

RESPOSTA DEL SÒL DESPRÉS D'UNA CREMA PRESCRITA PRIMERENCA (PRIMAVERA) EN EL SE DE LA PENÍNSULA IBÈRICA



ALUMNA: ANA ISABEL SANCHIS AYELO

TUTOR: JORGE MATAIX SOLERA

COTUTORES: VICTORIA ARCENEGUI BALDO

FUENSANTA GARCIA ORENES

COTUTOR EXTERN: ÁLVARO FAJARDO CANTOS

CÒDIG COIR: 220527101918

DEPT: AGROQUÍMICA Y MEDIO AMBIENTE

GRAU CIÈNCIES AMBIENTALS 2021/2022





RESUMEN

A conseqüència de l'activitat antròpica, en la majoria dels països de la conca Mediterrània el mitjà forestal ha patit molts canvis en les últimes dècades, regit principalment per l'abandonament del medi rural i el seu aprofitament i això ha conduït a distorsionar el règim natural d'incendis. És per això que ha de ser gestionat mitjançant eines que intenten corregir el seu règim natural sense perjudicar-lo. L'objectiu d'aquest estudi és avaluar els efectes en el sòl tant químics, físics com a biològics de l'aplicació d'una crema prescrita realitzada amb la finalitat de disminuir el contingut en combustible, per a així intentar reduir la probabilitat d'incendis, la intensitat i severitat dels mateixos en cas que ocorreguen. Els resultats han mostrat que en general no hi ha hagut canvis significatius en els paràmetres estudiats, i per tant considerem que la crema prescrita realitzada en aquesta zona i sota aquestes condicions, és una opció de gestió de combustible favorable que no altera significativament el sòl.

Paraules clau: *régimen natural, quema prescrita, combustible, intensidad y severidad y herramienta de gestión.*

ABSTRACT

As a consequence of anthropic activity, in most countries of the Mediterranean basin, the forest environment has undergone many changes in recent decades, mainly due to the abandonment of the rural environment and its exploitation, which has led to the distortion of the natural fire regime. This is the reason why it must be managed by means of tools that try to correct its natural regime without damaging it. The objective of this study is to evaluate the chemical, physical and biological effects on the soil of the application of a prescribed burn to reduce the fuel content, in order to try to reduce the probability of fires and their intensity and severity in case they occur. The results have shown that in general there have been no significant changes in the parameters studied, and therefore we consider that prescribed burning carried out in this area and under these conditions is a favorable fuel management option that does not significantly alter the soil.

Key words: *natural regime, prescribed burning, fuel, intensity and severity and management tool.*

AGRAÏMENTS

Moltes gràcies al departament d'Agroquímica i Medi ambient per proporcionar-me tots els mitjans necessaris per a la realització d'aquest treball de recerca. I sobretot als meus tutors, Vicky i Jorge, per l'ajuda, dedicació i paciència que han tingut amb mi durant tot aquest temps per a tirar avant aquest Treball de Fi de Grau de la millor forma.



ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ	6
2. OBJECTIU	8
3. MATERIALS Y MÈTODES	8
3.1. DESCRIPCIÓ ZONA D'ESTUDI	8
3.2 DISENY EXPERIMENTAL	9
3.2.1 PRESA DE MOSTRES	11
3.2.2 ANÀLISIS EN EL LABORATORI	12
3.3 ANÀLISI ESTADÍSTIC	13
4. RESULTATS	14
4.1 PARÀMETRES QUÍMICS	14
4.1.1 MATÈRIA ORGÀNICA	14
4.1.2 FÒSFOR ASSIMILABLE	15
4.1.3 NITROGEN KJELDHAL	16
4.2 PARÀMETRES FÍSICS	17
4.2.1. CONTINGUT TOTAL D'AGREGATS	17
4.2.2. ESTABILITAT D'AGREGATS	18
4.2.3. REPEL·LÈNCIA AL L'AGUA	19
4.3. PROPIETATS MICROBIOLÒGIQUES	21
4.3.1. CARBONI DE LA BIOMASSA MICROBIÀ	21
4.3.2. RESPIRACIÓ EDÀFICA BASAL	22
4.3.3. QUOCIENT METABÒLIC	23
4.3.4. ACTIVITAT β -GLUCOSIDASA	24
4.3.5. ACTIVITAT UREASA	25
4.3.6. ACTIVITAT FOSFATASA	26
4.3.7. ACTIVITAT DESHIDROGENASA	27
5. DISCUSSIÓ	28
6. CONCLUSIONS	32
7. PROJECCIÓ FUTURA	32
8. BIBLIOGRAFIA	33

RESPOSTA DEL SÒL DESPRÉS D'UNA CREMA PRESCRITA PRIMERENCA (PRIMAVERA) EN EL SE DE LA
PENÍNSULA IBÈRICA

1. INTRODUCCIÓ

Els incendis forestals són una part integral i important a nivell mundial de molts ecosistemes, exercint un paper clau en la seua dinàmica i l'adaptació d'algunes espècies en resposta al foc (Pauses i Keeley, 2009). Són una de les principals perturbacions en ecosistemes forestals, els quals han patit una greu antropització, derivada en canvis en el règim tradicional, fent-los més freqüents i intensos que, a llarg termini, poden arribar a causar greus repercussions tant econòmiques, socials i ecològiques per a les zones afectades.

Molts ecosistemes són resilents enfront d'aquesta mena de perturbacions, de resistir a aquestes, adaptant-se. Això no indica que puguen suportar una alta recurrència d'incendis i intensitats excessives, en aquest cas, aquestes condicions podrien portar-los a patir uns efectes irreversibles dels quals no podrien recuperar-se.

En el cas del territori mediterrani, els focs han format part de la seua història i són responsables en gran manera del paisatge tant natural com cultural des de fa molt temps. També la desertització i desertificació són un binomi que han determinat l'estat actual dels paisatges (Bermúdez, 2001). Malgrat això, el problema resideix en el risc de patir incendis forestals de gran magnitud, a causa de l'abandonament d'usos tradicionals com el cultiu, la falta de gestió forestal eficient, o l'augment de la interfície urbà-forestal, que situa residències endinsades en zones boscoses amb el consegüent risc d'incendis accidentals. A més, el canvi climàtic està afavorint unes condicions per a tindre un major nombre d'incendis i de major magnitud (Cerdà i Mataix-Solera, 2009), ja que porta associat a un augment de temperatures en un període estival sec (disminuint així la humitat dels nostres ecosistemes) i una major freqüència d'episodis de pluges torrencials que, en el seu conjunt es veuen associats a unes conseqüències plasmades en canvis en la vegetació, augment en el nombre d'incendis, en la intensitat d'aquests, l'ocurrència d'incendis en llocs on abans no eren freqüents, i un augment de processos erosius, entre altres.

Tots aquests factors afavoreixen que, en la conca mediterrània, el nombre d'incendis no estiga correlacionat amb les hectàrees cremades (Figura 1). Pel que en les últimes dècades hem vist una disminució en el nombre d'incendis, degut en part a les millores destinades en la prevenció que, al seu torn, fan que els possibles nous sinistres que puguen ocórrer ho facen de manera més intensa, amb més probabilitat que ocórrega un Gran Incendi Forestal (GIF >500 hectàrees cremades), per

l'acumulació de combustible. I és d'aquesta manera, per l'aparició d'aquests GIFs impossibles de controlar, denominats incendis de 6é generació, la raó per la qual es trenquen totes les tendències estadístiques que serien esperables pel comportament tradicional.

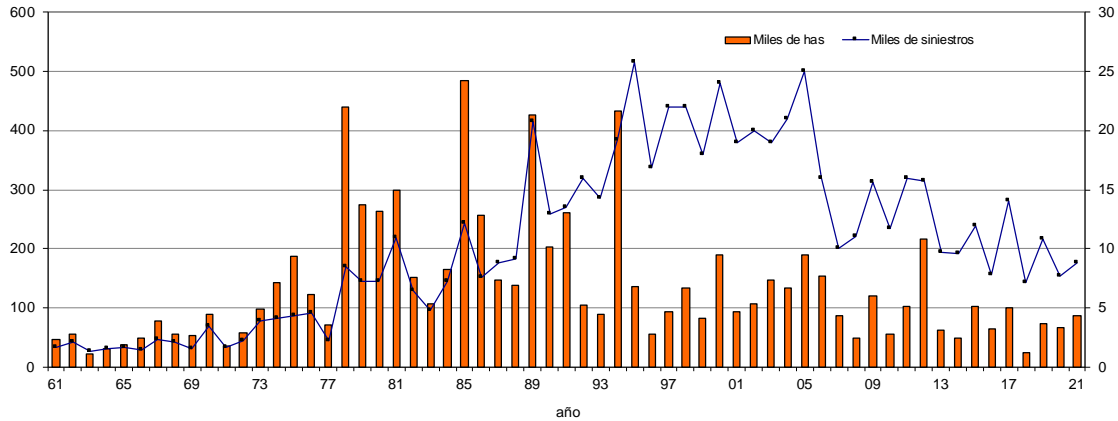


Figura 1. Nombre d'incendis i superfície cremada entre 1961 i 2021 a Espanya (Font: elaboració pròpia a partir de dades del Ministeri per a la Transició Ecològica i Repte Demogràfic).

Entre les eines de gestió d'incendis forestals existents, tant per a gestionar el combustible acumulat en les nostres muntanyes per l'abandó, com per a evitar o, reduir la probabilitat d'incendis de grans dimensions (Lloret, 2003), que puguen suposar un perill potencial tant econòmic, social com a ecosistèmic, estan les cremes prescrites.

La crema prescrita és una eina d'utilitat en el control de la bio- i necromassa vegetal que constitueix el combustible dels incendis forestals d'estiu (Vega et al., 2000). Amb elles es busca una fi concreta sota una predicció del comportament del foc (Semarnat, 2009; Rodríguez-Trejo, 2015). En general, una crema d'aquest tipus, a més de desenvolupar-se sota condicions controlades, requereix d'una pre-caracterització de l'àrea a cremar, del mètode i la tècnica de crema que s'utilitzarà, dels factors climàtics, i meteorològics en el moment d'aplicar la crema denominat "finestra", de la topografia i dels combustibles en el lloc perquè amb la crema s'aconseguiquen els objectius plantejats en el pla de cremes (Ramos, 2010). Amb això s'aconsegueix directament una reducció del combustible disponible que al seu torn interromp la continuïtat i homogeneïtat del paisatge, molt favorable per als incendis intensos, aconseguint crear un mosaic de diversitat dins de zones molt homogènies, monòtones, coetànies i poc acollidores com a aliment i hàbitat animal (Vega et al., 2000).

Malgrat ser una eina de gestió forestal que cada any es va estenent el seu ús, ni tant a nivell europeu com nacional existeixen molts estudis sobre l'impacte d'aquestes cremes prescrites, i la seua recurrència, en les propietats dels sòls. Tenint en compte que els sòls són de naturalesa diversa i

responen d'una manera diferent a l'impacte del foc (Mataix-Solera et al., 2008), són necessaris més estudis d'aquest tipus per a comprovar els seus efectes, i d'aquesta manera poder coordinar i assessorar en la gestió forestal.

