

Títol del treball:

Capacitat de segrest de carboni dels sòls del Campus de Montilivi/ UdG

Estudiant: Andrés Barranquero Garcia

Grau en Ciències Ambientals

Correu electrònic: abarranquero@gmail.com

Tutor: Dra. Maria Assumpta Gispert Negrell

Empresa / Institució: Universitat de Girona

Vistiplau tutor:

Nom del tutor: Maria Assumpta Gispert Negrell

Empresa / Institució: Universitat de Girona

Correu electrònic: maria.gispert@udg.edu

Data de dipòsit de la memòria a secretaria de coordinació:

Resum

El sòl és un recurs natural, no renovable a curt termini, que està implicat en processos que poden afectar la qualitat ambiental, com per exemple la capacitat de segrestar el CO₂ atmosfèric i, no sempre se'l té en prou consideració. Dins aquest context, el segrest de carboni per part del sòl es podria relacionar amb els factors ecològics de formació, com el material originari, el clima, els organismes vius, la geomorfologia i el temps cronològic, ja que són els principals condicionants dels processos d'edafogènesi.

En l'entorn del campus de Montilivi de la *Universitat de Girona* (zona d'estudi) s'han considerat relativament similars factors de formació del sòl com clima, entitats biòtiques, geomorfologia i temps mentre que s'ha pogut identificar dues unitats geològiques diferents al mapa geològic 1:50.000 de Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (NPlac i Qac).

El present treball té per objectiu realitzar la caracterització de quatre perfils del sòl situats a la zona d'estudi (perfils 1, 2 i 3 formats sobre la unitat NPlac i el 4 sobre Qac), avaluar la capacitat de segrest de carboni que presenten i determinar quins paràmetres poden condicionar o tenir més influència sobre aquesta.

S'han determinat diferents paràmetres fisicoquímics (elements grollers, densitat aparent, composició granulomètrica i classe textural, pH, conductivitat elèctrica, carbonats, carboni orgànic total, carboni oxidable i nitrogen total) dels diferents horitzons dels quatre perfils. A més, en els horitzons superficials d'aquests perfils s'han determinat diferents paràmetres bioquímics relacionats amb el cicle de carboni (respiració potencial del sòl, activitat respiratòria diària, coeficient de mineralització, glomalina total i glomalina fàcilment extraïble).

Dels resultats obtinguts, s'ha pogut determinar que els quatre perfils, classificats com Typic Haploxerept (Perfils 1 i 3), Typic Calcixerept (Perfil 2) i Inceptic Haploxeralf (Perfil 4), presenten diferències en les seves propietats fisicoquímiques (pH, conductivitat elèctrica, densitat aparent, carboni orgànic, nitrogen, carbonats i textura) i bioquímiques (glomalina total i glomalina fàcilment extraïble), sent els perfils 2 i 4 els més diferents per la presència de carbonats i abundància d'aportacions orgàniques respectivament. En el perfil 2, la formació geològica (NPlac) no coincideix amb el material originari (crosta calcària).

Els quatre sòls estudiats presenten un coeficient de mineralització molt baix, essent el sòl de la riera de la Font de l'Abella (perfil 4) el que presenta una millor capacitat de segrest de carboni.

Resumen

El suelo es un recurso natural, no renovable a corto plazo, que está implicado en procesos que pueden afectar la calidad ambiental, como por ejemplo la capacidad de secuestrar el CO₂ atmosférico y, no siempre se lo tiene en justa consideración. Dentro de este contexto, el secuestro de carbono por parte del suelo podría relacionarse con los factores ecológicos de formación, como el material originario, el clima, los organismos vivos, la geomorfología y el tiempo cronológico, pues son los principales condicionantes de los procesos de edafogénesis.

En el entorno del campus de Montilivi de la *Universitat de Girona* (zona de estudio), se ha considerado que factores de formación del suelo como clima, entidades bióticas, geomorfología y tiempo de formación mientras que se han podido determinar dos unidades geológicas diferentes en el mapa geológico 1:50.000 del *Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya* (NPlac i Qac).

El presente trabajo tiene por objetivo realizar la caracterización de cuatro perfiles de suelo situados en la zona de estudio (perfiles 1, 2 y 3 formados sobre la unidad NPlac y el 4 sobre Qac), evaluar la capacidad de secuestro de carbono que presentan y determinar que parámetros pueden condicionar o tener más influencia sobre esta.

Se han determinado diferentes parámetros fisicoquímicos (elementos gruesos, densidad aparente, composición granulométrica y clase textural, pH, conductividad eléctrica, carbonatos, carbono orgánico total, carbono oxidable y nitrógeno total) de los diferentes horizontes de los cuatro perfiles. Además, en los horizontes superficiales de estos perfiles se han determinado diferentes parámetros bioquímicos relacionados con el ciclo del carbono (respiración potencial del suelo, actividad respiratoria diaria, coeficiente de mineralización, glomalina total y glomalina fácilmente extraíble).

De los resultados obtenidos, se ha podido determinar que los cuatro perfiles, clasificados como Typic Haploxerept (Perfiles 1 y 3), Typic Calcixerept (Perfil 2) e Inceptic Haploxeralf (Perfil 4), presentan diferencias en sus propiedades fisicoquímicas (pH, conductividad eléctrica, densidad aparente, carbono orgánico, nitrógeno, carbonatos y textura) y bioquímicas (glomalina total y glomalina fácilmente extraíble), siendo los perfiles 2 y 4 los más diferenciados por la presencia de carbonatos y abundancia de aportaciones orgánicas respectivamente. En el perfil 2, la formación geológica (NPlac) no coincide con el material parental (costra calcárea).

Los cuatro suelos estudiados presentan un coeficiente de mineralización muy bajo, siendo el suelo de *la riera de Font de l'Abella* (perfil 4) el que presenta la mejor capacidad de secuestro del carbono.

Abstract

The soil is a natural resource not renewable in the short term that is involved in processes affecting environmental quality, such as the ability to sequester atmospheric CO₂. This relevance is not always taken into account. Within this context, soil carbon sequestration may be related to factors of formation, such as parent material, climate, living organisms, geomorphology and chronological time, as main determinants of the processes of edaphogenesis.

In the surroundings of the Montilivi campus of the *Universitat de Girona* (study area), climate, biotic entities, geomorphology and time are considered similar, whilst two different geological units in the geological map 1:50.000 of the *Institut Cartogràfic i geològic de Catalunya* (NPlac i Qac) were identified.

This paper aims to characterize four soil profiles located in the study area (profiles 1, 2 and 3 formed on the NPlac unit and 4 on Qac), assess the soil carbon sequestration capacity and determine which parameters may have more influence on it.

Different physicochemical parameters have been determined (gravel, bulk density, particle size separates, textural class, pH, electrical conductivity, carbonates, total organic carbon, oxidizing carbon and total nitrogen) of the different horizons of the four profiles. In addition, different biochemical parameters related to the carbon cycle have been determined in the surface horizons of these profiles (potential soil respiration, daily respiratory activity, mineralization coefficient, total glomalin and easily extractable glomalin).

The results obtained, from the four soil profiles, classified as Typic Haploxerept (Profiles 1 and 3), Typic Calcixerept (Profile 2) and Inceptic Haploxeralf (Profile 4), showed differences in physicochemical (pH, electrical conductivity, bulk density, organic carbon, nitrogen, carbonates and texture) and biochemical properties (total glomalin and easily extractable glomalin). Soil profiles 2 and 4 were mostly differentiated due to the presence of carbonates and higher abundance of organic decaying debris, respectively. The geological setting (NPlac) on which lays profile 2 presents a discontinuity formed by a calcareous crust.

A very low mineralization coefficient has been shown by the four investigated soils. Within them, soil 4 resulted in better (higher) carbon sequestration capacity

Índex

1. Introducció.....	1
2. Objectives.....	3
3. Zona d'estudi.....	4
4. Metodologia.....	5
4.1. Metodologia de camp.....	5
4.2.. Metodologia a laboratori.....	5
4.2.1. Caracterització fisicoquímica al sòl.....	5
4.2.2. Variables bioquímiques del sòl.....	7
4.3. Anàlisi estadístic.....	8
5. Resultats.....	9
5.1. Descripció dels perfils.....	9
5.2. Caracterització dels paràmetres fisicoquímics dels perfils.....	14
5.3. Paràmetres relacionats amb el segrest de carboni.....	16
6. Discussió.....	22
7. Ètica i sostenibilitat.....	24
8. Conclusions.....	24
9. Bibliografia.....	25

1. Introducció

En el marc del cicle del carboni, el carboni orgànic del sòl (SOC), principal component de la matèria orgànica (SOM), és la reserva de carboni més important dins l'ecosistema terrestre (Liu et al., 2016). Aquest component és el resultat d'un balanç entre l'aportació de matèria orgànica al sòl i el CO₂ que s'emet a l'atmosfera durant la respiració del sòl, procés dut a terme principalment pels microorganismes del sòl i per les cèl·lules de les arrels de les plantes. La fracció de carboni orgànic que resta en aquest balanç, i que per tant queda fixat com matèria orgànica, origina el concepte de segrest de carboni (Kavehei et al., 2018).

Com a conseqüència de l'aportament de matèria vegetal en la superfície del sòl, aproximadament la meitat del SOC total es troba en els primers 30 cm de fondària (Batjes, 1996), amb un temps de residència de mesos o anys, fent que aquest carboni pugui arribar a mineralitzar-se (Janzen, 2004). El SOC a les capes inferiors del sòl, serien més recalcitrants i amb períodes de residència de l'orde de 100 anys. Considerant aquest gradient, les capes inferiors del sòl es considera un embornal molt més estable en el temps que no pas les capes superiors. Així i tot, com a efecte a curt termini, és important donada la dinàmica del carboni en els horitzons més superficials (Funes et al., 2019; Guo et al., 2018). Segons l'IPCC (2001), aquest SOC suposaria l'embornal de carboni més estable de la Terra en presentar un temps de residència del carboni més gran que la resta de la biomassa viva. Ara bé, en dependre de l'ús de sòl, del clima, de la topografia i de la seva textura (Lal, 2005; Vitharana, 2019), un canvi en aquest embornal podria implicar un impacte en el balanç global del carboni molt rellevant.

Importància del carboni orgànic del sòl (SOC)

Dins el sòl, el SOC realitza diferents funcions. En ser la font d'energia per les comunitats de microbiota heteròtrofa al sòl, afavoreix la biodiversitat en aquest medi. Té un potencial d'absorció d'aigua que suposa un augment per la capacitat d'aigua disponible per les plantes en reduir les pèrdues d'aigua per escolament superficial, drenatge i evaporació. Té una alta densitat de càrrega superficial que el fa responsable de l'intercanvi catiònic, retenint i aportant diferents nutrients a les plantes. Facilita i dona estabilitat als agregats que es formen al sòl, fent que aquests siguin més resistents als processos d'erosió. Té un efecte tampó que regula les fluctuacions sobtades de pH. També té un efecte regulador de la temperatura en enfosquir el color del sòl i disminuir l'efecte albedo (Porta et al., 2009).

