 0,95 | 4,81 | 4,28 | | 0,30 | 3,97 | 3,59 |
| O54 | 592673 | 4652677 | 600-800 | A | Cultivo | 0,94 | 4,40 | 4,11 | | 0,26 | 3,55 | 3,18 |
| O56 | 593114 | 4652695 | 600-800 | A | Cultivo | 0,65 | 4,37 | 4,25 | | 0,65 | 8,12 | 7,27 |
| O57 | 596426 | 4653143 | 600-800 | A | Cultivo | 1,36 | 5,31 | 4,09 | | 0,15 | 2,45 | 2,23 |
| O58 | 596376 | 4653132 | 600-800 | A | Cultivo | 0,82 | 5,18 | 4,17 | | 0,19 | 3,23 | 2,83 |
| O60 | 601198 | 4653917 | 600-800 | A | Cultivo | 1,21 | 5,01 | 3,73 | | 0,11 | 1,32 | 1,16 |
| O61 | 603690 | 4655989 | 600-800 | A | Cultivo | 1,44 | 4,38 | 3,98 | | 0,14 | 1,49 | 1,34 |
| O62 | 603618 | 4655973 | 600-800 | A | Cultivo | 1,15 | 5,10 | 3,87 | | 0,08 | 1,62 | 1,54 |
| O66 | 609573 | 4659149 | 600-800 | A | Cultivo | 1,34 | 4,74 | 4,08 | | 0,14 | 2,31 | 1,93 |
| O67 | 609605 | 4659068 | 600-800 | A | Cultivo | 1,10 | 5,24 | 4,09 | | 0,15 | 2,09 | 1,76 |
| O69 | 608378 | 4661782 | 600-800 | A | Cultivo | 0,58 | 4,30 | 4,20 | | 1,38 | 17,10 | 16,11 |
| O70 | 608506 | 4661893 | 600-800 | A | Cultivo | 0,59 | 5,20 | 4,47 | | 0,93 | 13,60 | 12,10 |
| O71 | 608755 | 4667009 | 600-800 | A | Cultivo | 1,21 | 5,99 | 5,03 | | 0,18 | 2,24 | 2,02 |
| O72 | 608771 | 4666915 | 600-800 | A | Cultivo | 1,28 | 5,31 | 4,66 | | 0,14 | 2,54 | 2,33 |
| O73 | 609074 | 4665037 | 600-800 | A | Cultivo | 1,00 | 4,23 | 3,87 | | 0,28 | 3,11 | 2,87 |
| O74 | 609191 | 4664776 | 600-800 | A | Cultivo | 1,14 | 5,50 | 4,78 | | 0,19 | 2,80 | 2,58 |
| 264-11 | 610350 | 4663150 | 600-800 | A | Cultivo | | 4,89 | 4,08 | 7,66 | 0,50 | 6,09 | |
| 264-13 | 613200 | 4666750 | 600-800 | A | Cultivo | | 4,67 | 3,94 | 7,71 | 0,36 | 5,80 | |
| 264-49 | 605800 | 4664950 | 600-800 | A | Cultivo | | 4,60 | 3,01 | 7,64 | 0,37 | 4,99 | |
| 265-9 | 624700 | 4659800 | <600 | A | Cultivo | | 5,16 | 4,41 | 7,85 | 0,31 | 4,73 | |
| 265-30 | 634750 | 4658550 | >800 | A | Cultivo | | 4,55 | 3,76 | 7,81 | 0,15 | 2,74 | |
| 265-39 | 645550 | 4669000 | >800 | A | Cultivo | | 4,51 | 3,72 | 7,81 | 0,70 | 8,32 | |
| 266-6 | 665250 | 4666100 | >800 | A | Cultivo | | 4,96 | 4,16 | 7,81 | 0,26 | 3,19 | |
| 266-9 | 697900 | 4667950 | >800 | A | Cultivo | | 5,12 | 4,13 | 7,79 | 0,09 | 1,07 | |
| O38 | 573503 | 4636246 | <600 | A | Cultivo | 1,17 | 5,39 | 4,44 | | 0,12 | 2,57 | 2,38 |
| O39 | 575941 | 4639325 | <600 | A | Cultivo | 1,09 | 5,64 | 4,68 | | 0,07 | 1,39 | 1,01 |