2. OBJECTIU

L'objectiu d'aquest estudi és avaluar la resposta del sòl després d'una crema prescrita en el SE de la Península Ibèrica mediada per l'anàlisi de les propietats físic-químiques i biològiques.

3. MATERIALS Y MÈTODES

3.1. DESCRIPCIÓ ZONA D'ESTUDI

La zona a estudi es troba en una àrea pertanyent als municipis de Ayna i Molinicos, província d'Albacete, Espanya i les coordenades UTM de la qual són (38° 53' 79,85 N); (2° 10' 47,73 W).

Aquesta àrea es troba a una altitud de 781 metres sobre el nivell de la mar i compta amb una extensió de 5,4 ha.

El clima característic és conegut com el Csa, mediterrani típic segons (Köppen-Geifer, 1936). Aquesta localitat presenta una temperatura mitjana anual de 14,1 °C i una precipitació aproximada de 406 mm anuals (AEMET, 2022) dades recopilades del període 2001-2021, la major precipitació del qual es concentra el mes d'abril (54 mm), i el mes més sec és agost (9 mm).

L'àrea està situada en el ramal Beti-Ibèric de l'arc estructural Cazorla Alcaraz-Hellín i es caracteritza pel predomini de plecs bolcats de formacions calcàries. A l'entorn de les localitats de Ayna i Molinicos se situen diversos elements d'interès geològic i geomorfològic.

Els sòls de la zona d'estudi estan classificats com Cambisols (IUSS Working Group, 2015) segons l'estudi d'Ortiz-Olorio (2014). El sòl es caracteritza per tindre una textura francoargilosa amb unes dades d'un 35, 38 i 27% d'arena, llim i argila respectivament, compta amb un alt contingut en matèria orgànica $9,2 \pm 1,9\%$, un pH bàsic $8,1 \pm 0,1$ i una conductivitat elèctrica de $370 \pm 4 \mu\text{S/cm}$, valors típics de sòls forestals mediterranis.

A nivell biogeogràfic, ho conforma la zona Jumillano-Socovense. La vegetació de la zona és essencialment mesomediterrànea amb predomini d'una vegetació rèptil, matolls, on es pot observar, ja siga com a vegetació principal o secundària el *Pinus halepensis*. Algunes de les espècies claus són *Macrochloa tenacissima* juntament amb *Sàlvia rosmarinus*, *Cistus clusii*, i *Anthyllis onobrychioides* - *Thymetum funkii* (Valdés i Herranz, 1989).

3.2 DISENY EXPERIMENTAL

Per a dur a terme aquest estudi es va realitzar una crema prescrita, en l'àrea determinada d'una extensió aproximada de 5,4 ha, sent un punt estratègic de prevenció d'incendis realitzant una discontinuïtat en el paisatge i vegetació per a reduir l'extensió i propagació davant un incendi, composta per un model de combustible 5 d'acord amb els models de Rothermel (1972) i Albiní (1976), (Figura 1).



Figura 2. Aspecte del paisatge de la zona d'estudi abans de realitzar la crema indicant la seua orientació, Ayna (Albacete).

En l'àrea d'estudi es van distribuir sis parcel·les quadrades de 30x30m, en les quals, tres d'elles es van realitzar cremes prescrites (Cremades), i altres tres no cremades que van ser preses com a referència sense tractament (Control). La crema prescrita es va iniciar en la zona d'estudi a les 13.30 hores el 5 de maig de 2021 (Figura 3), amb les següents condicions meteorològiques:

-Temperatura (T^º): 24°C. – Humitat relativa (HR): 37%. - Vent (V): 3 km/h SE.



Figura 3. Àrea a estudi sotmesa a la crema al seu inici.

En la realització de la crema prescrita es van monitorar les temperatures distribuint 18 termoparells, 6 per parcel·la tractada, a diferents altures: -2 cm, a 0 cm de sòl mineral, sobre la superfície de la fullaraca i a 30 cm sobre la superfície del sòl amb la finalitat de caracteritzar la intensitat de la crema. Les temperatures mitjanes i màximes registrades a -2 cm de profunditat van ser de $8,8 \pm 0,3$ °C i $20,2 \pm 3,3$ °C respectivament. Sobre la superfície de sòl mineral (0 cm de profunditat) les T^a mitjanes corresponents van ser de $15,2 \pm 0,7$ °C i les màximes de $26,5 \pm 2,1$ °C. En els registres presos sobre la superfície de la fullaraca, les T^a mitjanes van ser de $39 \pm 1,2$ °C i les màximes registrades van ser de $598,1 \pm 48,4$ °C. Ja finalment es van registrar les temperatures mitjanes i màximes a 30 cm sobre la superfície del sòl sent $28,6 \pm 0,9$ °C T^a mitjana i $149 \pm 27,5$ °C, respectivament. Quant als temps de residència no van superar els 30 minuts en general, més concretament a -2 cm i a 0 cm no van arribar a segons i a 30 cm sobre el sòl també, on més temps de residència es va trobar va ser deguda a la combustió de la fullaraca. Pels registres presos podem concloure que amb aquestes temperatures i els baixos temps de residència d'aquestes en el sòl, es va aconseguir realitzar una crema de baixa intensitat, on la calor a penes es va transmetre en els primers centímetres de sòl mineral. El paisatge resultant s'observa en la figura 4.



Figura 4. Aspecte de la zona d'estudi després de realitzar la crema prescrita.

3.2.1 PRESA DE MOSTRES

La presa de mostres es va realitzar el 29 d'abril del 2021, una setmana prèvia a la crema, i el 12 de maig del 2021, una setmana després de la crema. Dins de cada parcel·la de 30x30m es van recollir mostres als punts de mostreig de les quals van ser a l'atzar per a l'anàlisi de les diferents propietats físiques, químiques i biològiques del sòl. Les mostres es van recollir en una àrea delimitada de 2x2 m, i situades a una distància mínima de 10 m per a evitar la pseudoreplicació. Cada mostra es va recollir d'una àrea de 15x15cm i a 3 cm de profunditat, eliminant fullaraca, pedres o qualsevol element de la superfície edàfica, amb una quantitat superior a 450g de sòl per mostra. També s'ha de destacar que cada mostra va estar composta per 6 submuestras per a tindre una mostra representativa i homogènia. En total per a l'anàlisi de laboratori comptem amb 9 mostres compostes cremades i 26 no cremades (controls), les 18 d'abans de la crema més les 9 de les parcel·les preses la setmana després.

3.2.2 ANÀLISIS EN EL LABORATORI

Per a l'estudi dels efectes de la crema prescrita en el sòl es van estudiar els següents paràmetres químics: el contingut de matèria orgànica (MO) que va ser determinat mitjançant l'oxidació amb dicromat potàssic i posterior valorització amb sulfat ferrós amònic (Walkley i Black, 1934); la quantitat de fòsfor assimilable (P), és a dir el fòsfor inorgànic present en les mostres va ser determinat mitjançant el mètode de dissolució extractora de Burriel-Hernando (Díez, 1982) i a continuació es prenen les mesures amb l'espectrofotòmetre UV; per a la determinació del nitrogen (tant orgànic com amoniacal) es va utilitzar el mètode Kjeldahl (Bremner i Mulvaney, 1982), basat en una digestió, destil·lació i posterior valoració àcid-base. També es van estudiar diversos paràmetres físics: l'agregació, amb dues dades, el contingut total d'agregats (% de mostra que està formant agregats) i l'estabilitat dels agregats a la ruptura (EA), tots dos determinats utilitzant el mètode del simulador de pluja de Roldán et al. (1994) basat en Benito et al. (1986), on es valora l'efecte de l'energia destructiva de l'aigua en forma de pluja (García-Orenes, 1992), per la qual cosa aquest mètode analitza la proporció d'agregats que romanen estables després de sotmetre la mostra de sòl (tamisada entre 4-0,25 mm) a una pluja artificial d'energia coneguda (270 J m⁻²). D'altra banda, també es va mesurar la hidrofobicitat o repel·lència a l'aigua (WR; de l'anglès Water Repellency); aquesta va ser determinada mesurant el temps de penetració de la gota d'aigua en el sòl (WDPT) (Wessel et al., 1988). Es van utilitzar aproximadament 10 g de sòl tamisats a (<2 mm) en un disc de plàstic el diàmetre del qual és 50 mm, i es deixa durant 24 hores en el laboratori amb una atmosfera controlada (20 °C i 50% d'humitat relativa) per a establir les mateixes condicions en totes les mostres (Doerr et al., 2002). Per a cada mostra es va realitzar una mitjana d'entre quatre gotes i el valor resultant és el WDPT de la mostra, que es va classificar d'acord amb Bisdorf et al. (1993): Sense repel·lència o hidrofílic (WDPT < 5 segons), lleugerament repel·lent a l'aigua (WDPT: 6 – 60 segons), fortament repel·lent a l'aigua (*WDPT: 60 – 600 segons), severament repel·lent a l'aigua (WDPT: 600 – 3600 segons) i extremadament repel·lent a l'aigua (WDPT > 3600 segons).

A més, estudiem els següents paràmetres microbiològics: el carboni de la biomassa microbiana (CBM) que es va determinar amb el mètode de fumigació-extracció amb cloroform de Jenkinson i Powlson (1976) adaptat de Vance et al. (1987) on es realitza una extracció amb sulfat potàssic per a poder procedir amb l'oxidació del carboni soluble amb dicromat potàssic al mig àcid que, en últim lloc es mesura amb ajuda de l'espectrofotòmetre d'UV; també la respiració edàfica basal (REB) que va ser mesurada amb paranys de dessaborida segons el mètode especificat per Stotzky (1965), i les següents activitats enzimàtiques: β -glucosidasa (β -Glu) amb el mètode de Tabatabai (1982) que basa en la determinació colorimètrica del p-nitrofenol obtingut per l'acció de la β -glucosidasa després d'incubar

el sòl amb el substrat β -D-glucopiranosido al mig tamponado a pH 6,5, aquesta incubació es duu a terme a 37 °C durant 1 hora, i finalment, el p-nitrofenol alliberat es determina després de l'addició de clorur de calci i tampó THAM pH 12; la ureasa es va determinar pel mètode de Nannipieri (1980) que es basa en la determinació de l'amoni alliberat després de la incubació del sòl amb una dissolució d'urea a 37 °C durant 120 minuts; la fosfatasa (PHP) va ser estudiada pel mètode de Tabatabai i Bremer (1963) on es mesura mitjançant l'addició a la mostra d'un substrat artificial (p-nitrofenil-fosfat) i posterior avaluació colorimètrica del p-nitrofenol alliberat que, al mig bàsic, desenvolupa un color groc i finalment; l'enzim deshidrogenasa va ser quantificada pel mètode descrit per Casida et al. (1964) que es basa en l'ús de sals solubles de tetrazolio com a acceptors artificials d'electrons, aquest receptor final d'electrons es redueix per l'acció dels enzims deshidrogenases formant un precipitat insoluble en aigua, roig i soluble en solvents orgànics que es mesura colorimètricament.

3.3 ANÀLISI ESTADÍSTIC

Per a comparar l'efecte del tractament crema prescrita (Control vs Cremats) s'ha realitzat el test t-Student per a mostres independents per a cadascuna de les propietats analitzades. S'han comparat els resultats de totes les mostres no cremades (controls) amb les cremades (mostrejades una setmana després de la crema). Tota l'anàlisi estadística es va realitzar amb el programa SPSS versió 24.0 (IBM SPSS statistics 2016).

