

ESCOLA SUPERIOR D'AGRICULTURA DE BARCELONA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA(UPC)
ENGINYERIA TÈCNICA AGRÍCOLA
ESPECIALITAT EN HORTOFRACTICULTURA I JARDINERIA

TREBALL FINAL DE CARRERA
**CARACTERITZACIÓ DE CROSTES. EVOLUCIÓ DE LA IMPEDÀNCIA
MECÀNICA RESPECTE LA HUMITAT DEL SÒL.**

Gener 2012

Alumnes: Ignasi Corretja March, Carlota Miras de Mena

Tutor: Ramon Josa March

Resum

El treball final de carrera següent pretén analitzar la relació entre la resistència mecànica a la penetració i la humitat del sòl de les crostes generades.

Els sòls al rebre l'impacte de les gotes de pluja i/o per la saturació d'aigua tenen tendència a formar una crosta superficial amb el seu assecament. Aquest procés és degut al col·lapse dels agregats. La formació d'encrostant superficial influeix en gran part en l'emergència de les plantes i la infiltració de l'aigua al sòl per això és interessant analitzar el seu comportament.

Per analitzar la relació entre la resistència mecànica a la penetració i la humitat, s'ha cregut oportú treballar amb dos mètodes diferents de creació de crostes per poder analitzar i comparar els resultats, així com mesures de camp, on la creació de crostes esdevé un fet natural. La creació de crostes a laboratori es durà a terme a partir dels següents mètodes: pasta saturada i ascens capil·lar.

Es treballarà amb mostres de sòl procedents de Viladecans (Agròpolis) i de Caldes de Montbui (Torre Marimon). Les crostes es crearan en anelles de 2,5cm de radi i 1cm d'alçada. Amb l'objectiu d'analitzar la resistència mecànica a la penetració respecte la humitat, es realitzaran diferents lectures des del punt de saturació d'aigua fins al seu assecament. Per a cada punt de lectura es realitzaran 5 rèpliques. La mesura de la resistència mecànica a la penetració s'analitzarà amb el texturòmetre "TAXTplus", amb el penetròmetre de mà per a capes superiors de tipus IB per les mesures realitzades al camp. La humitat es determina sobre pes sec i pesant la mostra després de ser penetrada i on cop assecada durant 24h a 105°C.

Les mesures a camp serviran per tenir una referència de les condicions reals de camp i determinar quin és el mètode més fiable. Respecte a la relació de la impedància mecànica amb la humitat, s'espera obtenir resultats molt baixos en humitats altes on la crosta no estarà formada i resultats més elevats en humitats baixes on la crosta del sòl ja s'haurà format.

Finalment s'analitzarà l'efecte de la qualitat de l'aigua per establir si aquesta pot tenir una influència en la formació de crostes.

Agraïments

Agraïm el suport i la oportunitat que ens ha donat Carme Biel gràcies al projecte “Relaciones ecohidrológicas en interfases agroforestales ¿qué papel tienen en la regulación del agua y del carbono? GRIFO (AGL2010-21012)”

Agraïm també a la Dra. Isabel Achaerandio per haver-nos ensenyat el funcionament del TAXTPLUS, imprescindible pel desenvolupament del treball. Agraïm a la Doctoranda Sheila Benítez totes els moments que ens va dedicar a resoldre els dubtes que teníem amb el TAXTPLUS.

Volem agrair a Miquel Masip per tota la feina que fa a Agròplis, entre altres llocs, gràcies a ella ens va ser possible realitzar bona part de la feina de camp.

En especial, volem agrair el suport donat pel Doctor A.M.C Verdú el principi del treball i el Doctor Ramon Josa per el seu suport, paciència i comprensió durant la realització del treball. Sense ell no hagués estat possible.

Per finalitzar volem agrair el suport, paciència i ànims rebut per part de la família i amics.

Moltes gràcies.

Índex.