| O40 | 582092 | 4644397 | 600-800 | A | Cultivo | 0,95 | 5,16 | 4,60 | | 0,28 | 3,29 | 2,75 |
| O41 | 582085 | 4644375 | 600-800 | A | Cultivo | 1,03 | 5,66 | 4,44 | | 0,19 | 3,05 | 2,63 |
| O42 | 582068 | 4644415 | 600-800 | A | Cultivo | 0,96 | 4,54 | 4,19 | | 0,19 | 2,94 | 2,40 |
| O45 | 584222 | 4645489 | <600 | A | Cultivo | 1,07 | 5,37 | 4,40 | | 0,21 | 2,87 | 2,51 |
| O50 | 585727 | 4646058 | <600 | A | Cultivo | 1,26 | 5,83 | 4,57 | | 0,18 | 2,72 | 2,27 |
| 187_14 | 570300 | 4692350 | <600 | A | Viñedo | | 4,76 | 3,92 | 8,09 | <0,01 | 0,77 | |
| 187_19 | 576550 | 4689000 | <600 | A | Viñedo | | 6,52 | 5,66 | 7,95 | 0,13 | 3,53 | |
| 187_20 | 580300 | 4689600 | <600 | A | Viñedo | | 4,70 | 3,83 | 7,86 | 0,10 | 2,30 | |
| 188.2A | 618000 | 4702950 | <600 | A | Viñedo | | 4,61 | 3,59 | 7,83 | 0,06 | 1,22 | |
| 188.14A | 610500 | 4698500 | <600 | A | Viñedo | | 4,56 | 3,76 | 7,82 | 0,16 | 3,11 | |
| 190-1 | 656221 | 4693642 | <600 | A | Viñedo | | 5,54 | 3,59 | 7,72 | 0,17 | 0,39 | |
| 190-2 | 656578 | 4694082 | <600 | A | Viñedo | | 6,60 | 6,13 | 7,73 | 0,25 | 2,32 | |
| 190-5 | 651633 | 4692091 | <600 | A | Viñedo | | 5,52 | 4,34 | 7,74 | 0,26 | 1,23 | |
| 190-7 | 654061 | 4690971 | <600 | A | Viñedo | | 6,11 | 5,05 | 7,76 | 0,07 | 1,46 | |
| 190-9 | 656732 | 4692295 | <600 | A | Viñedo | | 4,44 | 3,65 | 7,73 | 0,08 | 1,43 | |
| 190-16 | 665574 | 4696789 | <600 | A | Viñedo | | 3,94 | 3,40 | 7,77 | 0,06 | 1,71 | |
| 190-24 | 672348 | 4702231 | <600 | A | Viñedo | | 6,72 | 5,60 | 7,74 | 0,05 | 1,22 | |
| 190-27 | 670243 | 4702333 | <600 | A | Viñedo | | 7,80 | 6,96 | 7,74 | 0,04 | 1,55 | |
| 190-30 | 667297 | 4700318 | <600 | A | Viñedo | | 7,56 | 6,76 | 7,77 | 0,05 | 1,70 | |
| 190-39 | 655976 | 4695396 | <600 | A | Viñedo | | 6,73 | 5,96 | 7,78 | 0,12 | 3,07 | |
| 225-12 | 591175 | 4683075 | <600 | A | Viñedo | | 6,27 | 5,20 | 7,75 | 0,17 | 1,65 | |
| 225-25 | 568900 | 4684175 | <600 | A | Viñedo | | 4,50 | 3,97 | 7,94 | 0,12 | 1,12 | |
| 225-26 | 567950 | 4681500 | <600 | A | Viñedo | | 5,35 | 4,30 | 7,88 | 0,12 | 1,04 | |
| 225-30 | 578625 | 4686025 | <600 | A | Viñedo | | 6,27 | 5,61 | 7,74 | 0,27 | 3,00 | |
| 225-37 | 575725 | 4681750 | <600 | A | Viñedo | | 4,66 | 3,75 | 7,91 | 0,18 | 1,78 | |
| 225-41 | 570625 | 4679200 | <600 | A | Viñedo | | 7,18 | 6,71 | 7,94 | 0,14 | 2,04 | |