4. RESULTATS

Els resultats que es mostren a continuació són els corresponents a les anàlisis, químics, físics i biològics de les mostres de sòl a estudi.

4.1 PARÀMETRES QUÍMICS

4.1.1 MATÈRIA ORGÀNICA

En la figura 5 es mostren els valors del contingut en matèria orgànica de les mostres procedents del sòl sotmés a la crema, comparant amb les no cremades o controls. Els resultats mostren que el contingut de MO en els 3 primers cm de sòl mineral és alt, encara que dins de la normalitat per a sòls forestals de zones mediterrànies (Zornoza et al., 2007). Els nostres resultats mostren que hi ha un lleuger augment de MO en el sòl cremat que és estadísticament significatiu ($P < 0,005$).

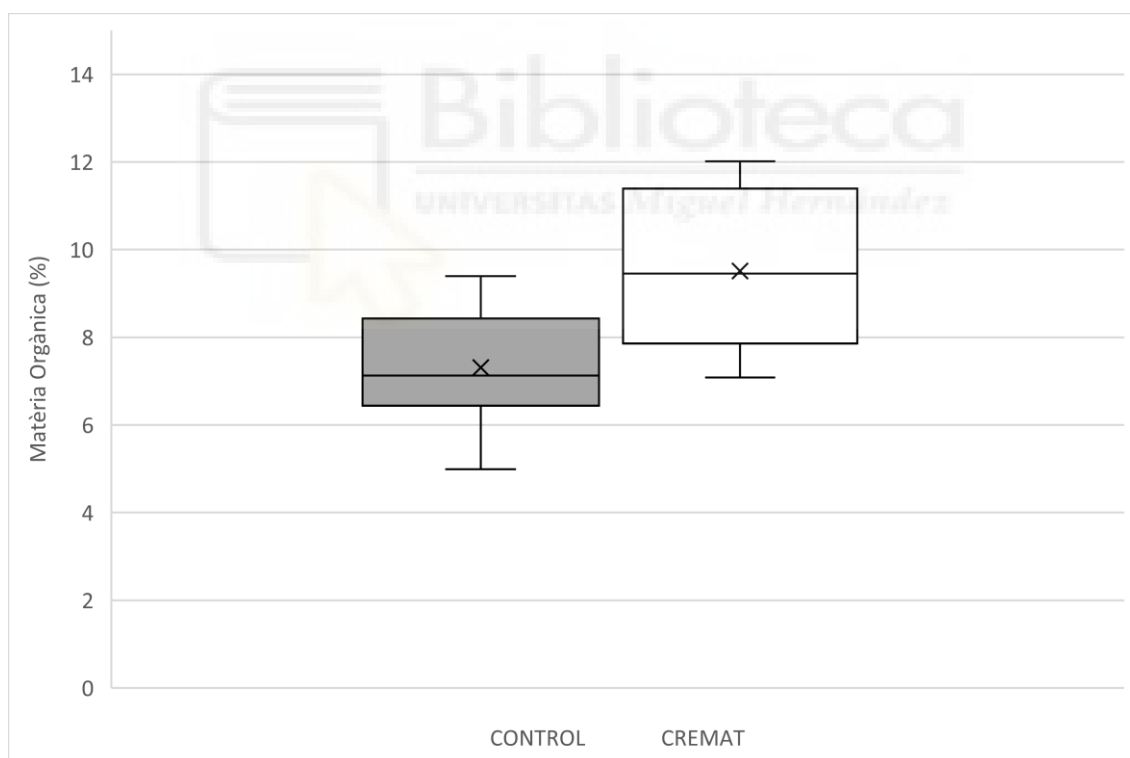


Figura 5. Contingut de matèria orgànica (MO) en sòls en les parcel·les cremades i controls (en cada gràfic es mostra valor mitjà, mitjana, quartils, i valors mínim i màxim).

4.1.2 FÒSFOR ASSIMILABLE

En la figura 6 vam mostrar els valors del contingut en fòsfor assimilable de les mostres procedents del sòl sotmés a la crema comparant amb les no cremades o controls. Els resultats mostren que una setmana després de la crema, no hi ha diferències significatives entre controls i cremats.

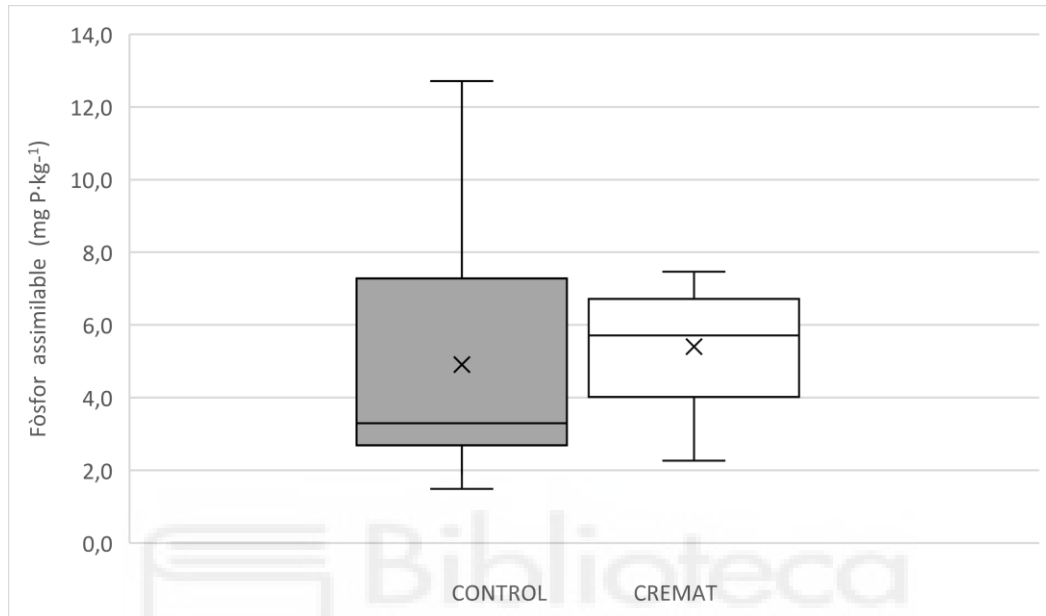


Figura 6. Contingut de fòsfor assimilable (P) en sòl en les parcel·les cremades i controls (en cada gràfic es mostra valor mitjà, mitjana, quartils, i valors mínim i màxim).

4.1.3 NITROGEN KJELDHAL

En quant al contingut en nitrogen (figura 7), expressat en % en les mostres tant cremades com controls, els resultats mostren que igual que amb la MO, les mostres cremades mostren un lleuger augment estadísticament significatiu ($P < 0,05$).

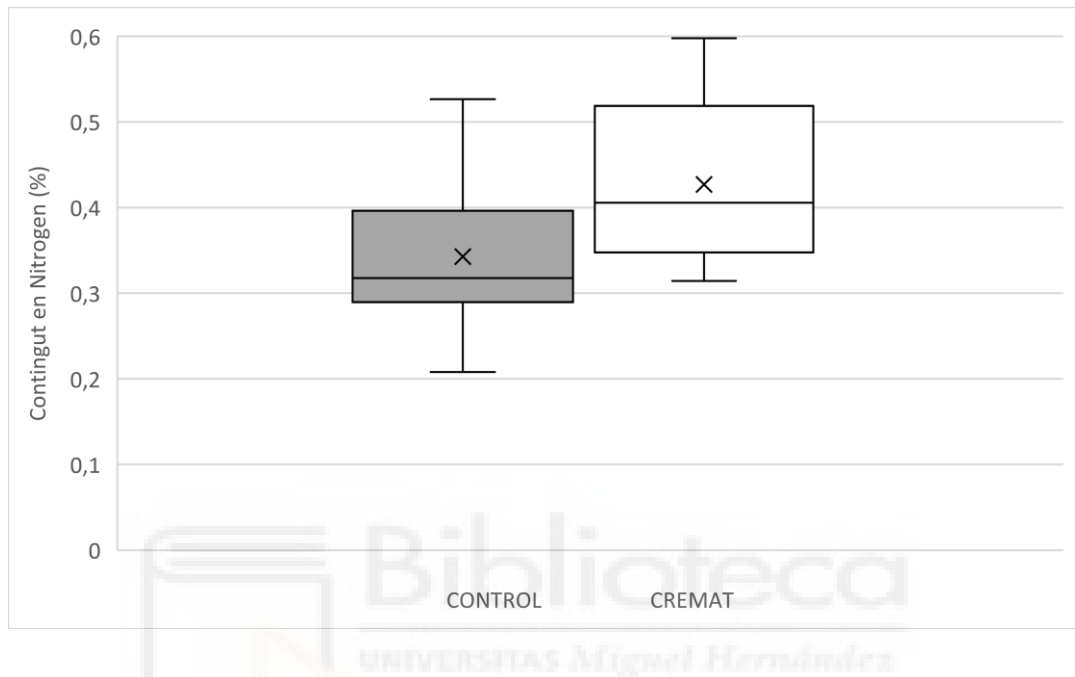


Figura 7. Contingut de nitrogen (N) en sòls en les parcel·les cremades i controls (en cada gràfic es mostra valor mitjà, mitjana, quartils, i valors mínim i màxim).

4.2 PARÀMETRES FÍSICS

4.2.1. CONTINGUT TOTAL D'AGREGATS

En la figura 8 s'expressen els valors del contingut total d'agregats procedents de les mostres de sòl sotmés a la crema comparant amb les de sòl control. Els resultats mostren un sòl ben estructurat amb una alta proporció de sòl formant agregats, entorn al 80-85% de mostra i no s'observen diferències estadísticament significatives com a resultat immediat del pas del foc en la crema prescrita.

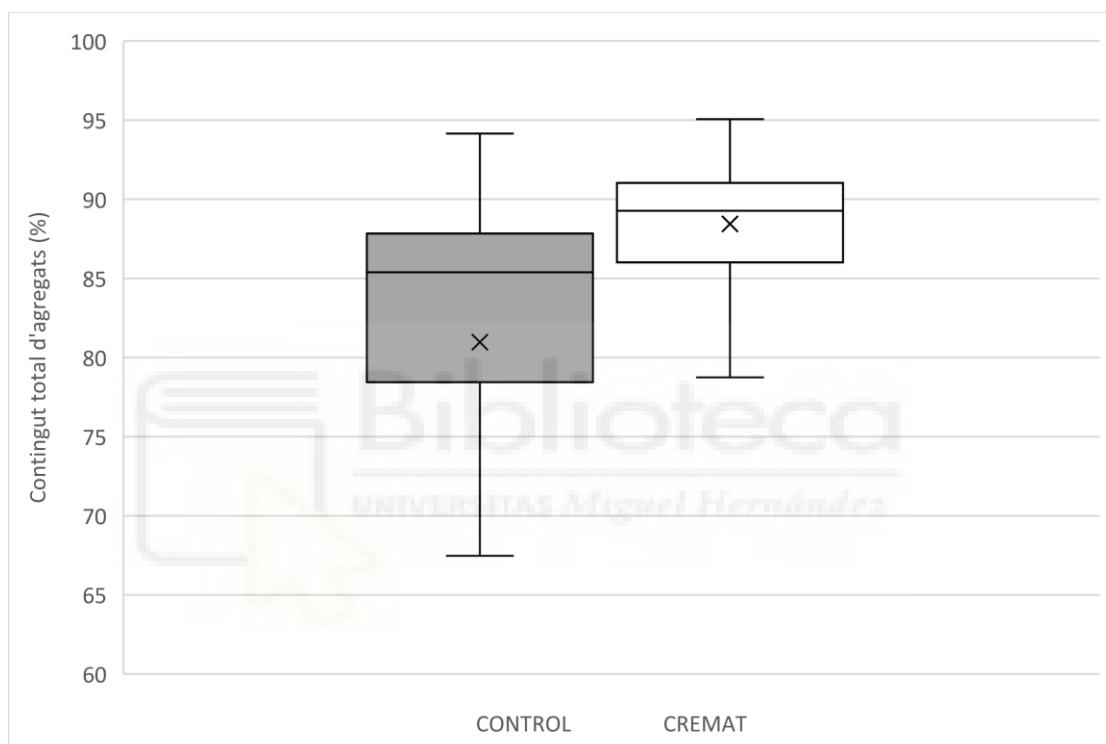


Figura 8. Contingut total d'agregats en sòls en les parcel·les cremades i controls (en cada gràfic es mostra valor mitjà, mitjana, quartils, i valors mínim i màxim).