Índex de Figures.....	ii
Índex de Taules.....	ii
1. Introducció.....	1
1.1. Estructura del sòl.....	1
1.1.1. Estructura del sòl. Agregats.....	1
1.1.2. Estabilitat estructural.....	1
1.2. Encrostament superficial. Formació de crosta.....	1
1.3. Impedància mecànica del sòl.....	2
1.4. Problemàtica i avantatges.....	2
2. Objectius.....	4
3. Material i mètodes.....	5
3.1. Zona de mostreig i presa de mostres.....	5
3.2. Mostres de sòls.....	7
3.2.1. Textura de les mostres.....	7
3.2.2. Preparació de les mostres de sòl.....	7
3.3. Pla de treball.....	7
3.3.1. Mesures de camp. (Experiment 1: Mesures de camp).....	7
3.3.2. Mesures de laboratori. Utilització de mostres sintètiques. (Experiment 2, mètodes de treball i 3 textura i crostes).....	8
3.3.3. Mesura de l'efecte de la qualitat de l'aigua. (Experiment 4: Efecte de la qualitat de l'aigua).....	9
3.4. Mètodes de preparació de les crostes a laboratori.....	9
3.4.1. Capil·laritat.....	9
3.4.2. Pasta saturada.....	9
3.5. Mètodes de mesura.....	10
3.5.1. Mesura de la impedància mecànica a camp.....	10
3.5.2. Mesura de la humitat a camp.....	11
3.5.3. Mesura de la impedància mecànica a laboratori.....	11
3.5.4. Mesura de la humitat a laboratori.....	12
4. Resultats.....	13
4.1. Experiment 1: Anàlisi de les mesures a camp. ¹	13
4.1.1. Taula de Resultats mitjos de les dades preses el 15/05/11. Humitat del 26,3% (Dada de la sonda FDR instal·lada a 25cm).....	13
4.1.2. Taula de Resultats mitjos de les dades preses el 17/06/11. Humitat del 17% (Dada de la sonda FDR instal·lada a 25cm).....	13
4.1.3. Taula de Resultats mitjos de les dades preses el 20/06/11. Humitat del 12,6% (Dada de la sonda FDR instal·lada a 25cm).....	13
4.1.4. Taula de Resultats mitjos de les dades preses el 22/06/11. Humitat del 11% (Dada de la sonda FDR instal·lada a 25cm).....	14
4.2. Experiment 2: Diferència entre els mètodes de treball. ²	14
4.2.1. Agròpolis-Carretera, Capil·laritat.....	14

4.3.	Experiment 3: Importància de la textura en la formació de crostes.²	14
4.3.1.	Agròpolis-Riera, Pasta saturada, aigua destil·lada.....	14
4.3.2.	Agròpolis-Carretera, Pasta saturada, aigua destil·lada.....	15
4.3.3.	Caldes, Pasta saturada, aigua destil·lada.....	15
4.4.	Experiment 4: Efecte de la qualitat de l'aigua.³	15
4.4.1.	Agròpolis-Riera, Pasta saturada, aigua de la "vall".....	15
4.4.2.	Agròpolis-Carretera, Pasta saturada, aigua de la "vall".....	16
4.4.3.	Caldes, Pasta saturada, aigua de la "vall".....	16
5.	Discussió de resultats i Gràfics	17
5.1.	Experiment 1: Anàlisi de les mesures de camp.	17
5.2.	Experiment 2: Diferència entre els mètodes de treball.	18
5.3.	Experiment 3: Importància de la textura en la formació de crostes. (Pasta Saturada, aigua destil·lada)	20
5.3.1.	Experiment "preliminar": Evolució de la Impedància mecànica de les mostres molt humides un cop observats inicis d'assecamment. Freqüència de mesura: intervals de 10 a 15 minuts.	23
5.4.	Experiment 4: Efecte de la qualitat de l'aigua.....	25
5.4.1.	Agrupació dels valors de la relació IM vs. humitat dels tres tipus de sòl.....	25
5.4.2.	Efecte de la qualitat de l'aigua en mostres de sòl Franco-argilosa (Agròpolis-Riera). 26	
5.4.3.	Efecte de la qualitat de l'aigua en mostres de sòl Franca fina (Carretera).....	28
5.4.4.	Efecte de la qualitat de l'aigua en mostres de sòl Franco-argilo-arenosa(Caldes).	30
6.	Conclusions	32
7.	Bibliografia	34