| O4 | 587027 | 4684550 | <600 | A | Viñedo | 1,46 | 4,54 | 3,50 | | 0,05 | 1,03 | 0,89 |
| O12 | 582547 | 4677942 | <600 | A | Viñedo | 0,90 | 5,03 | 4,00 | | 0,28 | 3,46 | 3,30 |
| O14 | 581215 | 4677787 | <600 | A | Viñedo | 1,13 | 4,68 | 4,17 | | 0,20 | 3,08 | 2,64 |
| 228-36 | 653734 | 4688125 | <600 | A | Viñedo | | 4,57 | 3,03 | 7,91 | <0,01 | 0,96 | |
| 228-37 | 656389 | 4687165 | 600-800 | A | Viñedo | | 5,46 | 4,30 | 7,85 | <0,01 | 0,97 | |
| 228-40 | 654333 | 4685854 | <600 | A | Viñedo | | 5,32 | 4,34 | 7,83 | <0,01 | 1,04 | |
| 264-10 | 621400 | 4651300 | 600-800 | A | Viñedo | | 4,64 | 3,87 | 7,67 | 0,09 | 3,10 | |
| O49 | 585697 | 4646051 | <600 | A | Viñedo | 0,93 | 4,62 | 3,70 | | 0,30 | 3,51 | 3,46 |

Tabla 7-3. Muestras de las provincias de Pontevedra y sur de A Coruña, horizontes B ó C.

| Muestra | Coordenadas UTM | | Altitud (m) | Hor. | Uso | pH H ₂ O | pH KCl | pH FNa | %N | %Ct | %Cox |
|---------|-----------------|-----------|-------------|------|------------|---------------------|--------|--------|------|------|------|
| | X_UTM_29N | Y_UTM_29N | | | | | | | | | |
| 120/08 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | 2CB | Monte Bajo | 5,17 | 4,59 | 11,44 | 0,07 | 1,43 | 1,22 |
| 121/03 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | 2Bw1 | Monte Bajo | 5,68 | 3,73 | 7,76 | 0,03 | 0,27 | |
| 121/03 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | 2Bw2 | Monte Bajo | 5,70 | 3,81 | 7,72 | 0,02 | 0,23 | |
| 120/01 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | 2C | Forestal | 4,59 | 4,32 | 9,84 | 0,02 | 0,41 | |
| 120/05 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | 2CR | Forestal | 4,66 | 4,30 | 10,05 | 0,02 | 0,63 | 0,50 |
| 120/06 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | BA | Forestal | 4,80 | 4,48 | 10,95 | 0,09 | 2,23 | 1,37 |
| 120/07 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | 2B | Forestal | 5,16 | 4,05 | 9,32 | 0,06 | 1,06 | 0,97 |
| 121/02 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | | | | 0,02 | 0,51 | |
| F8 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | BC | Forestal | 4,50 | | | 0,96 | 1,69 | 1,85 |
| 120/04 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | 2BC | Prado | 4,76 | 4,71 | 10,73 | 0,07 | 0,87 | 0,74 |

Tabla 7-4. Muestras de las provincia de Ourense, horizontes B ó C.