Però, la funció del SOC que més rellevància té en un context actual, és la relació d'equilibri que té aquest amb el diòxid de carboni atmosfèric i com aquesta podria contribuir a la mitigació del canvi climàtic (Lal, 2005). Per altra banda, tot el carboni que quedi segrestat en el sòl és un carboni que pot passar a l'atmosfera, motiu pel qual, és important apostar per usos del sòl i per mesures que afavoreixin la fixació del carboni al sòl.

El carboni en sòl pot variar també en funció dels diferents usos d'aquest. Per Guo i Gifford (2002) a partir d'una metanàlisi fet en 16 països diferents varen observar que el contingut del SOC incrementa un 8% en transformar un bosc en pastures, un 18% en passar d'un camp de cultiu a una plantació, un 19% en passar d'un camp de cultiu a pastures i un 53% en passar d'un camp de cultiu a un bosc secundari. Mentre que disminuiria un 10% en passar de pastures a plantacions, un 13% en passar de boscos a plantacions, 42% en passar de boscos a herbassars i 59% en passar de boscos a camps de cultiu.

A grans trets, es pot parlar de processos que produeixen pèrdues de carboni per part del sòl (respiració dels microorganismes presents al sòl, els processos de rentat, l'erosió i la mineralització del carboni) i de processos que produeixen guanys de carboni (aportació de biomassa i de residus, la humificació) és a dir, que afavoreixen el segrest del carboni (Lal, 2006).

Conèixer el contingut del SOC pot ser útil de cara a estimar el potencial que tenen els usos per augmentar el segrest del carboni, determinant així l'estoc d'aquest en un moment donat. Per l'IPCC (2001), l'augment del segrest de carboni com a conseqüència del manegament en els usos del sòl, pot contribuir a la mitigació del canvi climàtic, sempre que aquest ús suposi una transferència addicional del diòxid de carboni atmosfèric al sòl (Forana et al., 2011).

Factors ecològics relacionats amb el segrest del carboni en el sòl

Els factors responsables del segrest del carboni en el sòl estan relacionats amb els factors formadors ecològics del sòl, els quals són el material originari, el clima, la geomorfologia, el temps com escala d'observació i els organismes vius.

El **material originari** es tracta d'un element passiu sobre el qual actuen diferents processos que el transformen, com la meteorització i els processos d'edafogènesi. En funció de la susceptibilitat del material originari a meteoritzar-se, el sòl desenvoluparà diferents propietats fisicoquímiques, com ara la textura, fortament lligada a l'estabilització del SOC com a conseqüència de diferents nivells d'argiles i llims (Barre et al., 2017) o el component mineralògic, el qual també genera variabilitat en el segrest del carboni, ja que, els elements minerals poden formar diferents complexos amb les formes del carboni del sòl.

El **clima** és un factor que inclou bàsicament dos paràmetres, precipitació i temperatura, els quals proporcionen aigua i energia determinant l'edafogènesi. En una escala global, l'acumulació del carboni és més favorable quan les precipitacions són altes i les temperatures són baixes, i, per tant, la velocitat de recuperació del SOC en els sòls és major en els climes freds i humits, com per exemple a la tundra (Baritz et al., 2010).

Pel que fa al nostre clima mediterrani, aquest, es caracteritza per un baix contingut en carboni orgànic en el sòl (Funes et al., 2019), propens a la seva degradació, conseqüència d'una baixa precipitació anual i temperatures moderades. La precipitació mitjana en els sòls mediterranis es correlaciona molt amb el SOC, però, intervenen de forma molt significativa factors topogràfics com el pendent.

La **geomorfologia**, entesa com la superfície que ocupa un sòl en un relleu, condiciona la incidència solar rebuda així com el transport de matèria i energia en el paisatge (Seibert et al., 2007), distingint superfícies d'erosió, on el SOC es perd, i superfícies de deposició, on el SOC tendeix a acumular-se (Mayes et al., 2014).

El **temps cronològic** afecta les variacions que hi poden haver al llarg d'un dia, com la temperatura de superfície o l'activitat biològica, al llarg d'un any, com el règim d'humitat, contingut en nutrients o pèrdua de material per erosió, o bé, pot afectar a variacions que s'expressen al llarg de molts anys, com ara als processos de meteorització o diferenciació dels diferents horitzons d'un sòl (Badia et al., 2008).

Com a ecosistema, el sòl allotja diferents **organismes vius**, els quals que tenen una influència positiva sobre el SOC. A banda de les espècies vegetals, responsables d'aportar una fracció significativa del carboni orgànic al sòl, la macrofauna també juga un paper important en aquest sentit (Wiesmeier et al., 2019), oligoquets, formigues o estats larvaris d'alguns insectes, airegen el sòl en remoure'l, mantenen una certa porositat, afavoreixen el drenatge i la infiltració de l'aigua amb els nutrients que arrossega, entre els quals hi ha les formes orgàniques del carboni. Resulta especialment significativa l'acció dels cucs de terra, els quals afavoreixen la incorporació de carboni en els microagregats, els quals són molt estables en el temps, com a conseqüència de l'acceleració en la descomposició de la matèria orgànica a través dels intestins dels cucs (Bossuyt et al., 2006; Angst et al., 2017). Per altra banda, qualsevol organisme viu suposa una aportació de matèria orgànica al sòl quan aquest mor.

Dels microorganismes encarregats d'oxidar aquest carboni, els fongs, tenen un paper molt important en aquesta dinàmica, com per exemple els fongs simbiòtics amb les arrels VAM (micorriza arbuscular), els quals faciliten la captura de nutrients per part de les plantes (Lopes et al, 2016) com a conseqüència de segregar glomalina, substància que afavoreix la formació d'agregats que determinen l'estructura del sòl i ajuden a fixar el carboni (Gispert et al., 2018).

Tanmateix, existeix una variació del segrest del carboni en la seva distribució vertical. Les capes superficials del sòl són les més influenciades per la temperatura i la precipitació, fent que l'activitat microbiana sigui més significativa, descomponent així més ràpidament la matèria orgànica.

2. Objectives

Taking the account the geoecological factors wich may be involved in processes of soil formation and with the view of stablishing soils with carbon sequestration ability. The following objectives were proposed:

- Determine if there are different soil typologies on the Campus Montilivi - UdG.
 - o Describing and characterizing four soil profiles and their horizons.
- Establish the carbon sequestration capacity of Campus Montilivi - UdG soils.
 - o Determining the organic carbon content in these soils.
 - o Carry out the CO₂ emission "in situ".
 - o Determining the potential respiratory activity of the soil "in situ".
 - o Quantifying the glomalin content.

3. Zona d'estudi

L'estudi s'ha dut a terme en una àrea compresa entre el petit bosc dins el Campus de Montilivi de la Universitat de Girona, la riera de la Font de l'Abella i bosc adjacent a aquesta, propera a l'institut de Montilivi (Figura 1).

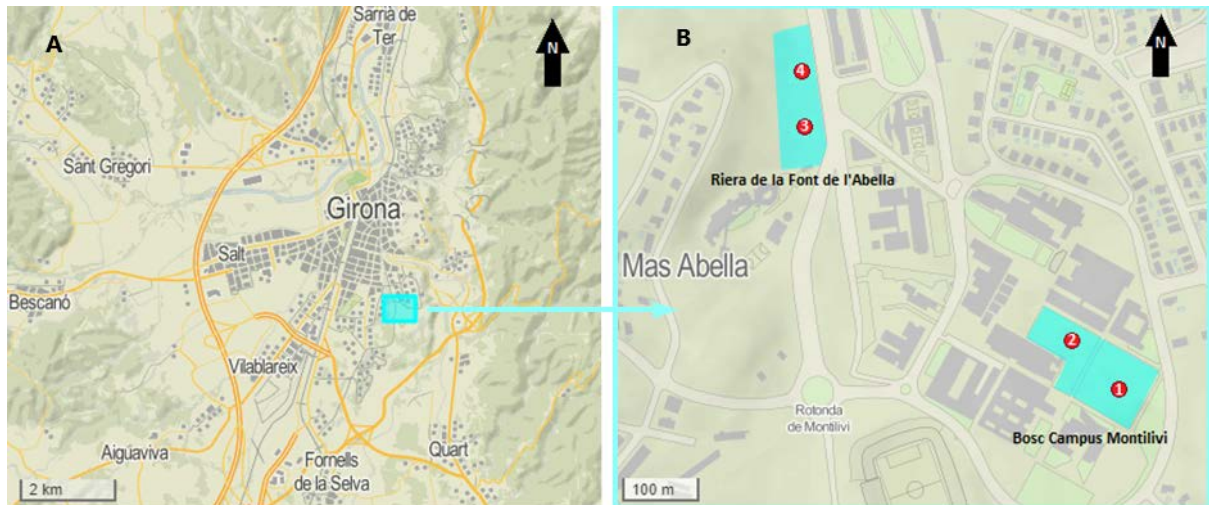


Figura 1. Mapa topogràfic on es mostra la ubicació de la zona d'estudi (A) i la situació dels quatre perfils estudiats (B) de la zona d'estudi. Extret i modificat de l'eina Instamaps de l'ICGC.

S'han realitzat quatre escandalls per descriure els perfils, els quals se situen sobre dues formacions geològiques (Figura 2) segons el mapa geològic 1:50.000 de l'ICGC.

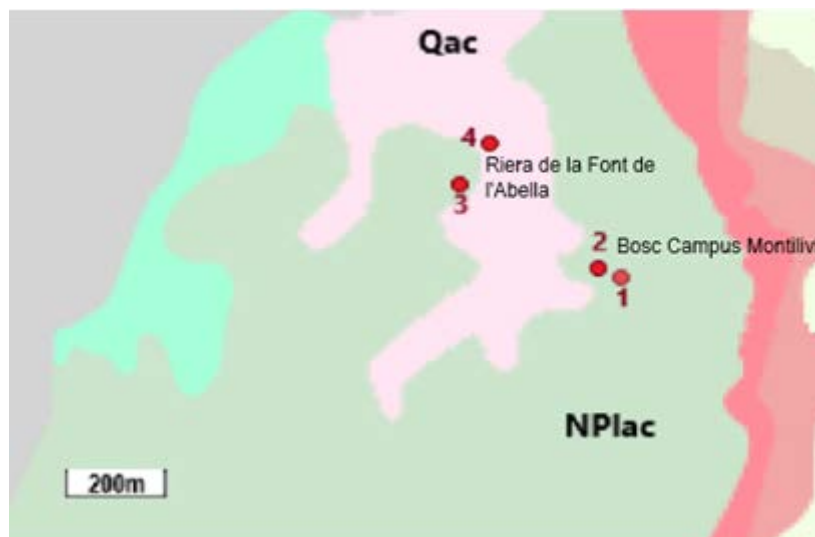


Figura 2. Mapa geològic (1:50.000) de la zona d'estudi amb els quatre perfils estudiats senyalats i les dues unitats geològiques (Qac i NPlac) presents a la zona. Extret i modificat de l'ICGC.

Els perfils 1, 2 i 3 se situen sobre la unitat geològica NPlac, que correspon a llims i sorres arcòsiques amb nivells d'argiles i conglomerats del Pliocè. El perfil 4 es troba a una llengua formada per la unitat geològica Qac, que correspon a dipòsits al·luvials-col·luvials, graves amb una matriu sorrenca i argilosa de l'Holocè.