4.2.2. ESTABILITAT D'AGREGATS

Respecte a l'estabilitat dels agregats, és a dir la seua resistència física a la ruptura, els resultats (figura 9) mostren que tampoc hi ha diferències significatives a conseqüència de la crema, i s'observa en general un sòl molt ben estructurat amb valors d'EA pròxims o superant el 90%.

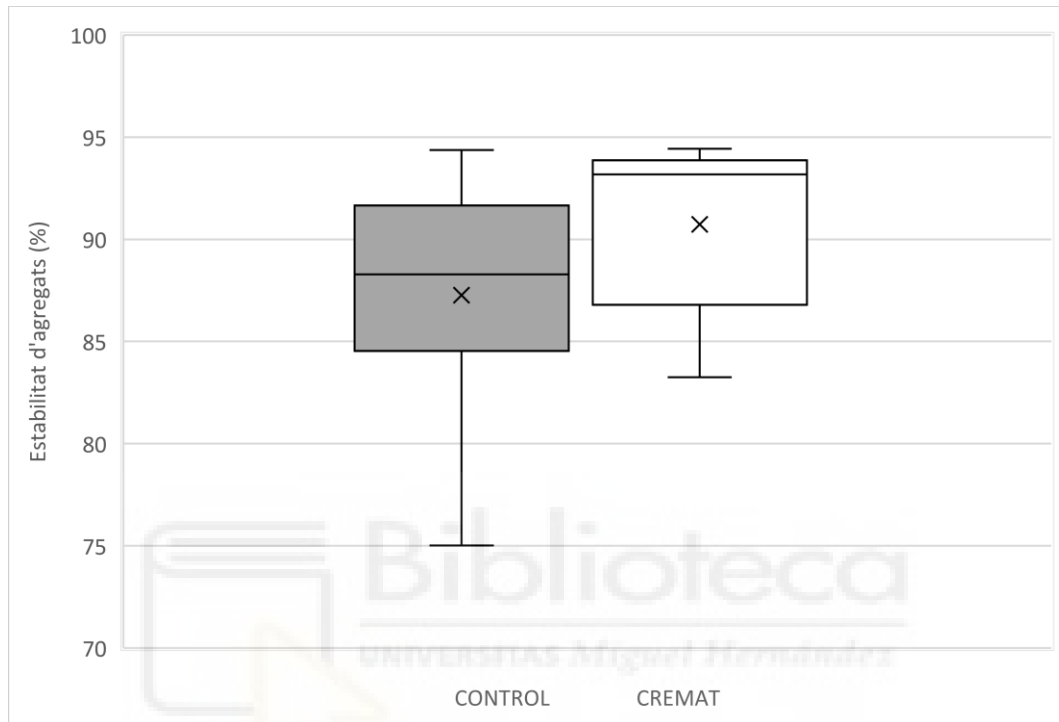


Figura 9. Estabilitat d'agregats (EA), en sòls en les parcel·les cremades i controls (en cada gràfic es mostra valor mitjà, mitjana, quartils, i valors mínim i màxim).

4.2.3. REPEL·LÈNCIA AL L'AGUA

En la figura 10 s'expressen els valors de repel·lència a l'aigua que presentaven tant les mostres control com les sotmeses a la crema. Encara que no s'observen diferències significatives entre cremades i controls en els valors mitjans, sí que s'observa que hi ha una major variabilitat en les dades de les mostres de sòl de les parcel·les control, sent algunes d'elles, encara que poques, hidrofíliques.

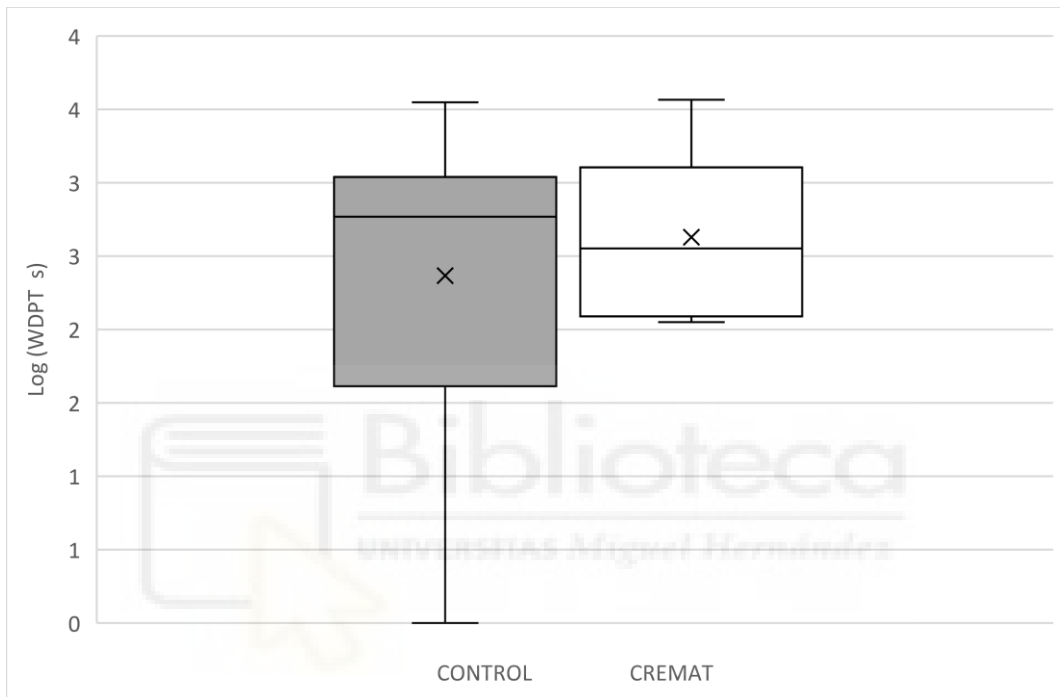


Figura 10. Valors de repel·lència a l'aigua (WR) en sòls de parcel·les cremades i de controls (en cada gràfic es mostra valor mitjà, mitjana, quartils, i valors mínim i màxim)..

En la figura 11 es mostra la distribució de mostres per classe de repel·lència. Es pot observar una gran variabilitat, típica d'aquesta propietat, encara que sorprenen els valors tan alts per a sòls calcaris Mediterranis (Mataix-Solera i Doerr, 2004). Els resultats mostren que aquests sòls presenten de manera natural una elevada repel·lència a l'aigua, amb un 88% de les mostres controls i un 100% de les cremades sent repel·lents a l'aigua respectivament, i amb valors mitjanes entre els 800-900 s en el test del WDPT, la qual cosa els classifica com severament repel·lents a l'aigua.

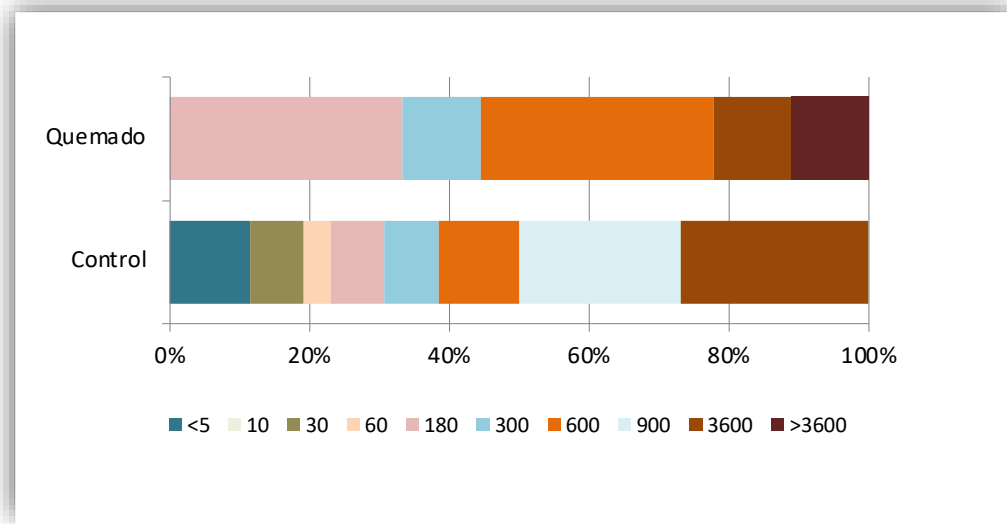


Figura 11. Distribució de la repel·lència a l'aigua (WDPT en segons) de les mostres de sòl controls i cremats. Valors en % de cada classe de repel·lència (<5 s hidrofíliques, > 5 s hidrofòbiques).



4.3. PROPIETATS MICROBIOLÒGIQUES

Són propietats que ens aporten informació sobre la fracció de la MO viva del sòl, i alguns paràmetres representen processos fisiològics importants dels microorganismes del sòl (Gajda i Martyniuk 2005).

4.3.1. CARBONI DE LA BIOMASSA MICROBIÀ

En la figura 12 s'expressen els valors del carboni de la biomassa procedents de les mostres de sòl sotmés a la crema comparant amb les de sòl control. Els resultats mostren que no hi ha diferències significatives entre parcel·les cremades i controls. Per tant, no observem un efecte directe de la crema en el CBM del sòl.