| Muestra | Coordenadas UTM | | Altitud (m) | Hor. | Uso | pH H ₂ O | pH KCl | pH FNa | %N | %Ct | %Cox |
|--------------|-----------------|-----------|-------------|------|------------|---------------------|--------|--------|-------|------|------|
| | X_UTM_29N | Y_UTM_29N | | | | | | | | | |
| 190-6 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 4,69 | 3,23 | 7,74 | <0,01 | 0,23 | |
| 190-13 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 4,79 | 3,98 | 8,15 | <0,01 | 0,98 | |
| 190-14 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 4,54 | 4,12 | 7,78 | <0,01 | 0,63 | |
| 190-32 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 4,76 | 4,19 | 8,10 | <0,01 | 0,85 | |
| 190-35 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 5,05 | 4,09 | 7,83 | <0,01 | 0,34 | |
| 190-36 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 5,52 | 4,30 | 7,88 | <0,01 | 0,38 | |
| 225-5 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 5,33 | 4,25 | 7,78 | 0,07 | 0,60 | |
| 225-13 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 4,63 | 3,49 | 7,94 | 0,09 | 0,48 | |
| 225-20 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 4,50 | 3,80 | 7,75 | 0,07 | 0,32 | |
| 225-21 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 4,54 | 4,08 | 7,79 | 0,06 | 0,36 | |
| 225-40 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 5,03 | 4,26 | 7,92 | <0,01 | 0,40 | |
| 226-2a | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 3,79 | 4,19 | 9,46 | <0,01 | 0,48 | |
| 226-4b | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | C | Monte Bajo | 4,28 | 4,23 | 11,50 | 0,23 | 5,08 | |
| 226-9a | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 5,39 | 5,00 | 8,93 | 0,23 | 3,71 | |
| 226-11c | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | C | Monte Bajo | 4,17 | 3,94 | 10,06 | <0,01 | 0,74 | |
| 228-3 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 5,12 | 4,00 | 8,83 | <0,01 | 0,36 | |
| 228-5 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 5,12 | 3,93 | 7,83 | 0,06 | 1,11 | |
| 228-7 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 4,72 | 4,07 | 8,74 | 0,05 | 0,93 | |
| 228-12 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 4,39 | 4,51 | 10,07 | 0,06 | 1,49 | |
| 228-21 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 5,17 | 4,34 | 9,54 | 0,13 | 1,73 | |
| 228-24 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 4,63 | 3,97 | 9,06 | 0,08 | 1,53 | |
| 228-34 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 4,67 | 3,94 | 7,88 | <0,01 | 0,32 | |
| 228-50 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 5,06 | 4,22 | 8,12 | <0,01 | 0,49 | |
| 264-2 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 4,66 | 4,31 | 8,67 | 0,18 | 2,61 | |
| 264-4 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 5,20 | 4,09 | 7,70 | 0,07 | 0,83 | |
| 264-5 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 4,84 | 4,11 | 9,62 | 0,11 | 1,72 | |
| 264-7 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 4,06 | 3,57 | 7,65 | <0,01 | 1,67 | |
| 264-8 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 5,48 | 4,33 | 7,70 | <0,01 | 0,83 | |
| 264-12 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 4,97 | 5,13 | 7,96 | 0,10 | 0,65 | |
| 264-14 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 5,40 | 5,18 | 8,31 | 0,17 | 2,29 | |