La localització dels perfils és la següent:

Perfil 1, Bosc del Campus Montilivi, part esquerra a mig camí des de l'edifici P.IV de l'Escola Politècnica Superior i la Facultat de Ciències Econòmiques i Empresarials.

Perfil 2, Bosc del Campus Montilivi, part dreta a mig camí des de l'edifici P.IV de l'Escola Politècnica Superior i la Facultat de Ciències Econòmiques i Empresarials.

Perfil 3, Bosc proper a la riera de la Font de l'Abella.

Perfil 4, Llera de l'antiga riera de la Font de l'Abella.

Per a cada perfil, els quals s'han procurat que fossin representatius de la zona per obtenir la màxima fiabilitat en l'estudi, s'hi han diferenciat els horitzons determinant així la fondària d'aquests. S'han pres mostres per triplicat per a poder realitzar les determinacions analítiques.

4. Metodologia

4.1. Metodologia de camp

Descripció dels perfils

S'ha dut a terme una descripció macromorfològica dels perfils i els seus horitzons seguint les indicacions de la *Guia para la descripción de suelos* de la FAO (2009).

4.2. Metodologia a laboratori

4.2.1. Caracterització fisicoquímica del sòl

Per aquestes variables s'han fet servir els procediments estàndard per l'anàlisi i caracterització del sòl (ISRIC, 2002).

Determinació de la densitat aparent (BD)

S'han pres mostres inalterades de sòl en els diferents horitzons per a obtenir la densitat aparent del sòl (BD) amb un cilindre de volum conegut. Aquestes mostres s'han assecat a l'estufa durant 24 hores a 105 °C. S'ha obtingut el valor en pes sec de cada mostra i s'ha relacionat amb el volum ocupat en el cilindre per determinar la densitat aparent (BD) en g/cm³.

Determinació d'elements grollers (EG)

S'han pres mostres de sòl dels diferents horitzons per triplicat i s'han separat per garbellat els elements grollers (> 2 mm) de la terra fina (< 2 mm). El pes d'aquesta fracció garbellada respecte al pes total de la mostra inicial ha servit per determinar el percentatge d'elements grollers (EG).

Les variables que han estat determinades en la fracció de terra fina del sòl (< 2 mm) són el pH, la conductivitat elèctrica (C.E.), el contingut en carbonats, el carboni orgànic total (TOC), el carboni oxidable (Cox), el nitrogen total del sòl, les fraccions granulomètriques i la classe textural.

Determinació del pH i conductivitat en les mostres de sòl

S'ha preparat una suspensió de sòl amb aigua amb una relació 1:2,5 (pes/volum) de les mostres de sòl per determinar, després de 30 minuts d'agitació en un remenador mecànic, el pH amb un pH-metre i una solució 1:5 d'aquestes per determinar la conductivitat elèctrica (dS/m) fent servir un conductímetre.

Determinació dels carbonats (% CaCO_3)

Treballant en unes condicions de pressió i temperatura constants, s'ha mesurat el volum de diòxid de carboni desenvolupat durant el procés de descomposició dels carbonats presents en el sòl per l'acció de l'àcid clorhídric en un calcímetre de Bernard. El percentatge de carbonats es calcula relacionant el CO_2 produït en la reacció amb HCl en el sòl amb el qual produeix un pes conegut de CaCO_3 pur.

Determinació del carboni orgànic total (% TOC)

El percentatge de carboni orgànic total (TOC) de les mostres s'ha determinat introduint un pes de cada mostra sòl en un gresol de ceràmica. Un cop preparats els gresols, s'han introduït en una mufla i s'ha calcinat a 400°C durant 16 hores. Ja refredades, el pes de les cendres resultants de la combustió respecte al pes inicial ens donarà el percentatge de carboni orgànic total (TOC).

Determinació del carboni oxidable (% Cox)

Per determinar el percentatge del carboni oxidable (Cox) s'ha seguit el mètode de Walkley-Black, el qual consisteix en l'oxidació del carboni orgànic present amb dicromat potàssic en medi àcid. L'excés d'àcid és valorat amb una sal de ferro-amoni (sal de Mohr) de concentració coneguda.

Determinació del nitrogen total del sòl (% TN)

Per l'obtenció d'aquest paràmetre s'ha dut a terme el mètode Kjeldahl (Figura 3), el qual consisteix a transformar les diferents formes de nitrogen amoniacal mitjançant una digestió amb àcid i seleni actuant com a catalitzador de la reacció. L'amoni format s'allibera neutralitzant la mostra amb hidròxid de sodi (NaOH). El destil·lat s'ha recollit amb àcid bòric i s'ha valorat amb àcid clorhídric de concentració coneguda fins al punt d'equivalència amb l'ajuda d'un indicador.

Determinació de les fraccions granulomètriques del sòl

Per determinar les fraccions granulomètriques de les partícules minerals de sòl, una vegada han estat individualitzades i sota condicions controlades, s'ha fet servir el mètode de la pipeta de Robinson, el qual es basa en l'equació de Stokes que relaciona la velocitat de sedimentació de les partícules amb la mida d'aquestes. Prèviament, es realitza la destrucció de la matèria orgànica amb H_2O_2 i es prepara una suspensió del sòl amb aigua i un agent dispersant i es deixa en un agitador durant 16 hores. Les sorres grosses ($2 - 0,2 \text{ mm}$) se separen mitjançant un garbell al traspasar la suspensió a la proveta de sedimentació on se separen sorres fines de llims i argiles. Prenent mostres a diferents temps teòrics de sedimentació, s'obtenen diferents fraccions granulomètriques per cada mostra.



Figura 3. Destil·lador Kjeldahl.

4.2.2. Variables bioquímiques del sòl

Les variables bioquímiques s'han determinat per l'horitzó superficial de cada un dels perfils estudiats. Aquestes variables han estat la respiració potencial del sòl (RP), l'activitat respiratòria del sòl (AR) i el coeficient de mineralització (Q_{min}), determinades seguint les indicacions d'Alef i Nannipieri (1998), i la glomalina total (BRSP) i fàcilment extraïble (EE-BRSP), segons el mètode de Wright (1996).

Respiració potencial del sòl (RP)

La respiració potencial, entesa com l'activitat respiratòria que tindria el sòl en les condicions ambientals més favorables per l'activitat biològica, s'ha determinat en laboratori fent servir el mètode modificat per Edwards (1987). Les mostres de sòl (terra fina) s'introdueixen en un recipient hermètic, es porta la humitat del sòl a dues terceres parts de la capacitat de camp i es col·loca una càpsula amb una sal de sodi-calci ("soda lime") que té capacitat d'absorbir el CO_2 emès pel sòl. Es tanquen els recipients i s'incuben a les fosques a 25 °C durant 7 dies.

Passat aquest temps, es determinen els mg de diòxid de carboni absorbit calculant la diferència de pes de la "soda lime" pesada inicialment i secada prèviament a 105 °C, multiplicant per un factor corrector (1,69). Per corregir el valor de respiració potencial (RP) s'ha considerat el percentatge d'elements grollers (EG) de cada mostra.

La capacitat d'absorció de diòxid de carboni de la "soda lime" depèn d'un cert grau d'humitat i està influenciada per la quantitat d'aquesta sal i la seva superfície (Keith, 2006), motiu pel qual s'ha treballat amb una quantitat suficient en cada mostra per determinar amb més exactitud l'activitat respiratòria del sòl.

Activitat respiratòria del sòl (AR)

La producció de diòxid de carboni del sòl s'ha determinat mitjançant la utilització de "Cover Box" (Anderson, 1982) que permet determinar l'activitat respiratòria "in situ" i valorar-la pel mètode de la "soda lime" d'Edwards (1987) abans descrit.

S'han disposat els cilindres "Cover Box" (Figura 4) en tres punts propers a cada perfil. S'han realitzat dues mesures a la setmana durant el període entre el 28 de març i el 3 de maig, per obtenir la variació en la respiració del sòl dels perfils al llarg del mes.



Figura 4. Cover Box.

Coeficient de mineralització (Qmin)

Aquest coeficient (Anderson,1982), el qual indica la capacitat de segrest del carboni, s'ha calculat segons la fórmula:

$$Q_{min} = \frac{C_{CO_2} \text{ emès} \left(\frac{mg}{g * dia} \right)}{C_{ox} \text{ sòl} \left(\frac{mg}{g * dia} \right)}$$

Els valors propers a 1 reflecteixen que el sòl desprèn més diòxid de carboni del qual acumula mentre que els valors que tendeixen a 0 reflecteixen que el sòl acumula CO₂ i està actuant d'embornal (segrest de carboni).

Determinació de la glomalina fàcilment extraïble (EE-BRSP) i la glomalina total (BRSP)

S'ha preparat una solució 20 mM de citrat trisòdic dihidratat i una solució de 50 mM d'aquesta sal per extreure la glomalina EE-BRSP i BRSP respectivament fent servir el mètode descrit per Wright (1996). Mentre que la glomalina EE-BRSP s'extreu amb un sol autoclavatge de 30 minuts, per la glomalina BRSP es realitzen diversos autoclavats d'una hora fins a obtenir un extracte sense coloració. Un cop s'han obtingut els extractes, s'ha determinat la glomalina amb el mètode de Bradford. S'ha realitzat una recta patró amb concentracions conegudes de la proteïna BSA (Bovine Serum Albumin) que ha permès quantificar la concentració de glomalina EE-BRSP i BRSP de les mostres.

4.3. Anàlisi estadístic

Les dades obtingudes en la caracterització dels perfils s'han tractat amb el programa estadístic R. S'ha realitzat una anàlisi ANOVA unifactorial.

Pel que fa als horitzons superficials, s'ha realitzat un test de Tukey per determinar si existeixen diferències significatives pel que fa als paràmetres fisicoquímics, les seves fraccions granulomètriques i als paràmetres relacionats amb el segrest del carboni.

Per tractar els diferents paràmetres fisicoquímics i bioquímics dels horitzons superficials dels quatre perfils, s'ha realitzat una matriu de correlacions per obtenir els paràmetres més correlacionats i paral·lelament una anàlisi de components principals (PCA).

5. Resultats

5.1. Descripció dels perfils

El següent apartat recull la informació general dels perfils estudiats i taules amb la descripció macromorfològica (Taules 1, 2, 3 i 4), d'aquestes. De forma comuna, tots els perfils es troben en una zona amb un clima edàfic amb un règim de temperatura tèrmic i un règim d'humitat xèric. Són sòls amb un bon drenatge, en estat d'oxidació, sense presència de taques d'oxidació o de reducció i amb un nivell freàtic que resulta inaccessible, motiu pel qual no s'ha pogut observar. En tots els llocs estudiats, la cobertura superficial és del 100%, pel que no s'han pogut descriure indicis de processos d'erosió (tret en els marges), afloraments rocosos.



Figura 5. Vegetació predominant a la zona d'estudi.

Els perfils es troben en una zona de bosc esclerofil·le mixt Mediterrani (Figura 5), amb la diferència que mentre en els perfils 1 i 2 hi ha presència de pocs peus de *Pinus pinea*, aquests, són absents en els perfils 3 i 4. En aquests últims hi ha més abundància de *Quercus suber*. Tanmateix, en el perfil 4 hi ha presència d'espècies invasores com la *Robinia pseudoacacia*.