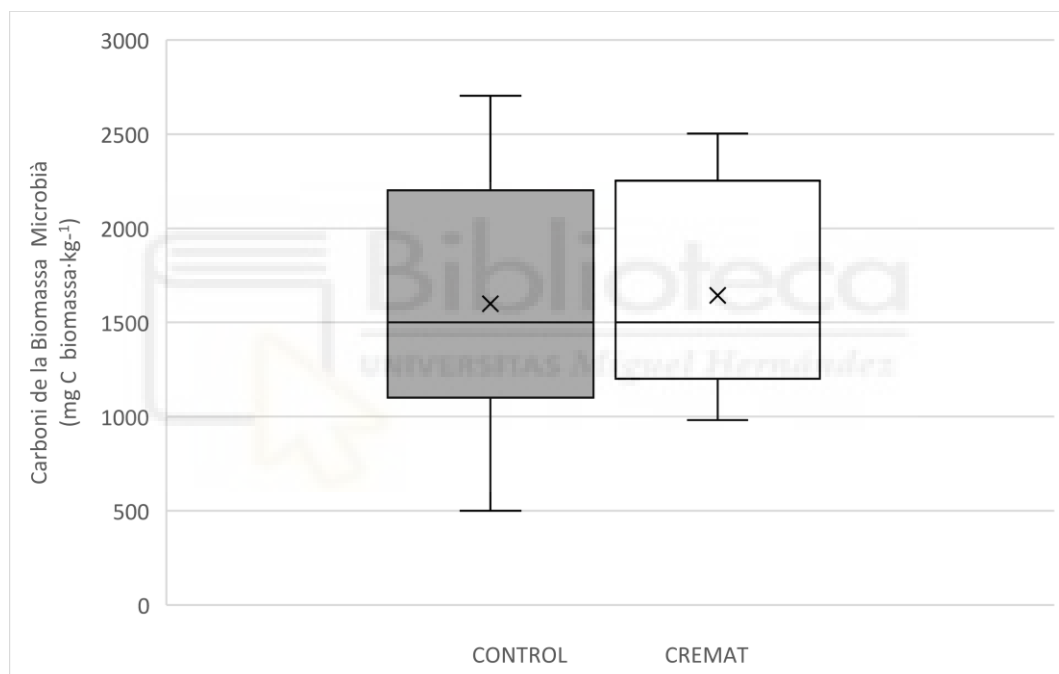


Figura 12. Carboni de la biomassa microbiana (CBM) en sòls de parcel·les cremades i de controls (en cada gràfic es mostra valor mitjà, mitjana, quartils, i valors mínim i màxim).

4.3.2. RESPIRACIÓ EDÀFICA BASAL

Els resultats de la respiració edàfica basal, paràmetre relacionat l'activitat microbiana es mostren en la figura 13. En aquest cas, a diferència del CBM, els resultats mostren un cert augment de l'activitat en les parcel·les cremades sent aquest estadísticament significatiu ($P < 0,05$) respecte a les parcel·les control.

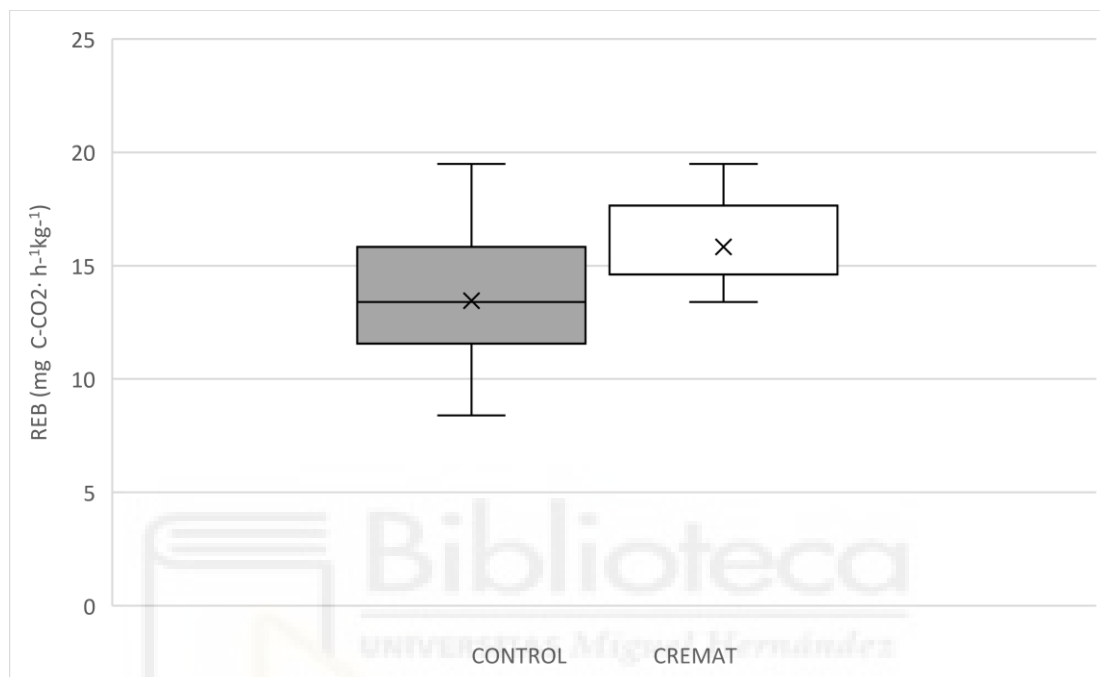


Figura 13. Respiració edàfica basal (REB) en sòls de les parcel·les cremades i controls (en cada gràfic es mostra valor mitjà, mitjana, quartils, i valors mínim i màxim).

4.3.3. QUOCIENT METABÒLIC

En la figura 14 es mostren els valors del qCO_2 , que és un indicador que es calcula a partir de la respiració edàfica basal i el carboni de la biomassa microbiana. És una mesura de l'eficiència en l'ús del carboni pels microorganismes. Valors baixos d'aquest paràmetre indiquen un ús més eficient del recurs. Els resultats mostren que no hi ha diferències significatives entre tots dos.

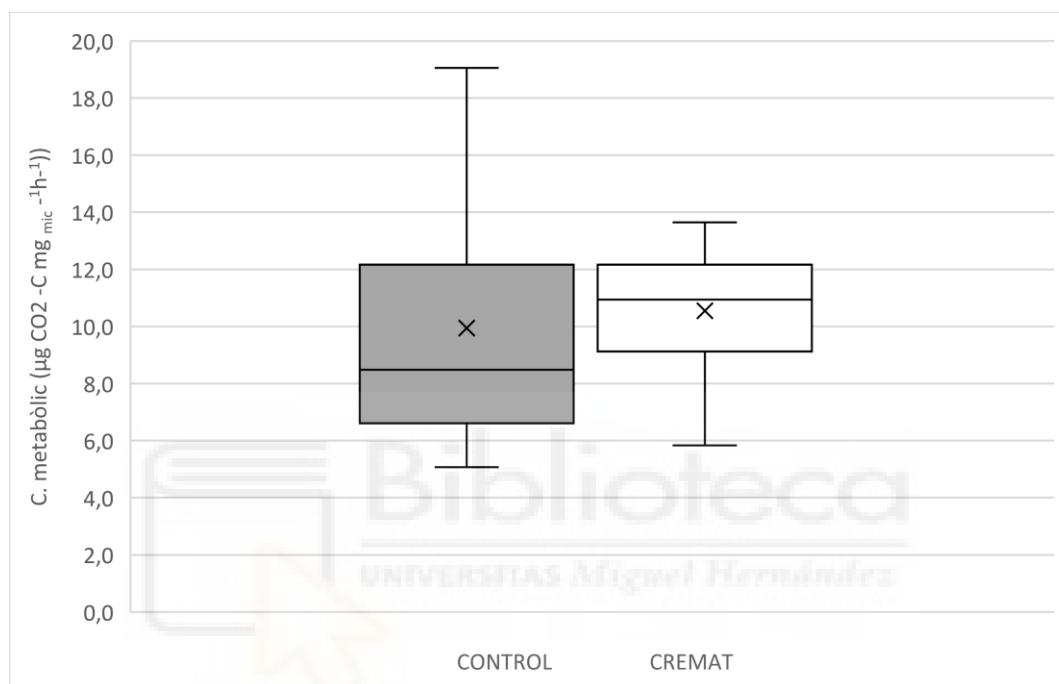


Figura 14. Quocient metabòlic o qCO_2 en els sòls de les parcel·les cremades i controls (en cada gràfic es mostra valor mitjà, mitjana, quartils, i valors mínim i màxim).

4.3.4. ACTIVITAT β -GLUCOSIDASA

En quant a l'estudi de l'enzim β -glucosidasa (figura 15), els resultats mostren un lleuger augment en els valors mitjans de les mostres cremades, encara que sense diferències estadísticament significatives.

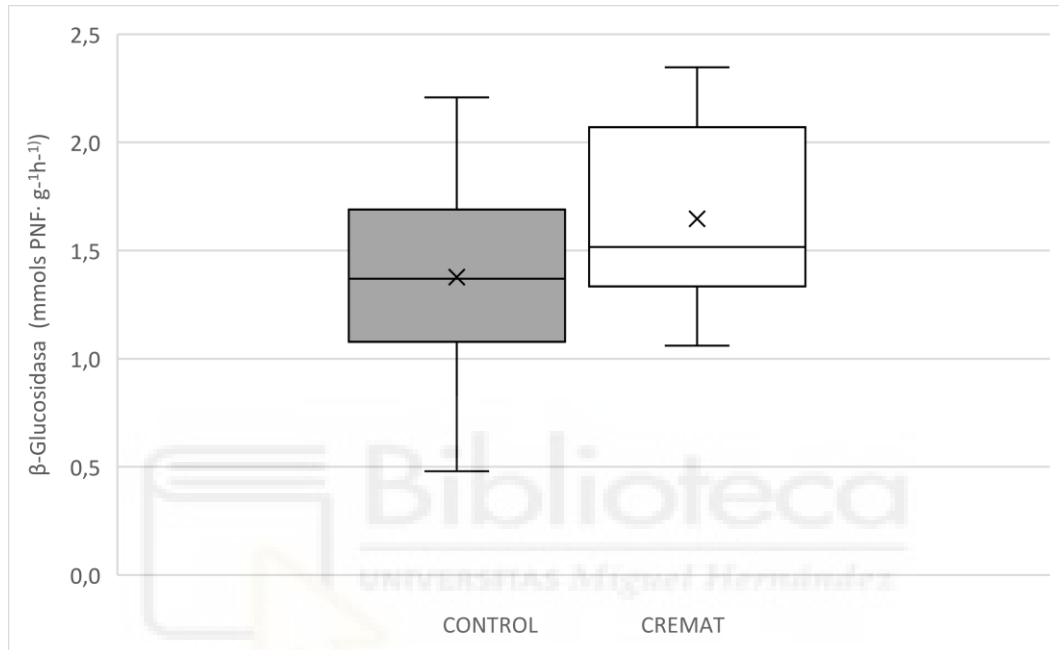


Figura 15. Activitat de l'enzim β -glucosidasa en sòls de les parcel·les cremades i controls. (en cada gràfic es mostra valor mitjà, mitjana, quartils, i valors mínim i màxim).

4.3.5. ACTIVITAT UREASA

En la figura 16 estan representats els valors de l'enzim ureasa en les diferents mostres a estudi, comparant cremades amb els controls. Els resultats mostren que fins i tot amb la mateixa tendència que la β -glucosidasa a un increment de l'activitat, no hi ha diferències significatives entre tots dos. Per tant, tampoc observem un efecte directe de la crema en aquesta activitat enzimàtica.