| 264-17 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 5,03 | 4,18 | 7,93 | 0,13 | 1,75 | |
| 264-22 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 5,11 | 3,94 | 7,69 | 0,07 | 0,31 | |
| 264-29 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | C | Monte Bajo | 5,04 | 4,39 | 9,10 | 0,07 | 0,14 | |
| 264-33 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 4,49 | 3,81 | 8,50 | 0,15 | 1,25 | |
| 264-47 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 5,23 | 4,25 | 8,55 | 0,11 | 0,92 | |
| 265-1 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 6,52 | 4,34 | 7,81 | <0,01 | 0,36 | |
| 265-15 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | C | Monte Bajo | 4,78 | 4,23 | 7,84 | <0,01 | 0,67 | |
| 265-31 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B/C | Monte Bajo | 4,91 | 4,05 | 7,73 | <0,01 | 0,28 | |
| 265-35 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 4,79 | 4,18 | 7,82 | <0,01 | 0,59 | |
| 265-37 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Monte Bajo | 4,94 | 4,30 | 7,85 | 0,09 | 2,05 | |
| 265-46 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | C | Monte Bajo | 5,10 | 4,34 | 7,74 | 0,07 | 0,89 | |
| 265-49 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | C | Monte Bajo | 4,79 | 4,01 | 7,84 | <0,01 | 0,98 | |
| 266-18 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B1 | Monte Bajo | 4,74 | 3,82 | 7,83 | 0,12 | 1,23 | |
| 266-19 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | C | Monte Bajo | 5,25 | 3,80 | 7,79 | <0,01 | 0,82 | |
| 266-26 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | C | Monte Bajo | 4,77 | 3,90 | 7,73 | <0,01 | 0,35 | |
| 266-29 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | C | Monte Bajo | 5,06 | 3,98 | 7,75 | 0,07 | 0,29 | |
| OU-115-Ch-07 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | C | Monte Bajo | | | | | 0,27 | |
| 190-12 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 4,55 | 3,80 | 7,75 | 0,21 | 3,49 | |
| 190-17 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 6,03 | 4,96 | 7,73 | 0,06 | 1,49 | |
| 190-29 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 5,12 | 4,25 | 7,89 | <0,01 | 0,58 | |
| 190-33 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 5,53 | 4,30 | 7,82 | <0,01 | 1,85 | |
| 190-45 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 4,84 | 3,99 | 8,30 | 0,06 | 1,74 | |
| 225-2 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B1 | Forestal | 7,21 | 6,51 | 7,76 | 0,06 | 0,70 | |
| 225-2 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B2 | Forestal | 4,62 | 3,85 | 7,78 | 0,12 | 2,04 | |
| 225-4 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 5,25 | 4,06 | 7,76 | <0,01 | 0,43 | |
| 225-7 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 4,80 | 4,43 | 7,86 | 0,12 | 0,82 | |
| 225-15 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 4,69 | 3,85 | 7,74 | 0,08 | 0,86 | |
| 225-17 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 4,97 | 3,99 | 7,76 | 0,07 | 0,19 | |
| 225-23 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 4,82 | 4,18 | 7,86 | 0,15 | 2,00 | |
| 225-24 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 5,71 | 3,93 | 7,92 | 0,05 | 0,07 | |

Tabla 7-4. Muestras de la provincia de Ourense, horizontes B ó C (Continuación).