Pel que fa a les característiques observades, hi ha una certa variabilitat quan a la seva textura al tacte, tot i que es pot parlar de sòls amb una textura mitjana que oscil·la entre la franca arenosa i l'arenosa, amb pocs elements grossos visibles o fins i tot inexistents en els horitzons més profunds. Mentre que en els perfils 1 i 2 hi ha reacció amb àcid clorhídric amb diversa intensitat, tret que indica la presència de carbonats, els perfils 3 i 4 resulten descarbonatats.

Els sòls s'han classificat segons la Soil Survey Staff (2014) dins l'orde dels Inceptisòls, els perfils 1, 2 i 3 i com Alfisòl el perfil 4 (Figures 6, 7, 8 i 9). A nivell de grups, essent els perfils 1 i 3 Typic Haploxerept i, per la presència d'un endopèdon càlcic, el perfil 5 ha estat classificat com Typic Calcixerept. En el perfil 4, s'ha pogut identificar un endopèdon argílic i un baix grau de saturació en bases (pH de 6,5), motiu pel qual pertany a l'ordre dels Alfisòls i s'ha classificat com a Inceptic Haploxeralf.

INFORMACIÓ GENERAL PÈDON: Perfil 1

Localització: Al bosc del Campus Montilivi, girant a l'esquerra a mig camí des de la Politècnica 4 i la Facultat de Ciències Econòmiques i Empresarials.

Terme municipal: Girona

Data de descripció: 24/04/19

Prospector: Andrés Barranquero Garcia

CARTOGRAFIA

Editor: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC)

Mapa/Escala: 1:5000

E (X): 486030.75 m – **N(Y):** 4645618.75 m **UTM 31N /ETR S89 - Altitud:** 119 m

GEOMORFOLOGIA: Està situat en la part mitjana d'una vessant còncava, amb una orientació Sud. Pendent general entre un 5 i un 10%.

PROFUNDITAT EFECTIVA: > 80 cm

GEOLOGIA: Llims i sorres arcòsiques amb nivells d'argiles i conglomerats del Pliocè (NPlac)

MATERIAL ORIGINARI: NPlac

CLASSIFICACIÓ (SSS, 2014): Typic Haploxerept.

OBSERVACIONS: Sobre el perfil hi ha una capa de 3 cm de virosta en un estadi avançat de descomposició.



Figura 6. Perfil 1.

Taula 1. Descripció macromorfològica dels horitzons identificats a camp en el perfil 1 (E.GROSSOS; Elements Grossos; L.-FORMA, Límit Forma; L.-NITIDESA; Límit Nitidesa).

NOM (ABC)	A	Bw	C
PROF. (cm)	0 - 30	30 – 50	> 50
TEXTURA	Arenosa	Franca fina	Franca arenosa
HUMITAT	Lleugerament humit	Lleugerament humit	Sec
ESTAT OXI/RED	Oxidació	Oxidació	Oxidació
COLOR	7.5YR 6/6	10YR 6/6	7.5YR 6/8
E. GROSSOS	Pocs	Pocs	Inexistents
ESTRUCTURA	Granular	Blocs angulars	Blocs angulars
COMPACITAT	Friable	Friable	Dur (Compacte)
ACTIVITAT BIOLÒGICA	Presència d'arrels	Presència d'arrels	No
REACCIÓ HCI	Lleugera	Nul·la	Nul·la
L.-FORMA	Pla	Pla	Pla
L.-NITIDESA		Gradual	Abrupte
HORITZÓ DIAGNÒSTIC	Òcric	Càmbic	-

INFORMACIÓ GENERAL PÈDON: Perfil 2

Localització: Al bosc del Campus Montilivi, girant a la dreta a mig camí des de la politècnica 4 i la Facultat de Ciències Econòmiques i Empresarials.

Terme municipal: Girona

Data de descripció: 16/05/19

Prospector: Andrés Barranquero Garcia

CARTOGRAFIA

Editor: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC)

Mapa/Escala: 1:5000

E (X): 485973.25 m – **N(Y):** 4645474.75 m **UTM 31N**
/ETR S89 - Altitud: 112 m

GEOMORFOLOGIA: Està situat en la part mitjana d'una vessant còncava, amb una orientació Oest. Pendent general entre un 5 i un 10%.

PROFUNDITAT EFECTIVA: 230 cm

GEOLOGIA: Llims i sorres arcòsiques amb nivells d'argiles i conglomerats del Pliocè (NPlac).

MATERIAL ORIGINARI: Crosta calcària.

CLASSIFICACIÓ (SSS, 2014): Typic Calcixerept.



Figura 7. Perfil 2.

Taula 2. Descripció macromorfològica dels horitzons identificats a camp en el perfil 2 (E.GROSSOS; Elements Grossos; L.-FORMA, Límit Forma; L.-NITIDESA; Límit Nitidesa).

NOM (ABC)	A	Bw	Bw	B/C	Ckm	2Ck
PROF. (cm)	0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	80 - 100	> 100
TEXTURA	Franca arenosa	Franca fina	Franca fina	Franca fina	Franca arenosa	Franca arenosa
HUMITAT	Sec	Sec	Sec	Sec	Sec	Sec
COLOR	2.5Y 5/4	10YR 5/6	10YR 5/6	10YR 7/6	10YR 8/4	2.5Y 7/4
TAQUES	Inexistents	Inexistents	Inexistents	Inexistents	Inexistents	Inexistents
E. GROSSOS	Pocs	Pocs	Pocs	Inexistents	Inexistents	Inexistents
ESTRUCTURA	Blocs angulars	Blocs angulars	Blocs angulars	Blocs angulars	Laminar	Sense estructura
COMPACITAT	Molt dur (Poc compacte)	Molt dur (Poc compacte)	Dur (Poc compacte)	Dur (Poc compacte)	Friable	Friable
ACTIVITAT BIOLÒGICA	Presència de fongs i arrels	Presència d'arrels	Presència d'arrels	Presència d'arrels	Presència d'arrels	Presència d'arrels
REACCIÓ HCI	Nul·la	Lleugera	Mitjana	Forta	Molt forta	Forta
L.-FORMA	No observable	No observable	No observable	Pla	Pla	Pla
L.-NITIDESA	No observable	No observable	No observable	Difusa	Difusa	Abrupte
HORITZÓ DIAGNÒSTIC	Òcric	Càmbic	Càmbic	Càlcic	Petro Càlcic	Càlcic

INFORMACIÓ GENERAL PÈDON: Perfil 3

Localització: Pujant el turó que delimita la zona recreativa de la Font de l'Abella adjacent a l'avinguda Montilivi.

Terme municipal: Girona

Data de descripció: 16/05/19

Prospector: Andrés Barranquero Garcia

CARTOGRAFIA

Editor: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC)

Mapa/Escala: 1:5000

E (X): 485608.35 m – **N(Y):** 4646055.35 m UTM 31N /ETR S89 - **Altitud:** 86 m

GEOMORFOLOGIA: Està situat en la part baixa d'una vessant còncava, amb una orientació Oest. Pendent general entre un 2 i un 5%.

PROFUNDITAT EFECTIVA: > 50 cm

GEOLOGIA: Llims i sorres arcòsiques amb nivells d'argiles i conglomerats del Pliocè (NPlac)

MATERIAL ORIGINARI: NPlac

CLASSIFICACIÓ (SSS, 2014): Typic Haploxerept.

OBSERVACIONS: Acumulació de matèria orgànica en els primers 5 cm.



Figura 8. Perfil 3.

Taula 3. Descripció macromorfològica dels horitzons identificats a camp en el perfil 3 (E.GROSSOS; Elements Grossos; L.-FORMA, Límit Forma; L.-NITIDESA; Límit Nitidesa).

NOM (ABC)	A	B
PROF. (cm)	0 - 20	20 - > 40
TEXTURA	Franca arenosa	Franca arenosa
HUMITAT	Sec	Lleugerament humit
COLOR	10YR 5/6	10YR 5/6
E. GROSSOS	Pocs	Inexistents
ESTRUCTURA	Blocs angulars	Blocs angulars
COMPACITAT	Dur (Poc compacte)	Friable
ACTIVITAT BIOLÒGICA	Presència d'arrels	Presència d'arrels
REACCIÓ HCI	Nul·la	Nul·la
L.-FORMA	Pla	Pla
L.-NITIDESA	Abrupte	Abrupte
HORITZÓ DIAGNÒSTIC	Òcric	-

INFORMACIÓ GENERAL PÈDON: Perfil 4

Localització: Sobre l'antiga riera de la font de l'Abella entre la zona recreativa de la Font de l'Abella i el carrer de Francesc Romaguera.

Terme municipal: Girona

Data de descripció: 16/05/19

Prospector: Andrés Barranquero Garcia

CARTOGRAFIA

Editor: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC)

Mapa/Escala: 1:5000

E (X): 485614.35 m – **N(Y):** 4646128.35 m UTM 31N /ETR S89 - **Altitud:** 84 m

GEOMORFOLOGIA: Està situat en la part baixa d'una vessant còncava, amb una orientació Est.

PROFUNDITAT EFECTIVA: > 40 cm

GEOLOGIA: Dipòsits al·luvials-col·luvials. Graves amb una matriu sorrenca i argilosa de l'Holocè (Qac)

MATERIAL ORIGINARI: Qac

CLASSIFICACIÓ (SSS, 2014): Inceptic Haploxeralf.

OBSERVACIONS: Sobre el perfil hi ha una capa de 3 cm de virosta en un estadi avançat de descomposició. Cobertura herbàcia.



Figura 9. Perfil 4.

Taula 4. Descripció macromorfològica dels horitzons identificats a camp en el perfil 4 (E.GROSSOS; Elements Grossos; L.-FORMA, Límit Forma; L.-NITIDESA; Límit Nitidesa).

NOM (ABC)	A	Bt
PROF. (cm)	0 - 20	20 - > 40
TEXTURA	Arenosa	Arenosa
HUMITAT	Sec	Lleugerament humit
COLOR	10YR 4/4	10YR 5/6
E. GROSSOS	Freqüents	Freqüents
ESTRUCTURA	Blocs angulars	Blocs angulars
COMPACITAT	Dur (Poc compacte)	Friable
ACTIVITAT BIOLÒGICA	Presència de formiguers	Presència de formiguers
REACCIÓ HCI	Nul·la	Nul·la
L.-FORMA	No observable	No observable
L.-NITIDESA	No observable	No observable
HORITZÓ DIAGNÒSTIC	Òcric	Argílic

5.2. Caracterització dels paràmetres fisicoquímics dels perfils

La següent taula (Taula 5) recull les principals característiques fisicoquímiques de la terra fina (< 2 mm) dels horitzons determinades per triplicat al laboratori, així com la determinació de la classe textural. Dels quatre perfils abans descrits, els paràmetres que més els diferencien són el pH, el contingut en carbonats i els elements grollers (EG).