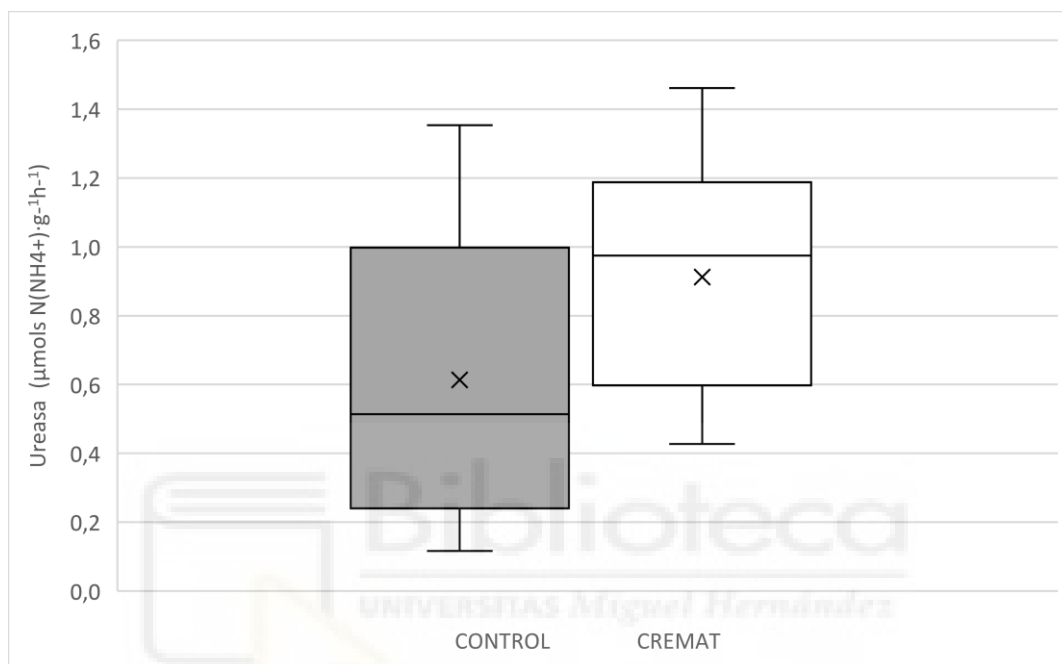


Figura 16. Activitat de l'enzim ureasa en sòls de les parcel·les cremades i controls (en cada gràfic es mostra valor mitjà, mitjana, quartils, i valors mínim i màxim).

4.3.6. ACTIVITAT FOSFATASA

Relacionat amb el cicle del fòsfor en el sòl es troba l'activitat fosfatasa, els resultats de la qual tant en les mostres procedents de la crema com de les no cremades o controls es mostren en la figura 17 i expressen que, encara que el valor mitjà és una mica major en el cremat, tampoc hi ha diferències significatives entre tots dos.

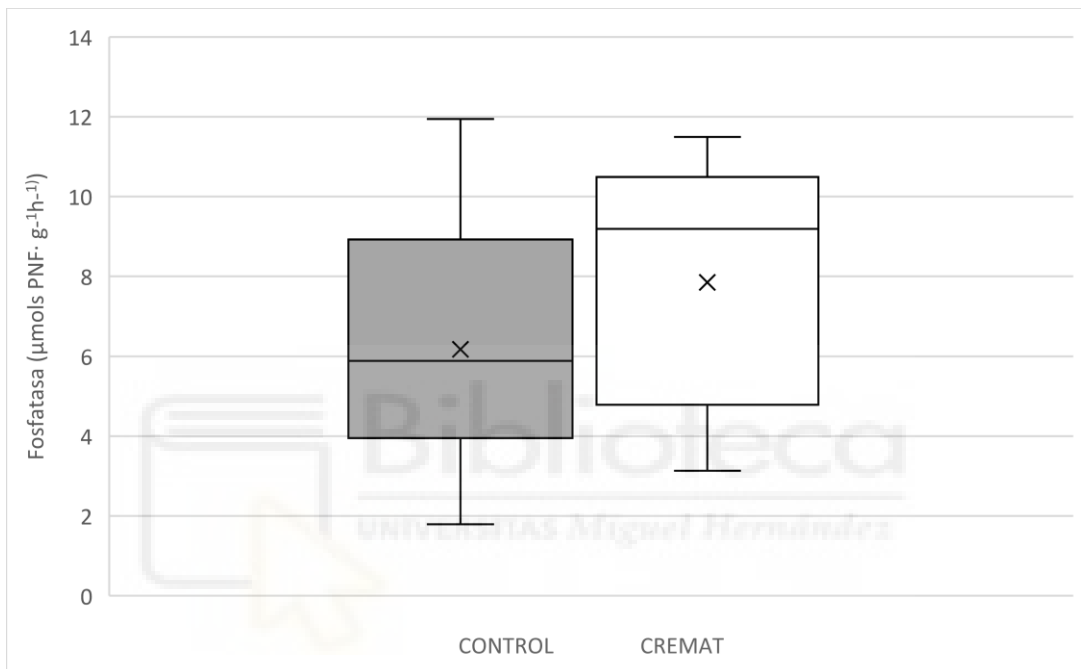


Figura 17. Activitat de l'activitat fosfatasa en sòls de les parcel·les cremades i controls (en cada gràfic es mostra valor mitjà, mitjana, quartils, i valors mínim i màxim).

4.3.7. ACTIVITAT DESHIDROGENASA

Al igual que en la majoria de les activitats enzimàtiques, la deshidrogenasa (figura 18) mostra que no hi ha diferències estadísticament significatives entre tots dos tractaments.



Figura 18. Activitat de l'enzim deshidrogenasa en sòls de les parcel·les cremades i controls (en cada gràfic es mostra valor mitjà, mitjana, quartils, i valors mínim i màxim).

5. DISCUSSIÓ

Amb els resultats obtinguts de les anàlisis realitzades, es pot observar com de manera general, i per a la majoria dels paràmetres, no hi ha canvis significatius entre les mostres control i les sotmeses a la crema analitzades una setmana després de la realització del tractament. Atés que les temperatures registrades en el sòl mineral van ser baixes, i per tant un foc de baixa intensitat, els resultats són lògics i esperables, molt diferents a l'observat en incendis forestals (Alcanyís et al., 2017).

Dels resultats de les anàlisis dels paràmetres químics estudiats, hem observat lleugeres variacions en els valors per l'aplicació d'aquesta mena d'eina de maneig de combustible, cremes controlades, com és el cas del contingut en MO. En el nostre cas s'observa un augment en el contingut de MO després de la crema, la qual cosa és explicable quan tenim focs de baixa intensitat que provoquen una aportació de material vegetal parcialment pirolitzat (Mataix-Solera et al., 2002). Diversos estudis mostren com l'efecte de les cremes en el contingut total de matèria orgànica en el sòl pot ser molt variable i això depèn principalment de diversos factors entre els quals s'inclouen el tipus d'incendi, la seua intensitat i severitat, el tipus d'ecosistema afectat i la topografia del terreny, per la qual cosa els efectes poden anar des de la combustió quasi total de la matèria orgànica fins a augments que arriben fins i tot al 30% en l'horitzó superficial (Alcañiz, 2017). En el nostre estudi s'observa un lleuger augment significatiu pel fet que el consum substancial de matèria orgànica comença en el rang de temperatura de 200 a 250 °C i es completa al voltant dels 460 °C (Giovannini et al., 1998) i en el nostre cas la crema prescrita a penes va augmentar la temperatura, entre 8 i 20 °C en els primers centímetres de sòl mineral, però sí que va poder aportar restes orgàniques de la vegetació parcialment cremada. Seguidament quant a l'anàlisi del fòsfor inorgànic en el sòl no s'han apreciat canvis significatius. Hi ha autors que han trobat increments que ho expliquen fruit de la mineralització del fòsfor orgànic per efecte de la calor (Romanyà, 1994), o per aportacions de P inorgànic des de les cendres fruit de la combustió de la vegetació (Mataix-Solera et al., 2002). En el nostre cas no hem trobat canvis, però l'explicació pot ser deguda a la baixa intensitat del foc i al fet que en termini d'una setmana és possible que encara no detectem incorporació de P assimilable des de les cendres al sòl. L'últim paràmetre químic estudiat ha sigut el Nitrogen, paràmetre important igual que la MO, ja que limita la productivitat primària en els sòls naturals (Christensen, 1977 i Fenn et al., 1998). En aquest cas igual que amb la MO, s'han observat lleugers augments significatius pel tractament. Se sap que el foc pot provocar una pèrdua de N del sòl com a resultat de la volatilització quan la temperatura supera els 200 °C (DeBano et al., 1979; Mataix-Solera i Guerrero, 2007). Però igual que en el nostre estudi, les

temperatures aconseguides en focs prescrits no solen provocar un augment significatiu de la temperatura en els primers cm de sòl mineral (Alexis et al., 2007), i no obstant això a causa de l'aportació de MO i en correlació amb aquests resultats trobem un augment.

En la part de les anàlisis de paràmetres físics, tant per a l'anàlisi d'agregació com en la repel·lència a l'aigua no s'han vist canvis significatius entre els controls i cremats. Aquests dos paràmetres físics han sigut proposats per Mataix-Solera et al. (2021) com dos indicadors valuosos per a estimar la vulnerabilitat a l'erosió en sòls cremats. Tant per al cas del contingut total així com de l'estabilitat d'agregats es pot observar un lleuger augment no significatiu, per la qual cosa no podem afirmar que hi ha canvis, característica esperable per a cremes de baixa-mitja intensitat com és el cas, no com en el d'estudis en de cremes d'alta intensitat com en una realitzada en una zona de bruguerars en ambient mediterrani on si es va poder observar una disminució significativa en l'estabilitat d'agregats en el sòl relacionada per la pèrdua de matèria orgànica deguda a les altes temperatures registrades (Granged et al., 2011), ja que la matèria orgànica actua com a agent cementant en l'estructura del sòl. I en el cas de la repel·lència a l'aigua del sòl, cal destacar que aquests sòls mostren una repel·lència a l'aigua ja de manera natural molt elevada, i que no s'ha modificat substancialment per efecte de la crema, que hauria sigut l'esperable si haguérem tingut una crema més intensa ja que el foc pot modificar la repel·lència a l'aigua en sòls, tant apareixent, intensificant-se o reduint-se (Mataix-Solera et al., 2011), depenent principalment de les temperatures que es registren. En el cas de sòls sotmesos a incendis (calfaments) la repel·lència s'intensifica quan s'aconsegueixen temperatures entre 175 i 270 °C, però es destrueix a temperatures per damunt de 270 fins a 400 °C (Doerr et al., 2000). Aquest efecte sembla ser més acusat quan els sòls tenen textura arenosa (DeBano et al., 1970, 1976) a causa de la seua menor superfície específica (menor superfície per a cobrir per material hidrofòbic), però no és el nostre cas. És sorprenent que siguin tan repel·lents a l'aigua si comparem amb altres estudis, ja que aquesta propietat és fàcil que es presente quan hi ha alts continguts de matèria orgànica i textures arenoses, ja que la superfície específica és baixa i amb poca quantitat de compostos orgànics hidrofòbics ja queda la superfície mineral coberta, però aquests sòls tenen una textura francoargilosa, amb alts continguts d'argila i per tant la seua superfície específica és molt alta. Una possible explicació és que són sòls molt ben agregats i estables, i per tant, fins i tot tenint alt contingut d'argila, està formant agregats i reduint la superfície necessària a cobrir (part externa de l'agregat) per compostos hidrofòbics que fan el sòl repel·lent a l'aigua.