| Muestra | Coordenadas UTM | | Altitud (m) | Hor. | Uso | pH H ₂ O | pH KCl | pH FNa | %N | %Ct | %Cox |
|---------|-----------------|-----------|-------------|------|----------|---------------------|--------|--------|-------|------|------|
| | X UTM_29N | Y UTM_29N | | | | | | | | | |
| 225-27 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 4,97 | 4,17 | 7,92 | 0,08 | 0,48 | |
| 225-29 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 4,74 | 4,06 | 7,91 | 0,06 | 0,26 | |
| 225-33 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 5,12 | 4,08 | 7,76 | 0,25 | 0,50 | |
| 225-36 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 4,89 | 4,26 | 7,79 | 0,08 | 0,68 | |
| 225-38 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 4,80 | 4,19 | 7,94 | 0,07 | 0,84 | |
| 225-39 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 5,10 | 4,03 | 7,91 | <0,01 | 0,32 | |
| 226-1b | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 3,99 | 3,97 | 8,96 | <0,01 | 0,18 | |
| 226-2d | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 4,15 | 3,83 | 7,64 | <0,01 | 1,24 | |
| 226-2o | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 3,96 | 3,80 | 7,67 | <0,01 | 0,72 | |
| 226-3c | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 4,21 | 4,36 | 10,13 | <0,01 | 1,38 | |
| 226-3d | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 3,92 | 3,96 | 7,69 | <0,01 | 0,20 | |
| 226-3d | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | C | Forestal | 3,55 | 3,45 | 8,54 | <0,01 | 0,09 | |
| 226-4a | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 3,81 | 3,58 | 8,96 | <0,01 | 0,50 | |
| 226-4e | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 3,96 | 3,83 | 9,14 | <0,01 | 1,42 | |
| 226-5b | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 4,02 | 4,12 | 9,55 | <0,01 | 0,62 | |
| 226-7c | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 4,28 | 4,55 | 9,86 | 0,05 | 1,33 | |
| 226-8a | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 4,10 | 4,33 | 10,66 | <0,01 | 1,92 | |
| 226-8c | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 3,69 | 4,20 | 8,59 | <0,01 | 0,18 | |
| 228-4 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 5,07 | 3,95 | 7,84 | <0,01 | 0,84 | |
| 228-8 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 4,82 | 3,79 | 7,82 | <0,01 | 0,73 | |
| 228-14 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 5,11 | 4,36 | 9,92 | 0,07 | 1,18 | |
| 228-15 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 5,31 | 4,09 | 7,90 | <0,01 | 0,45 | |
| 228-16 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 4,88 | 4,47 | 9,67 | <0,01 | 1,12 | |
| 228-18 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 5,02 | 4,34 | 9,19 | <0,01 | 0,69 | |
| 228-26 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 4,79 | 3,74 | 7,84 | 0,06 | 1,26 | |
| 228-42 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 4,73 | 3,68 | 8,14 | 0,08 | 2,42 | |
| 264-3 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 4,51 | 3,51 | 7,62 | 0,11 | 1,09 | |
| 264-20 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 5,06 | 3,93 | 7,68 | 0,09 | 0,39 | |
| 264-23 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 5,14 | 4,25 | 7,67 | 0,06 | 0,38 | |
| 264-24 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | C | Forestal | 4,80 | 4,11 | 7,66 | 0,06 | 0,07 | |
| 264-27 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | C | Forestal | 5,24 | 4,04 | 7,65 | 0,05 | 0,12 | |
| 264-32 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | C | Forestal | 4,70 | 3,32 | 8,22 | 0,09 | 0,24 | |
| 264-40 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | C | Forestal | 5,14 | 3,58 | 7,65 | 0,07 | 0,26 | |
| 265-50 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | C | Forestal | 4,87 | 3,96 | 7,73 | <0,01 | 0,34 | |
| 265-55 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 5,28 | 4,28 | 7,87 | 0,07 | 1,21 | |
| O47B | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Forestal | 4,99 | 4,17 | | 0,06 | 1,01 | 0,88 |
| O47C1 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | C | Forestal | 4,91 | 4,10 | | <0,01 | 0,45 | 0,18 |
| 228-35 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Prado | 4,58 | 3,87 | 9,12 | 0,05 | 0,65 | |
| 264-15 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B | Prado | 4,37 | 3,77 | 7,84 | 0,18 | 2,10 | |
| 264-36 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | C | Prado | 4,71 | 3,69 | 8,35 | 0,06 | 0,17 | |
| 264-45 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | C | Prado | 4,66 | 3,64 | 7,65 | 0,07 | 0,10 | |
| 265-23 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | C | Prado | 4,66 | 4,17 | 7,85 | 0,20 | 0,39 | |
| 265-44 | ver hor.A | ver hor.A | ver hor.A | B/C | Prado | 4,48 | 3,73 | 7,73 | 0,37 | 1,54 | |