Es pot observar com de manera general, els percentatges de carboni orgànic total (TOC), carboni oxidable (Cox) i nitrogen total (TN) disminueixen en fondària. La relació C/N també disminueix en fondària i és manté sempre molt per sota dels valors que Brady i Weil (2008) considera adequats en el sòl (> 10 - 16), el que suposa que els perfils tenen una alta capacitat de descomposició de la matèria orgànica i que el nitrogen resulta molt disponible per les plantes. Cal destacar, en referència al nitrogen total (TN), que tots els perfils presenten un percentatge similar tret el perfil 4, el qual presenta més contingut en nitrogen en ser un perfil situat sobre la riera de la Font de l'Abella on rep més aportacions orgàniques i amb una cobertura herbàcia (Brady i Weil, 2008).

Cap d'aquests sòls es pot considerar salí, ja que, els valors obtinguts de conductivitat elèctrica en l'extracte 1:5 estan per sota dels 1 dS/m (Porta et al., 2009). En relació al pH, els perfils 1 i 2, situats al bosc del Campus Montilivi, serien neutres (6,6 – 7,3) durant els seus primers horitzons però es tornarien d'un caràcter més bàsic (7,9 – 8,4) en fondària, mentre que els perfils 3 i 4, corresponent a la zona de la Font de l'Abella, són de caràcter lleugerament àcid (6,1 – 6,5) amb excepció de l'horitzó superficial del perfil 3, que és fortament àcid (5,1 – 5,5).

El perfil 2 presenta un contingut significatiu de carbonats, sent clarament carbonatat, amb un percentatge superior al 50% entre els 80 i 100 centímetres de fondària com a conseqüència de la presència d'una crosta calcària. Pel que fa al perfil 1, aquest presenta molt poca concentració de carbonats en els horitzons situats entre 10 i 40 cm de fondària, mentre que els perfils 3 i 4 resulten sòls totalment descarbonatats.

Pel que fa a les argiles (C), els perfils 1 i 2 presenten un percentatge d'argiles similars entre ells, el qual disminueix en fondària, i és significativament més gran que els percentatges d'argiles que presenten els perfils 3 i 4, també similars entre ells, amb la diferència que en el perfil 3 es manté constant en fondària i en el perfil 4 augmenta en l'horitzó 20 – 40 per processos d'il·luviació. Aquest últim paràmetre, juntament amb el percentatge de sorres total (ST) i de llims (S), determina la classe textural en els diferents horitzons, motiu pel qual els perfils 1 i 2 presenten una textura francoargil·loarenosa en els primers horitzons, i, en disminuir el percentatge d'argiles en fondària, la textura es torna francoarenosa, mentre que en els perfils 3 i 4 la textura és francoarenosa en tots els seus horitzons.

Respecte a la densitat aparent (BD), el perfil 1 presenta valors més baixos i aquesta varia en fondària sense seguir una tendència clara, encara que igual que el perfil 3, el seu horitzó inferior presenta una densitat aparent (BD) més elevada que el seu horitzó superficial. Els perfils 2 i 4 presenten valors més alts, els quals disminueixen en fondària.

Considerant el contingut en carboni, el carboni orgànic total (TOC), obtingut per calcinació a 400 °C és més elevat que carboni oxidable (Cox) en tots els casos.

Taula 5. Paràmetres fisicoquímics, fraccions granulomètriques i Classe Textural dels horitzons dels perfils 1, 2, 3 i 4 (C.E., Conductivitat Elèctrica; BD, Densitat Aparent; EG, Elements Grollers; TOC, Carboni Orgànic Total; TN, Nitrogen Total; C/N, Relació Carboni-Nitrogen; CaCO₃, Carbonats; C, Argiles; S, Llims; TS, Sorres Totals).

Perfil	Horitzó	pH	C.E. (dS/m)	BD (g/cm ³)	EG (%)	TOC (%)	Cox (%)	TN (%)	C/N	CaCO ₃ (%)	C (%)	S (%)	TS (%)	Classe textural
1	0 - 10	7.085	0.098	1.015	27.642	1.808	0.684	0.101	6.785	0.000	25.995	13.631	60.375	francoargil·loarenosa
1	10 - 20	7.765	0.190	1.190	14.599	1.014	0.230	0.077	2.982	1.773	29.792	11.733	58.475	francoargil·loarenosa
1	20 - 30	8.085	0.115	0.932	13.878	0.873	0.148	0.066	2.251	1.903	27.269	15.206	57.525	francoargil·loarenosa
1	30 - 40	7.825	0.153	0.780	7.335	0.709	0.030	0.053	0.557	1.471	21.193	14.607	64.200	francoargil·loarenosa
1	40 - 50	8.265	0.100	0.977	6.423	0.724	0.007	0.038	0.196	0.000	19.306	13.769	66.925	francoarenosa
1	> 50	8.060	0.070	1.265	6.711	0.500	0.007	0.028	0.265	0.000	17.003	8.272	74.725	francoarenosa
2	0 - 20	7.495	0.162	1.342	24.023	1.393	0.835	0.080	10.458	1.016	34.202	14.323	51.475	francoargil·loarenosa
2	20 - 40	8.075	0.147	1.294	26.353	1.754	0.385	0.064	5.981	2.380	34.055	13.145	52.800	francoargil·loarenosa
2	40 - 60	8.260	0.130	1.281	12.378	1.099	0.296	0.045	6.614	4.844	34.496	14.079	51.425	francoargil·loarenosa
2	60 - 80	8.270	0.119	1.175	4.982	0.897	0.222	0.035	6.349	21.627	31.287	14.6885	54.025	francoargil·loarenosa
2	80 - 100	8.440	0.140	1.155	0.000	0.531	0.052	0.028	1.852	53.116	19.061	15.614	65.325	francoarenosa
2	> 100	7.935	0.126	1.084	0.135	0.359	0.030	0.028	1.058	25.304	12.201	2.524	85.275	arenosa franca
3	0 - 20	5.267	0.049	0.945	21.850	1.001	0.546	0.094	5.817	0.000	9.800	20.200	70.000	francoarenosa
3	20 - 40	6.183	0.044	1.459	5.282	0.990	0.111	0.084	1.323	0.000	9.800	22.700	67.500	francoarenosa
4	0 - 20	6.583	0.065	1.314	16.551	1.692	1.356	0.178	7.624	0.000	7.350	20.150	72.500	francoarenosa
4	20 - 40	6.507	0.052	1.233	11.422	1.359	0.385	0.119	3.237	0.281	14.700	15.300	70.000	francoarenosa

5.3. Paràmetres relacionats amb el segrest del carboni

Considerant que a curt/mig termini la capacitat de segrest de carboni d'un sòl és més significativa en els seus horitzons més superficials, s'han caracteritzat aquests horitzons en els perfils estudiats, des d'un punt de vista fisicoquímic, granulomètric i bioquímic i s'ha determinat l'activitat respiratòria amb l'objectiu de determinar si presenten diferències significatives entre ells i el seu efecte en el segrest del carboni.

Podem observar que les característiques fisicoquímiques (Taula 6) dels horitzons superficials presenten diferències significatives entre ells pel que fa al pH i a la densitat aparent (BD). Tot i que es tracta de sòls no salins, també són diferents pel que fa a la conductivitat elèctrica (C.E.). En relació al percentatge de carbonats (CaCO_3) podem observar diferències significatives entre el perfil 2 i els altres.

Taula 6. Característiques fisicoquímiques als horitzons superficials (C.E., Conductivitat Elèctrica; BD, Densitat Aparent; CaCO_3 , Carbonats). Inclou valors de dispersió. Les lletres indiquen diferències significatives considerant un p-valor < 0,05.

Perfil	Prof (cm)	pH	C.E. (dS/m)	BD (g/cm ³)	CaCO ₃ (%)
1	0 - 10	7.085 ± 0.021 c	0.098 ± 0.011 b	1.015 b	No detectat
2	0 - 20	7.495 ± 0.247 d	0.162 ± 0.025 c	1.342 d	1.016 ± 0.020
3	0 - 20	5.267 ± 0.040 a	0.049 ± 0.004 a	0.945 a	No detectat
4	0 - 20	6.583 ± 0.020 b	0.065 ± 0.007 ab	1.314 c	No detectat

Pel que fa a les fraccions granulomètriques obtingudes en les parets dels quatre perfils estudiats (Taula 7), tots els horitzons superficials són diferents entre ells en presentar percentatges d'argila (C), lim (S) i sorres totals (TS) significativament diferents. En relació a la seva classe textural, però, els horitzons superficials dels perfils 1 i 2 presenten una textura lleugerament més fina que no els dels perfils 3 i 4.

Taula 7. Fraccions granulomètriques i Classe textural dels horitzons superficials (C, Argiles; S, Llims; TS, Sorres Totals). Les lletres indiquen diferències significatives considerant un p-valor < 0,05.

Perfil	Prof (cm)	C (%)	S (%)	TS (%)	Classe textural
1	0 - 10	25,995 c	13,631 a	60,375 b	francoargil·loarenosa
2	0 - 20	34,202 d	14,323 b	51,475 a	francoargil·loarenosa
3	0 - 20	9,800 b	20,200 d	70,000 c	francoarenosa
4	0 - 20	7,350 a	20,150 c	72,500 d	francoarenosa

Considerant els horitzons superficials dels perfils 1, 2, 3 i 4, es pot veure (Taula 8) que pel que fa al Carboni oxidable Cox (Figura 10.A), tots els perfils es consideren significativament diferents. Pel que fa a la respiració potencial RP (Figura 10.B) els perfils 1 i 3 (Typic Haploxerept) presenta un comportament similar, de la mateixa manera, els perfils 2 (Typic Calcixerept) i 4 (Inceptic Haploxeralf) també presenten un comportament similar. Pel que fa a l'activitat respiratòria diària AR (Figura 10.C), cap perfil presenta diferències significatives, comportant-se de la mateixa manera. Respecte a la glomalina total BRSP (Figura 11.A) són diferents entre ells, mentre que respecte a la glomalina fàcilment extraïble EE-BRSP (Figura 11.B) els perfils 1 i 4 presenten un contingut més elevat i del mateix ordre que els que presenten els perfils 2 i 3, els quals també presenten el mateix contingut.

I respecte al coeficient de mineralització Qmin (Figura 11.C), els perfils 2 i 4 no presenten diferències significatives entre ells, mentre que el perfil 1 estaria entre aquests últims i el perfil 3.

Per poder comparar la respiració potencial (RP), en mg CO₂/g*dia, i l'activitat respiratòria diària (AR), en g CO₂/m²*dia, s'ha expressat la RP a aquestes últimes unitats fent servir els valors de densitat aparent (BD) de cada horitzó, expressats en g/cm³ i considerant una profunditat d'actuació de 10 cm segons l'equació:

$$RP \left(g \frac{CO_2}{m^2 * dia} \right) = \frac{mg \ CO_2}{g \ sòl * dia} * \frac{g \ BD}{cm^3} * \frac{g}{1000 \ mg} * 0.1 \ (profunditat)$$

Taula 8. Característiques bioquímiques als horitzons superficials (Cox, Carboni Oxidable; RP, Respiració Potencial; AR, Activitat Respiratòria Diària; BRSP, Glomalina Total; EE-BRSP, Glomalina Fàcilment Extraïble; Qmin, Coeficient de Mineralització). Inclou valors de dispersió. Les lletres indiquen diferències significatives considerant un p-valor < 0,05.