Els nivells alts de repel·lència a l'aigua podrien provocar elevades taxes d'escolament i erosió, ja que el fet de retardar la velocitat d'entrada de l'aigua al sòl en un terreny la superfície del qual tinga algun gradient d'arracada, pot portar al fet que la taxa d'aportació d'aigua sobrepassi la seua taxa

d'infiltració i al fet que es genere un excedent d'humitat que començarà a fluir per damunt de la superfície del sòl (Jaramillo, 2006).

Seguidament, en els resultats de les propietats microbiològiques estudiades, igual que en els anteriors paràmetres, en general no s'han trobat grans diferències significatives per efecte de la crema, només en la respiració edàfica basal amb un lleuger augment. Com bé és sabut el foc pot afectar les comunitats biològiques del sòl directament (matant o danyant organismes) o indirectament (per influències a mig-llarg termini, com la successió de plantes, transformacions de la matèria orgànica del sòl) (Borchers i Perry, 1990; Certini, 2005). I els seus efectes depenen principalment de les característiques del propi foc (intensitat, temps de residència i severitat), càrrega de combustible, microtopografia i humitat del sòl (Bellido, 1987). Respecte al Carboni de la Biomassa Microbiana (CBM), no s'han trobat diferències significatives entre els sòls control i els cremats. A pesar que els microorganismes existents en el sòl són els més sensibles a les temperatures, aquestes no han sigut prou altes com per a haver causat un efecte immediat en el CBM. Quant a la respiració edàfica basal (REB), es tracta d'una variable que mesura l'activitat dels microorganismes del sòl i que, per tant, serveix com a indicador de canvis en les comunitats de la microbiota (Fregues et al., 2011), i en aquest cas, com comentàvem sí que s'han vist canvis significatius entre sòls control i cremats, amb un augment de l'activitat en les parcel·les cremades. Sembla que el calfament ha sigut tan lleu, que l'efecte és simplement un lleuger augment de l'activitat microbiana, també mostrada, encara que sense canvis significatius, però sí com a tendència en la majoria de les activitats enzimàtiques. Un altre indicador estudiat, és el quocient metabòlic o qCO_2 que mostra l'eficiència de la biomassa microbiana en la utilització de les fonts de carboni i que s'obté de la relació entre la REB i el CBM. En aquest paràmetre no s'observen canvis significatius entre les mostres cremades i controls, per la qual cosa els microorganismes presents en els sòls sotmesos a la crema prescrita presenten una eficiència similar en l'ús del carboni.

Respecte a les activitats enzimàtiques, l'enzim β -glucosidasa, que és produïda per molts i diversos fongs, incloent els basidiomicets descomponedors de la fusta (Conn i Dighton, 2000), és un enzim l'activitat del qual se sol correlacionar positivament amb el carboni orgànic del sòl i, en molts casos, també el fa de manera negativa amb el pH (Eivazi i Tabatabai, 1990). Dels resultats d'aquesta anàlisi es pot observar que fins i tot mostrant valors mitjans una mica més elevats en els cremats, no hi ha diferències significatives pel tractament. Estudis de l'efecte de la temperatura en l'activitat enzimàtica han mostrat que la temperatura necessària per a inactivar els enzims en els sòls és al voltant de 10 °C major que la necessària per a inactivar els enzims en l'absència de sòl (Skujins, 1976). Altres estudis que han analitzat l'activitat enzimàtica β -glucosidasa han comprovat que decreixen des dels

escenaris de baixa severitat fins a quasi desaparèixer en les situacions de màxima severitat (Fernández, 2019), molt diferent al trobat en el nostre cas.

Quant a l'enzim ureasa, relacionada amb el cicle del nitrogen en el sòl, no s'han observat tampoc en el nostre cas canvis significatius entre les mostres cremades i controls. Aquest enzim en el sòl és essencialment d'origen microbià i pot existir com un enzim extracel·lular adsorbida sobre partícules d'argila o encapsulades en complexos húmics, a més catalitza la hidròlisi d'urea a CO_2 i NH_3 (Quiroz, 2007). En altres estudis sobre efectes dels incendis, on les intensitats han sigut majors, sí s'han vist reduïts els valors de ureasa fins a un 85% com en el cas estudiat per Barreiro et al. (2011).

En quant a l'activitat fosfatasa, relacionada amb el contingut de fòsfor inorgànic en el sòl tampoc s'han observat canvis significatius en tots dos tipus de sòl. Aquest enzim en el sòl prové principalment dels microorganismes (Santruckova et al., 2004), i està encarregada de mineralitzar els compostos de P orgànic a P inorgànic soluble. És normal que si no hem detectat de moment canvis en el contingut de P assimilable no s'observen canvis en aquesta activitat enzimàtica. Seria esperable que, si a curt termini el fòsfor inorgànic augmenta en les parcel·les cremades per la solubilització des de les cendres, aquest enzim s'inhibisca i descendisca la seua activitat.

Finalment, l'últim paràmetre microbiològic estudiat és el de l'activitat de l'enzim deshidrogenasa que permet de manera global, tindre informació sobre els processos microbians que ocorren en el sòl pel fet que aquests enzims es troben presents únicament en sistemes vius (Henríquez, 2014), i per tant és considerada com un índex d'activitat microbiana (Kuhur, 2012). Per a aquest paràmetre tampoc s'han trobat diferències significatives. Altres estudis que han detectat variacions en aquestes propietats a conseqüència de la crema mostren que la recuperació d'aquestes propietats biològiques als valors previs al foc poden variar entre un mes (Gray i Dighton, 2009) i diversos anys (Choromanska i DeLuca, 2001) depenent de les característiques del foc, les propietats del sòl i el tipus de vegetació en el lloc exposat a les cremes prescrites i brindant una oportunitat perquè les plantes supervivents al foc i les espècies pioneres aprofiten la gran reserva de nitrogen disponible.

En resum, segons estudis previs podem dir que les cremes prescrites constitueixen una pertorbació en el medi ambient, bé de manera positiva, neutra o negativa, tot això depenent de la propietat que estiguem estudiant, però la majoria dels estudis consultats reporten en general una bona recuperació del sòl, i els seus efectes solen ser menys pronunciats que els que provoquen els incendis forestals, a causa de la menor intensitat i severitat d'aquestes (Alcañíz et al. 2017). El nostre estudi suposa una nova aportació i verifica que l'impacte d'aquesta crema prescrita en aquestes condicions i sobre aquest tipus de sòl ha sigut mínim, si bé cal tindre en compte que és un sòl per naturalesa repel·lent a l'aigua i aquesta propietat pot suposar un problema quan s'elimina la coberta

vegetal ja que pot disparar les taxes d'escolament i erosió. Seria per tant recomanable, que es comprove que no queda sòl mineral nu després d'aquestes cremes i bé amb cendres o restes parcialment cremades, el sòl roman cobert, en cas contrari podria suposar un risc d'erosió, i estudis previs (ej: Mataix-Solera et al., 2021) recomanen en aquests casos recobrir el sòl amb alguna mena d'embuatat (palla o estella de fusta), per a disminuir els escolaments i per tant l'erosió del sòl.

6. CONCLUSIONS

Després del nostre estudi podem concloure que la realització d'aquesta crema prescrita en aquestes condicions de vegetació, meteorologia i sòls no ha provocat a penes canvis en les propietats físiques, químiques i biològics estudiades, i per tant sense canvis significatius entre les mostres cremades i control per a la majoria dels paràmetres, per la qual cosa amb aquest treball es pot afirmar que la crema prescrita com a eina de gestió de combustible forestal no ha tingut un efecte negatiu immediat sobre el sòl objecte estudie i per tant considerem que és una bona opció per al control de combustible i la gestió forestal de la zona. Malgrat això, i tenint en compte que aquests sòls de manera natural han mostrat valors molt alts de repel·lència a l'aigua, seria recomanable que després de la crema no quede el sòl nu per a evitar pèrdues per erosió hídrica.

7. PROJECCIÓ FUTURA

Tenint en compte que el nostre estudi es basa en l'efecte immediat de la crema, i a pesar que els valors obtinguts a partir de les anàlisis estudiades no varien significativament entre mostres cremades i controls per a aquests sòls, seria d'especial interès realitzar algun estudi a mitjà termini per a verificar que el sòl no pateix processos d'erosió a conseqüència de la presència de repel·lència a l'aigua. D'altra banda, considerem que és necessari realitzar més estudis d'aquest tipus sobre altres tipus de sòls per a poder comprovar l'eficàcia d'aquesta tècnica de gestió forestal en altres condicions i/o zones geogràfiques per a la seua possible aplicació.

8. BIBLIOGRAFIA

- Albini, F. (1976). Estimating wildfire behavior and effects. *USDA For. Serv.* Vol. 4235, (pp 8-9).
- Alexis, S., Gonzaga, L., Pastor, J., y Hernández, J. (2007). Contribución de los SIG a la planificación del desarrollo rural sostenible: Aplicación para los cultivos de café y habichuelas en república dominicana. (pp 1-8).
- Alcañiz, M., Outeiro, L., Francos, M., and Úbeda, X. (2017). Effects of prescribed fires on soil properties. *Science of the Total Environment*, Vol.613, (pp 944-957).
- Barreiro, A., Lombao, A., Martín, A., Iglesias, L., Carballas, T., Díaz-Fierros, F., and Díaz Raviña, M. (2011). Preliminary data of soil properties and soil erosion following a wildfire and different post-fire soil stabilization treatments in Laza. *Fire effects on soil properties*, Vol.136 (pp 108-110).
- Bellido, A., (1987). Field experiment about direct effect of a heathland prescribed fire on microarthropod community. *Ecol. Biol.* Vol 24, (pp 603–622).
- Benito, E., Gómez-Ulla, A. y Díaz-Fierros Viqueira, F. (1986). Descripción de un simulador de lluvia para estudios de erodibilidad del suelo y estabilidad de los agregados al agua. *Anales de Edafología y Agrobiología*, Vol.45, (pp 1115-1126).
- Bermúdez, F. (2001). Cambio climático y desertificación, amenazas para la sostenibilidad de las tierras del Arco Mediterráneo. Situación y perspectiva. *Revista valenciana d'estudis autonòmics*. Vol. 36, (pp 108).
- Bisdorn, E., Dekker, L., Schoute, J. (1993). Water repellency of sieve fractions of soil sand and relationships with organic matter and soil structure. *Soil Structure/Soil Biota Interrelationships*, Elsevier, (pp 105-118).
- Borchers, J., Perry, Borchers, S. and Amaranthus, M. (1990). Species migrations and ecosystem stability during climate change: the belowground connection. *Conservation Biology*, Vol 4, (pp. 266-274).
- Bremner, J. and Mulvaney, C. (1982) Nitrogen-Total. In: *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.* (pp 595-624).
- Casida, L., Klein, A., Santoro, T. (1964). Soil dehydrogenase activity. *Soil Science*. Vol. 98, (pp 371-376).
- Cerdà, A., Mataix-Solera, J. (2009). Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España: el estado de la cuestión visto por los científicos españoles. *Cátedra de divulgación de la Ciencia*, Universitat de Valencia.
- Certini, G. (2005). Effects of fire on properties of forest soils. *Oecologia*, Vol. 143, (pp 1-10).