Perfil	Prof (cm)	Cox (%)	RP (g CO ₂ /m ² *dia)	AR (g CO ₂ /m ² *dia)	BRSP (mg/g)	EE-BRSP (mg/g)	Qmin
1	0 - 10	0.684 ± 0.023 ab	25.202 ± 1.807 a	8.850 ± 3.168 a	0.614 ± 0.073 ab	0.413 ± 0.063 b	0.010 ± 0.001 ab
2	0 - 20	0.835 ± 0.080 b	37.917 ± 4.137 b	11.534 ± 3.725 a	1.073 ± 0.036 c	0.251 ± 0.080 a	0.009 ± 0.000 ab
3	0 - 20	0.546 ± 0.030 a	25.211 ± 6.250 a	7.319 ± 0.287 a	0.488 ± 0.052 a	0.236 ± 0.034 a	0.013 ± 0.003 b
4	0 - 20	1.356 ± 0.116 c	39.741 ± 0.407 b	9.393 ± 4.079 a	0.972 ± 0.300 bc	0.440 ± 0.040 b	0.006 ± 0.000 a

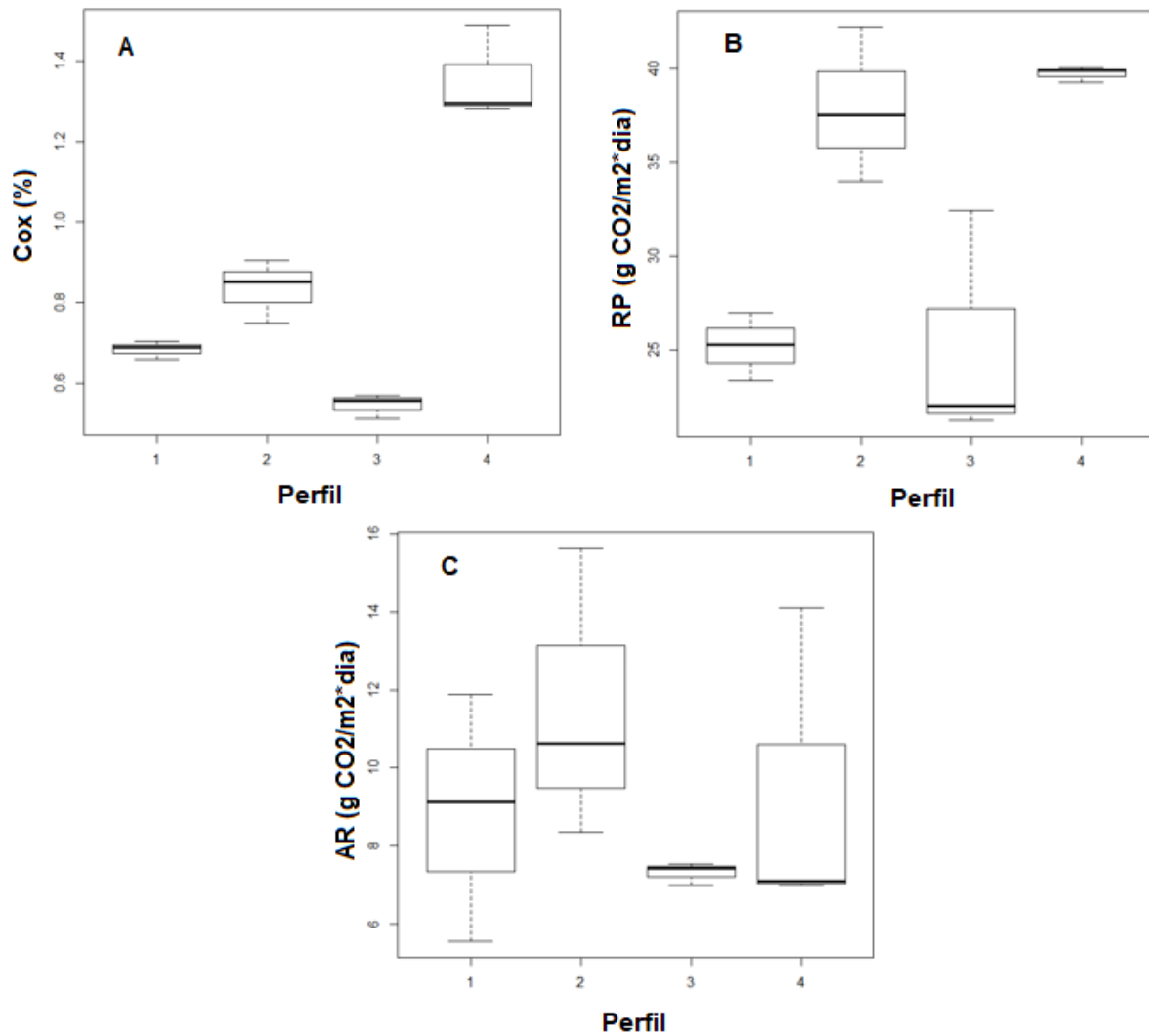


Figura 10. Caixes de dispersió A - Carboni Oxidable (Cox), B - Respiració Potencial (RP) i C- Activitat Respiratòria Diària (AR) en els horitzons superfcials.

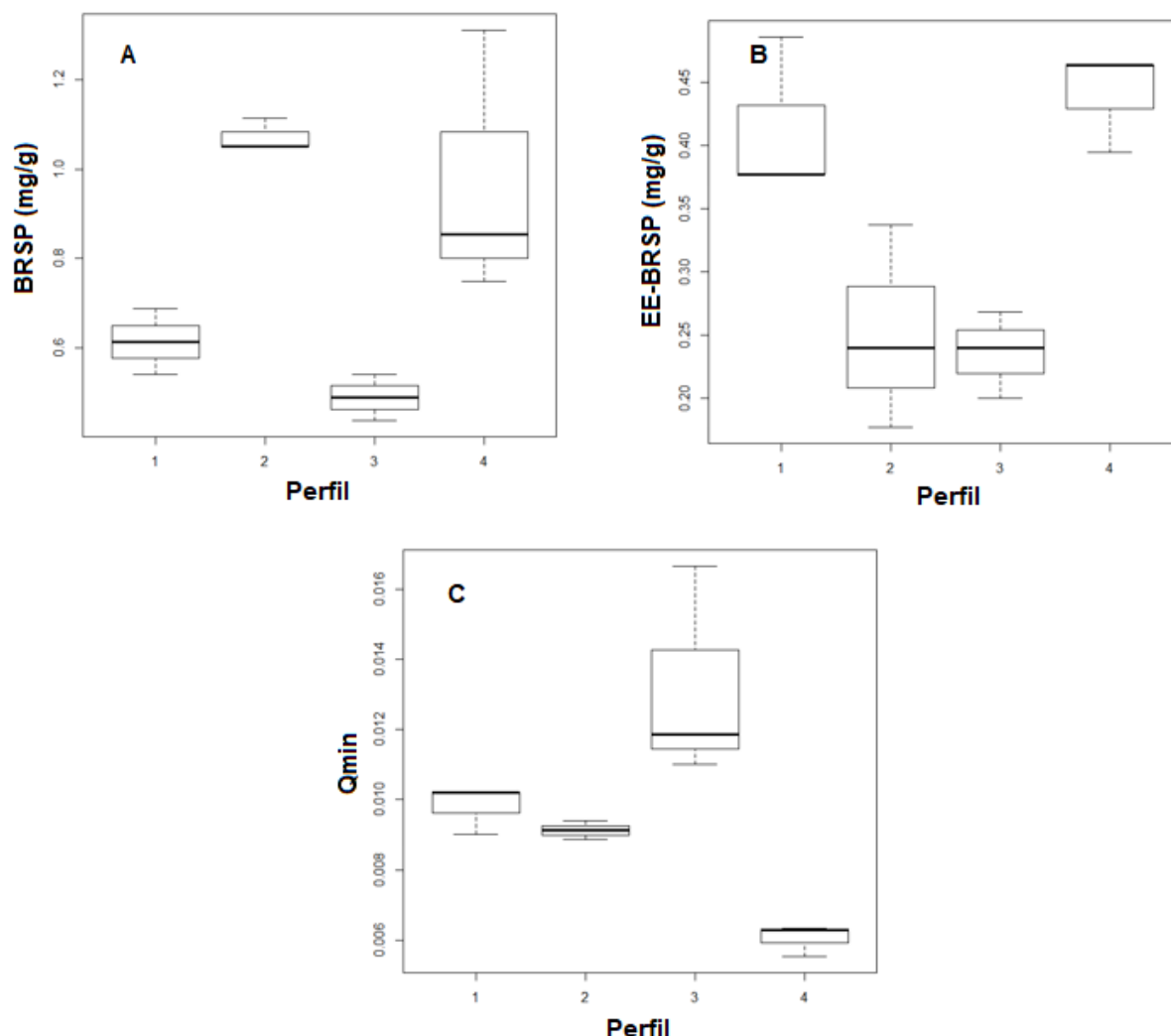


Figura 11. Caixes de dispersió de A - Glomalina Total (BRSP), B - Glomalina Fàcilment Extraïble (EE-BRSP) i C - Coeficient de Mineralització (Qmin) en els horitzons superficials.

Per determinar l'evolució de l'activitat respiratòria, s'ha mesurat l'emissió de CO_2 mitjançant "Cover Box" en un període de 37 dies. Cap perfil ha presentat un comportament significativament diferent pel que fa a l'activitat respiratòria diària (AR) durant aquest període, en el qual es poden observar tres màxims d'emissió ($\text{g CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$) en els dies 1, 19 i 29 d'Abril (Figura 12.A). Al llarg del període, la temperatura mitjana, la qual ha oscil·lat entre els 9 i 16 °C, ha estat per sobre dels valors de precipitació, sent escassos i presentant un valor màxim de 13 mm en el dia 2 d'Abril (Figura 12.B). En tots els casos, la temperatura ha resultat dues vegades superior als valors de precipitació ($P < 2T$), situació on hi predomina l'evaporació, motiu pel qual la precipitació ha sigut insuficient per humectar els sòls i la respiració no s'ha pogut relacionar amb aquest paràmetre.

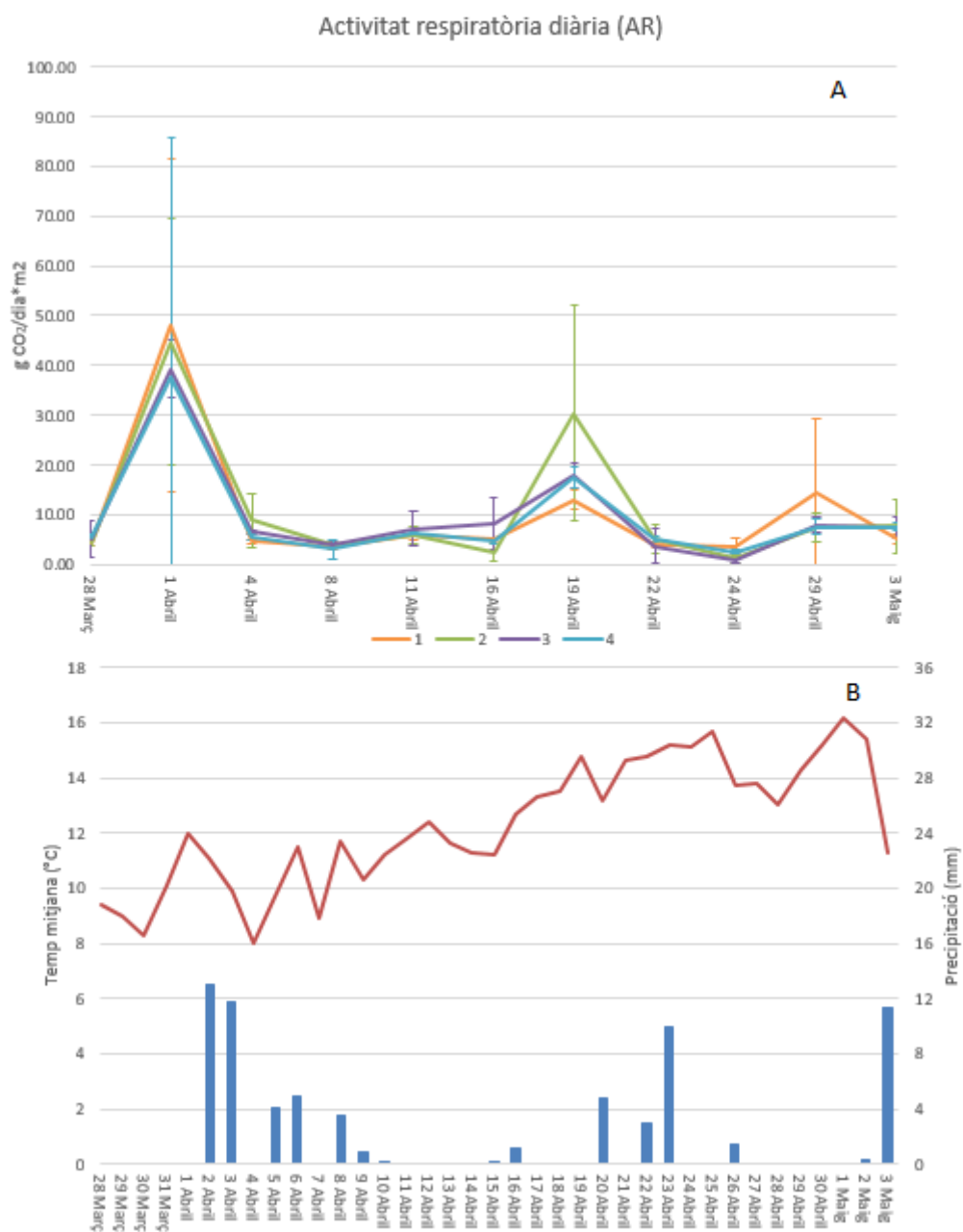


Figura 12. A - Evolució de l'Activitat Respiratòria Diària dels perfils 1, 2, 3 i 4 des del 28 de Març fins al 3 de Maig amb - B la precipitació diària i la Temperatura mitjana per al mateix període.

Amb les dades obtingudes dels paràmetres bioquímics dels horitzons superfiels dels quatre perfils, s'ha dut a terme una matriu de correlacions (Figura 13) on es pot apreciar que; El pH es correlaciona de forma positiva amb la conductivitat elèctrica (C.E.), la glomalina total (BRSP), els carbonats (CaCO_3) i les argiles (C), i de forma negativa amb la densitat aparent (BD). La conductivitat elèctrica (C.E.) es correlaciona de forma positiva amb els carbonats (CaCO_3) i les argiles (C). La densitat aparent (BD) es correlaciona de forma negativa amb la glomalina total (BRSP) i el carboni oxidable (Cox). La glomalina fàcilment extraïble (EE-BRSP) es correlaciona de forma negativa amb els carbonats (CaCO_3). Els carbonats (CaCO_3) es correlacionen de forma positiva amb les argiles (C).

No s'observen correlacions significatives entre els paràmetres fisicoquímics i els paràmetres bioquímics respiració potencial (RP) i activitat respiratòria diària (AR).

	pH	C.E.	BD	BRSP	EE-BRSP	RP	AR	Cox	CaCO_3
pH									
C.E.	0,7933*								
BD	-0,6834*	-0,5052							
BRSP	0,6485*	0,5396	-0,8574*						
EE-BRSP	0,3467	-0,0319	-0,3097	0,3028					
RP	0,1318	-0,0681	-0,4025	0,3297	0,1465				
AR	0,2883	0,1742	-0,4499	0,2357	0,1733	0,3434			
Cox	0,3609	-0,061	-0,7904*	0,6231	0,5857	0,4842	0,515		
CaCO_3	0,6004	0,8874*	-0,5344	0,5042	-0,3909*	0,0708	0,2429	-0,0664	
C	0,7410*	0,9117*	-0,2031	0,2627	-0,1577	-0,1563	0,0512	-0,03251	0,7805*

Figura 13. Matriu de correlacions dels principals paràmetres fisicoquímics i bioquímics dels horitzons dels perfils 1, 2, 3 i 4 (C.E., Conductivitat Elèctrica; BD, Densitat Aparent; BRSP, Glomalina Total; EE-BRSP, Glomalina fàcilment Extraïble; RP, Respiració Potencial; AR, Activitat Respiratòria Diària; Cox, Carboni oxidable; CaCO_3 , Carbonats; C, Argiles). Els asteriscs (*) indiquen correlacions significatives considerant un p-valor < 0,05.

Per establir el conjunt de paràmetres amb el pes de cada variable s'ha realitzat l'anàlisi de components principals (PCA). S'ha fet servir el criteri de Kaiser-Gutman per determinar el nombre òptim de components principals (Figura 14). Amb dues components escollides i amb tres rèpliques per cada horitzó superfiels s'explica un 73% de la variància total, un 46% s'explica pel component horitzontal PC1 i el 27% restant pel component vertical PC2.

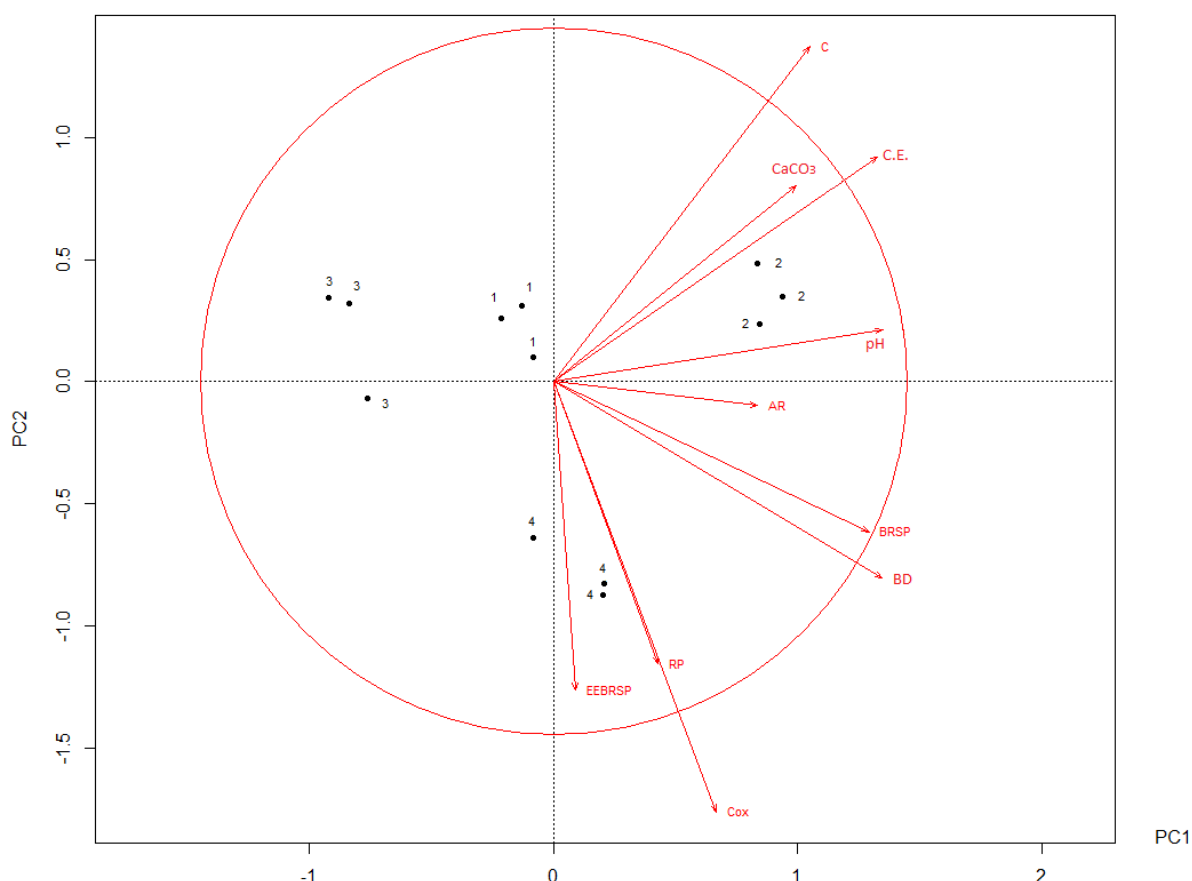


Figura 14. Anàlisi de components principals (PCA) amb el pes de (C.E., Conductivitat Elèctrica; BD, Densitat Aparent; BRSP, Glomalina Total; EE-BRSP, Glomalina fàcilment Extraïble; RP, Respiració Potencial; AR, Activitat Respiratòria Diària; Cox, Carboni oxidable; CaCO_3 , Carbonats; C, Argiles).

D'aquesta PCA, s'evidencia que paràmetres com pH, AR, BRSP i BD estarien relacionats amb la component PC1, la qual controla el 46% de la variància d'aquestes variables. La component PC2 mostra un 27% de la variància de variables com EE-BRSP, RP, Cox, C i CaCO_3 ,

Pel que fa a la relació entre sòls i variables, els sòls 1 i 3 mostren una semblança i els 2 i 4 queden més diferenciats de la resta.

6. Discussió

Dintre del bosc del campus, el perfil 1 ha estat classificat com a Typic Haploxerept i el material litològic coincideix amb el material parental (NPlac), mentre que el perfil 2 s'ha classificat com Typic Calcixerept i està format sobre una crosta calcària, fet que demostra que no sempre el material litològic coincideix amb el material originari del sòl (NPlac). En el bosc proper a la riera de la Font de l'Abella, el perfil 3, sobre NPlac, coincideix com a grup taxonòmic amb el perfil 1 mentre que el sòl de la riera, perfil 4, pertany a l'ordre dels Alfisòls i s'ha classificat com Inceptic Haploxeralf desenvolupat sobre el material Qac.

En la descripció macromorfològica dels perfils (Taules 1, 2, 3 i 4) s'han pogut apreciar diferències entre els horitzons pel que fa a la textura al tacte i al color, sent els perfils 3 i 4 clarament més arenosos i els perfils 1 i 2, situats dins el bosc del campus, més francoargilosos. L'horitzó superficial del perfil 4, a la riera, és el que presenta una coloració més fosca, fet que es relaciona amb més contingut de matèria orgànica.