- Choromanska, U. and DeLuca, T.H. (2002). Microbial activity and nitrogen mineralization in forest mineral soils following heating: evaluation of post-fire effects. *Soil Biology and Biochemistry*. Vol. 34, (pp 263-271).
- Christensen, N. (1977). Fire and soil-plant nutrient relations in a pine-wiregrass savanna on the coastal plain of North Carolina. *Oecologia*. Vol 31, (pp 27–44).
- Conn, C. and Dighton, J. (2000). Litter quality influences on decomposition, ectomycorrhizal community structure and mycorrhizal root surface acid phosphatase activity. *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 32, (pp 489-496).
- DeBano, L., Eberlein, G., Dunn, P. (1979). Effects of burning on chaparral soils. *Soil Science Society of America Journal*. Vol. 43, (pp 504–509).
- DeBano, L.F., Mann, L.D. y Hamilton, D.A. (1970). Translocation of hydrophobic substances into soil by burning organic litter. *Soil Science Society of America Journal*. Vol 34, (pp 130-133).
- DeBano, L., Savage, S. and Hamilton, D. (1976). The transfer of heat and hydrophobic substances during burning. *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 40, (pp 779-782).
- Diez, J. (1982). Consideraciones sobre el uso de la técnica de Burriel-Hernando para la determinación de P disponible en suelos. *Anales de Edafología y Agrobiología* (España).
- Doerr, S., Dekker, L., Shakesby, R., Ritsema, C. and Bryant, R. (2002). Water repellency of soils: the influence of ambient relative humidity. *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 66, (pp 401-405).
- Doerr, S.H., Shakesby, R.A. and Walsh, R. (2000). Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. *Earth-Science Reviews*, Vol 51, (pp 33-65).
- Eivazi, F. and Tabatabai, M. (1990). Factors affecting glucosidase and galactosidase activities in soils. *Soil Biology and Biochemistry*. Vol.22, (pp. 891-897).
- Fernández-García, V., Beltrán-Marcos, D., Pinto-Prieto, R., Fernández-Guisuraga, J., y Calvo, L. (2019). Uso de técnicas de teledetección para determinar la relación entre la historia de incendios y la severidad del fuego. *Teledetección. Hacia Una Visión Global del Cambio Climático; Fernández, LÁR, Cremades, JE, Montes, AC, Sánchez, JCA, Eds*, (pp. 135-138).
- Fenn, M., Poth, M., Aber, J., Baron, J., Bormann, B., Johnson, D., Lemly, A., McNulty, S., Ryan, D., Stottlemeyer, R. (1998). Nitrogen excess in North American ecosystems: predisposing factors, ecosystem responses, and management strategies. *Ecological Applications*. Vol. 8, (pp. 706–733).
- Gajda, A. and Martyniuk, S. (2005). Microbial Biomass C and N and Activity of Enzymes in Soil under Winter Wheat Grown in Different Crop Management Systems. *Polish Journal of Environmental Studies*, Vol 14, (pp 159-163).

- García-Orenes, F. (1992). Estudio sobre la estabilidad de agregados. Aspectos químicos y microbiológicos. Tesis de Licenciatura Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad de Murcia
- Giovannini, G., Lucchesi, S., (1997). Modifications induced in soil physico-chemical parameters by experimental fires at different intensities. *Soil Science* Vol. 162, (pp. 479–486).
- Granged, A., Zavala, L., Jordán, A., Bárcenas-Moreno, G., (2011). Post-fire evolution of soil properties and vegetation cover in a Mediterranean heathland after experimental burning: A 3-year study. *Geoderma*, Vol.164, (pp. 85–94).
- Gray, D. and Dighton, J. (2009). Nutrient utilization by pine seedlings and soil microbes in oligotrophic pine barrens forest soils subjected to prescribed fire treatment. *Soil Biology and Biochemistry*, Vol.41, (pp 1957-1965).
- Henríquez, C. Uribe, L. Valenciano, A. Nogales, R. (2014). Actividad enzimática del suelo - Deshidrogenasa, - β Glucosidasa, Fosfatasa y Ureasa - bajo diferentes cultivos. *Agronomía Costarricense*. Vol. 38, (pp. 43-54).
- IBM Corp. Publicado en 2016. IBM SPSS Statistics para Windows, versión 24.0. Armonk, Nueva York: IBM Corp.
- IUSS Working Group WRB, (2015). International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Update. *World Soil Resources Report 106* (pp.188)
- Jaramillo D. (2006). Repelencia al agua en suelos. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* Vol. 30, (pp. 215-232).
- Jenkinson, D. and Powlson, D. (1976). The effects of biocidal treatments on metabolism in soil: a method for measuring soil biomass. *Soil biology and Biochemistry*, Vol 8, (pp. 209-213).
- Köppen, W. (1936). Das geographische System der Klimate. *Gebr, Borntraeger*, (pp 1-44).
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., and Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated., Vol. 15, Num, 3, (pp. 259-263).
- Kuhur M., Gartia S., Patel A. (2012). Quantification of the contribution of different soil properties on enzymatic activities in dry tropical ecosystems. *Journal of Agricultural and Biological Sciences*. Vol 7. (pp. 763-773).
- Lloret, F. (2003). Gestión del fuego y conservación en ecosistemas mediterráneos Ecosistemas, vol. 13, núm. 2, (pp, 1-4), *Asociación Española de Ecología Terrestre Alicante*, España.
- Mataix-Solera, J., Arcenegui, V., Guerrero, C., Jordán, M., Dlapa, P., Tessler, N., Wittenberg, L. (2008). Can terra rossa become water repellent by burning? A laboratory approach. *Geoderma* 147: 178-184.
- Mataix-Solera, J., Arellano, E., Jaña, J.E, Olivares, L., Guardiola, J., Arcenegui, V., García-Carmona, M., García-Franco, N., Valenzuela, P. (2021). Soil vulnerability indicators to degradation by wildfires in Torres del Paine National Park (Patagonia, Chile). *Spanish Journal of Soil Science* 11: 10008.

- Mataix-Solera, J., Cerdà, A., Arcenegui, V., Jordán, A., Zavala, M. (2011). Fire effects on soil aggregation: a review. *Earth-Science Reviews* 109: 44-60.
- Mataix-Solera, J. and Doerr, S. (2004). Hydrophobicity and aggregate stability in calcareous topsoils from fire-affected pine forests in southeastern Spain. *Geoderma*. Vol.118, (pp. 77-88).
- Mataix-Solera, J., Guerrero, C., (2007). Efectos de los incendios forestales en las propiedades edáficas. *Incendios forestales, suelos y erosión hídrica. Caja Mediterráneo*, (pp. 196).
- Mataix-Solera, J., Navarro-Pedreño, J., Guerrero, C., Gómez, I., Marco, B., Mataix, J. (2002). Effects of an experimental fire on soil microbial populations in a Mediterranean environment. In: *Man and Soil at the Third Millennium*. Vol II. 1607-1614. J.L. Rubio, R.P.C. Morgan, S. Asins and V. Andreu (eds). Geofoma Ediciones. Logroño. ISBN: 84-87779-47-6
- Mataix-Solera, J., Arcenegui, V., Guerrero, C., Zornoza, R., Mataix-Beneyto, J., García-Orenes, F. (2008). Immediate effects of wildfires on water repellency and aggregate stability in Mediterranean calcareous soils. *Catena* 74, (pp 219-226).
- Nannipieri, P., Ceccanti, B., Cervelli, S. and Matarese, E. (1980). Extraction of phosphatase, urease, proteases, organic carbon, and nitrogen from soil. *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 44, (pp. 1011-1016).
- Pausas, J, Keeley, E. (2009). A burning story: the role of fire in the history of life. *BioScience*, Vol. 59, (pp. 593–601).
- Quiroz, M. (2007). Evaluación de la actividad enzimática y su relación con el C orgánico y la actividad respiratoria microbiana en un andisol con distintas rotaciones. [Trabajo Final de Máster, Universidad de Chile], (pp 1-37).
- Ramos, P. (2010). Protección contra incendios forestales. Prats (Ed.), *Manejo del fuego*. (pp. 198-199).
- Rodríguez-Trejo, D. (2015). Incendios de Vegetación: su ecología, manejo e historia. *Colegio de Posgraduados*. Vol. 2, (pp .814).
- Roldán, A., García-Orenes, F., Lax, A. (1994) An incubation experiment to determine factors involving aggregation changes in an arid soil receiving urban refuse. *Soil Biology and Biochemistry*. Vol. 26, (pp 1699-1707).
- Romanya, J., Khanna, P and Raison, R (1994). Effects of slash burning on soil phosphorus fractions and sorption and desorption of phosphorus. *Forest Ecology and management*, Vol. 65, (pp. 89-103).
- Rothermel, R. (1972). A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. *Intermountain Forest & Range Experiment Station, Forest Service, US Department of Agriculture*. Vol. 115. (pp 40).
- Rozas, R., Echeverría, E., y Angelini, H. (2011). Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de las regiones pampeana y extrapampeana argentina. *Ciencia del suelo*, 29(1), (pp. 29-37).

- Šantrůčková, H., Vrba, J., Pícek, T. and Kopáček, J. (2004). . Soil biochemical activity and phosphorus transformations and losses from acidified forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, Vol.36, (pp. 1569-1576).
- Semarnat (2009). Informe de la situación del medio ambiente en México. Edición 2008. Compendio de estadísticas ambientales. Secretaria del medio ambiente y recursos naturales. México. (pp 358).
- Skujiņš, J. and Burns, RG (1976). Extracellular enzymes in soil. *CRC critical reviews in microbiology*. Vol.4, (pp. 383-421).
- Stotzky G., (1965). Microbial respiration. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*. Vol. 9. (pp 1550-1572).
- Tabatabai, M., (1982). Amidase and urease activities in plants. *Chemical and Microbiological Properties-Agronomy Monography*. Vol. 9, (pp 501-538).
- Tabatabai, M., and Bremner, J. (1969). Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil biology and biochemistry*, 1(4), (pp 1-307).
- Valdés, A., Herranz, J. (1989) Flora y vegetación briofítica de las zonas yesíferas de la provincia de Albacete. *Revista de estudios albacetenses*, Vol.32, (pp. 39-62)
- Vega, J., Cuiñas, P., Fontúrbel, T., Fernández, C. (2000). Planificar la prescripción para reducir combustibles y disminuir el impacto sobre el suelo en las quemas prescritas. *Departamento de Incendios Forestales y Protección Ambiental. Centro de Investigaciones Forestales de Lourizán. Xunta de Galicia. Consellería de Medio Ambiente*, (pp. 189-198).
- Vance, E. Brookes, P., Jenkinson, D. (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass carbon. *Soil Biol Biochem* 19. (pp 703-707).
- Walkley A. and Black I., (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*. Vol.37, (pp. 29-38).
- Wessel, A. (1988). On using the effective contact angle and the water drop penetration time for classification of water repellency in dune soils. *Earth Surface Processes and Landforms*. Vol. 13, (pp. 555-561).
- Zornoza, R., Mataix-Solera, J., Guerrero, C., Arcenegui, V., Mayoral, A., Morales, J., Mataix-Beneyto, J. (2007). Soil properties under natural forest in the Alicante Province of Spain. *Geoderma*, Vol. 142. Tema 3-4. (pp 334-341).