Els resultats obtinguts en el laboratori han determinat diferències significatives entre els paràmetres estudiats i han corroborat les observacions realitzades al camp. En tots els perfils el pH és més baix en els horitzons superficials, tret que pot estar relacionat amb la concentració més gran de matèria orgànica i l'activitat biològica en aquests segons Brady i Weil (2008). Els perfils dels bosc del campus, 1 i 2, en presentar un $\text{pH} > 7$, tindrien un grau de saturació en bases (GSB) superior al 100% (Porta et al., 2009). Només el perfil 2, desenvolupat sobre la crosta calcària, presenta percentatges de carbonats (CaOC_3) destacables, els quals augmenten en apropar-se a la crosta, fet que corrobora l'origen d'aquest sòl. Respecte als elements grollers (EG), en tots els perfils disminueixen considerablement en fondària.

Pel que fa als horitzons superficials dels perfils, estudiats per determinar les possibles relacions entre els paràmetres fisicoquímics i l'habilitat a segrestar carboni, s'ha observat que en relació al pH, tots els horitzons presenten un pH significativament diferent i no presenta una relació significativa amb la capacitat de segrest de carboni.

Considerant el percentatge de carboni oxidable (Cox) als horitzons superficials, destaca el del perfil 4, presentant el percentatge més alt de tots. En situar-se sobre la llera d'una riera i presentar una cobertura herbàcia, les seves aportacions orgàniques són majors, fet que també explica per què presenta un percentatge de nitrogen total (TN) més alt que la resta i que components relacionades amb aquest paràmetre com RP i EE-BRSP estiguin més relacionades (PC1) com s'aprecia a la Figura 14. Si es compara el carboni oxidable (Cox) amb el contingut en carboni orgànic total (TOC), aquest últim és més elevat en tots els casos, tal com era d'esperar, ja que, determina tots els compostos lligats al carboni, indicant substàncies complexes com àcids húmics i altres no fàcilment extraïbles, mentre que al carboni oxidable (Cox) és la fracció més disponible per a ser mineralitzada.

Pel que fa a la glomalina, tant la total (BRSP) com la fàcilment extraïble (EE-BRSP) presenten valors de l'ordre dels obtinguts en sòls de vinya en la regió mediterrània (Gispert et al., 2018). Com es pot observar en la Figura 13, la glomalina total (BRSP) està correlacionada de forma negativa amb la densitat aparent (BD), fet que pot ser explicat per l'efecte que té la glomalina sobre l'estructura del sòl i que fa que la densitat aparent disminueixi. Tanmateix, també presenta una relació negativa amb el pH, tret que pot estar relacionat amb què, en sòls de caràcter lleugerament bàsics, l'activitat biològica pot ressentir-se (Porta et al., 2009).

En relació a l'activitat respiratòria, l'emissió mitjana de CO₂ en condicions naturals del període estudiat està en rang dels observats en sòls de vinya i olivera de la zona de l'Empordà (Emran et al., 2012), el que determina que, durant l'estudi, l'activitat respiratòria diària (AR) ha sigut baixa com a conseqüència d'un episodi amb poca pluviometria i temperatures diürnes elevades, afavorint l'evapotranspiració i l'assecamament dels sòls. Possiblement aquest pot ser un motiu pel qual l'evolució de l'activitat respiratòria diària (AR) no s'ha ajustat de forma esperada als episodis de pluja i temperatura (Figura 12). Els valors obtinguts pel que fa a l'activitat respiratòria potencial (RP) també són de l'ordre citat per Emran et al. (2012) en sòls de vinya de l'Empordà.

Si considerem els valors de l'activitat respiratòria diària (AR) i respiració potencial (RP) i que la zona d'estudi representa unes 10 ha, podem evidenciar que la zona d'estudi emetria aproximadament en un any unes 328 Tones de CO₂ pel que fa a l'activitat respiratòria diària (AR) i unes 1160 Tones de CO₂ pel que fa a la respiració potencial (RP). Com és d'esperar, l'activitat respiratòria diària (AR) és d'un orde més baix que no la respiració potencial (RP), la qual s'entén com la màxima respiració que es podria donar si totes les condicions fossin ideals i constants per aquesta.

Respecte a la capacitat de segrest de carboni, entès com a coeficient de mineralització (Q_{min}), els perfils 1 i 2, del bosc del campus, no presenten diferències significatives, mentre que el perfil 3, situat al bosc a prop de la riera de la Font de l'Abella, i el perfil 4, situat a la riera, si presenten diferències significatives amb la resta. Els coeficients són molt baixos en tots els casos, essent el perfil 4 el que presenta una capacitat de segrest de carboni més gran a la resta. Tot i que presenta el valor de respiració potencial (RP) més gran, és el que presenta més percentatge de carboni oxidable (C_{ox}), menys carboni es mineralitza i més emmagatzema.

7. Ètica i sostenibilitat

No s'ha dut a terme cap actuació que tingués un impacte significatiu sobre el medi, ja que, s'han fet servir dos escandalls de sòl ja existent i els dos restant s'han obert en zones prou exposades en les quals la retirada de vegetació ha sigut mínima. Per calcular la densitat aparent (BD) s'ha realitzat una intervenció directa sobre el sòl, clavant un cilindre en mig de cada horitzó el qual ha deixat un petit forat que després s'ha tapat sense malmetre l'estructura del sòl. Per altra banda, la caracterització dels perfils s'ha realitzat al laboratori, motiu pel qual no s'ha abocat cap reactiu a camp.

8. Conclusions

- On Campus Montilivi - UdG there are different soil typologies with different physicochemical and biochemical characteristics.
- Soils have a similar response to respiratory activity. Have significant differences have been observed in their carbon sequestration capacity.

9. Bibliografia

Alef, K., Nannipieri, P. (1998). *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. (2a ed.). San Diego: Academic Press.

Anderson, J.P.E. (1982). *Soil respiration*. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, (2a Ed). American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 831-871.

Angst, S., et al. (2017). *Stabilization of soil organic matter by earthworms is connected with physical protection rather than with chemical changes of organic matter*. *Geoderma* 289, 29-35.

Badia, D., Ibarra, P., Marti, C., Longares, L., Belmonte, A. (2008). *El aiguabarreig: Suelos y paisajes*. Zaragoza: Serie investigación.

Baldock, J.A., Skjemstad, J.O. (2000). *Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack*. *Org. Geochem.* 31 (7-8), 697-710.

Baritz, R., Seufert, G., Montanarella, L., Van Ranst, E. (2010), *Carbon concentrations and stocks in forest soils of Europe*. *For. Ecol. Manag.* 260 (3), 262-277.

Barre, P., et al. (2017). *Geological control of soil organic carbon and nitrogen stocks at the landscape scale*. *Geoderma*, 285 (2017), pp. 50-56.

Batjes N.H. (1996). *Total carbon and nitrogen in the soils of the world*. *European Journal of Soil Science*. 47, 151-163.

Bossuyt, H., Six, J., Hendrix, P.F. (2006). *Interactive effects of functionally different earthworm species on aggregation and incorporation and decomposition of newly added residue carbon*. *Geoderma* 130 (1-2), 14-25.

Brady, N., Weil, R. (2008). *The Nature and Properties of Soils*. (14a ed.). Kendallville: Pearson International Edition.

Edwards, N.T. (1982). *The use of soda-lime for measuring respiration rates in terrestrial systems*. *Pedobiologia* 28, 321-330.

Emran, M., et al. (2012). *Comparing measurements methods of carbon dioxide fluxes in a soil sequence under land use and cover change in North Easter Spain*. *Geoderma* 170, 176-185.

FAO (2009). Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Guía para la descripción de suelos.

Forana, D.A., et al. (2011). *Increases in soil organic carbon sequestration can reduce the global warming potential of long-term liming to permanent grassland*. *Glob. Chang. Biol.* 17 (5), 1925-1934.

Funes, I., et al. (2019). *Agricultural soil organic carbon stocks in the north-eastern Iberian Peninsula: Drivers and spatial variability*. Science of the Total Environment 668, 283-294.

Gispert, M., et al. (2017). *Water erosion and soil properties patterns along selected rainfall events in cultivated and abandoned terraced fields under renaturalisation*. Catena 155, 114-126.

Gispert, M., et al. (2018). *Seasonal evolution of soil organic matter, glomalin and enzymes and potential for C storage after land abandonment and renaturalization processes in soils of NE Spain*. Catena 162, 402-423.

Guo L, Gifford R. (2002). *Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis*. Global Change Biology. 8, 345-360.

Guo, J., et al. (2018). *Vertical and seasonal variations of soil carbon pools in ginkgo agroforestry Systems in eastern China*. Catena 171, 450-459.

Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (2015). Recuperat de www.icg.cat

IPCC_Intergovernmental Panel on Climate Change. (2001). *Climate Change: The Scientific Basis*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.

ISRIC (2002). International Soil Reference and Information Centre. Procedures for soil analysis (6a ed.)

Janzen HH. (2004). *Carbon cycling in earth systems soil science perspective*. Agriculture, Ecosystems and Environment 104(3), 399-417.

Kavehei, E., et al. (2018). *Carbon sequestration potential for mitigating the carbon footprint of green stormwater infrastructure*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 94, 1179-1191.

Keith H, Wong S.C. (2006). *Measurement of soil CO₂ efflux using soda lime absorption: both quantitative and reliable*. Soil Biology and Biochemistry 38(5), 1121-1131.

Lal R. (2005). *Forest soils and carbon sequestration*. For. Ecol. Manage. 220, 242-258.

Lal R. (2006). *Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands*. Land Degradation and Development 17, 197-209.

Liu, S.L., et al. (2016). *Distribution of soil carbon in different grassland types of the Qinghai-Tibetan Plateau*. Journal of Mountain Science 13(10),1806-1817.

Lopes, P., et al. (2016). *Enrichment of arbuscular mycorrhizal fungi in a contaminated soil after rehabilitation*. Brazilian Journal of Microbiology 47, 583-862.

Mayes, M., et al. (2014). *Soil type mediates effects of land use on soil carbon and nitrogen in the Konya Basin, Turkey*. *Geoderma* 232, 517–527

Porta, J., López-Acevo, M., Roquero, C. (1999). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente* (2a ed.). Madrid: Ediciones mundi-prensa.

Porta, J., López-Acevo, M., Roquero, C., Poch, R. (2009). *INTRODUCCIÓ A L'EDAFOLOGIA: Ús i protecció de sòls*. Madrid: Ediciones mundi-prensa.

Seibert, J., Stendahl, J., Sorensen, R. (2007). *Topographical influences on soil properties in boreal forests*. *Geoderma* 141 (1-2), 139-148.

SSS_Soil Survey Staff (1999). *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys* (2a ed.). Washington: United States Department of Agriculture.

Vitharana, U.W.A., et al. (2019). *National soil orgànic carbon estimates can improve global estimates*. *Geoderma* 337, 55-64.

Wiesmeier, M., et al. (2019). *Soil organic carbon storage as a key function of soils – A review of divers and indicators at various scales*. *Geoderma* 333, 149-162.

Wright, S.F. i Upadhyaya, A. (1996). *Extraction of an Abundant and Unusual Protein from Soil and Comparison with Hyphal Protein of Arbuscular Mycorrhizal Fungi*. *Soil Science*, 161, 575-586.