Índex de Figures

Fig. 1. Mapa situació mostres Agròpolis	5
Fig. 2. Mapa situació mostres Torre Marimon. La zona del requadre correspon a les parcel·les on es realitzen les mesures a camp.	6
Fig. 3. Pastilles de pasta saturada. De esquerra a dreta: Pastilles d'Agròpolis zona riera, Pastilles d'Agròpolis zona carretera i Pastilles de Torre Marimon. S'observa que el color de cada zona es diferent.....	10
Fig. 4. Mesura a camp, penetròmetre demà per a capes superiors tipus IB.	11
Fig. 5. Software Texture Exponent 32 i texturometre TAXTplus.....	11
Fig. 6. Gràfic Comparació mètodes de treball. Capil·laritat-Pasta Saturada.....	18
Fig. 7. Gràfic diferència en la textura valors mitjos.....	20
Fig. 8. Gràfic diferència en la textura dels valors totals de la part d'humitats inferiors al 20%. ..	21
Fig. 9. Gràfic d'evolució de la IM i la humitat durant intervals de 10-15minuts (Riera-Maig).....	23
Fig. 10. Gràfic d'evolució de la IM i la humitat durant intervals de 10-15minuts (Riera-Juny). ..	23
Fig. 11. Gràfic d'evolució de la IM i la humitat durant intervals de 10-15minuts (Carretera-Maig).	24
Fig. 12. Gràfic d'evolució de la IM i la humitat durant intervals de 10-15minuts (Carretera-Juny).	24
Fig. 13. Gràfic de l'efecte del tipus d'aigua. Pasta saturada.	25
Fig. 14. Gràfic de l'efecte del tipus d'aigua, amb mostres Franco-argilosa i pasta saturada.....	26
Fig. 15. Gràfic de l'efecte del tipus d'aigua, amb mostres Franco-argilosa i pasta saturada (Part seca).	26
Fig. 16. Gràfic de l'efecte del tipus d'aigua, amb mostres Franca fina i pasta saturada.....	28
Fig. 17. Gràfic de l'efecte del tipus d'aigua, amb mostres Franca fina i pasta saturada (Part seca)	28
Fig. 18. Gràfic de l'efecte del tipus d'aigua, amb mostres Franco-argilo-arenosa i pasta saturada.	30
Fig. 19. Gràfic de l'efecte del tipus d'aigua, amb mostres Franco-argilo-arenosa i pasta saturada. (Part seca)	30

Índex de Taules

Taula 1. Taula de Conversió del penetròmetre de mà per a capes superiors tipus IB.	10
Taula 2. Taula condicions e treball texturòmetre TAXTplus.	11
Taula 3. Taula de Resultats mitjos de les dades de camp presses el 15/05/11. (A,B,C,D,E,F) valors de 6 zones diferents.	13
Taula 4. Taula de Resultats mitjos de les dades de camp presses el 17/06/11. (A,B,C,D,E,F) valors de 6 zones diferents.	13
Taula 5. Taula de Resultats mitjos de les dades de camp presses el 20/06/11. (A,B,C,D,E,F) valors de 6 zones diferents.	13
Taula 6. Taula de Resultats mitjos de les dades de camp presses el 22/06/11. (A,B,C,D,E,F) valors de 6 zones diferents.....	14
Taula 7. Taula de resultats mitjos de les dades d’Agròpolis Carretera Capil·laritat.....	14
Taula 8. Taula de valors mitjos de les dades d’Agròpolis-Riera Pasta saturada aigua destil·lada.....	14
Taula 9. Taula de valors mitjos de les dades d’Agròpolis-Carretera Pasta saturada aigua destil·lada.....	15
Taula 10. Taula de valors mitjos de les dades de Caldes Pasta saturada aigua destil·lada.....	15
Taula 11. Taula de valors mitjos de les dades d’Agròpolis-Riera Pasta saturada aigua de la “vall”.	15
Taula 12. Taula de valors mitjos de les dades d’Agròpolis-Carretea Pasta saturada aigua de la “vall”	16
Taula 13. Taula de valors mitjos de les dades de Caldes Pasta saturada aigua de la “vall”.	
Taula 14. Taula d’anàlisi de variàncies entre mètodes de treball. ⁴	16
Taula 15. Taula d’anàlisi de variàncies entre textures Franco-argilosa i Franca fina.	19
Taula 16. Taula d’anàlisi de variàncies entre textures Franco-argilosa i Franco-argilo-arenosa.	22
Taula 17. Taula d’anàlisi de variàncies entre textures Franca fina i Franco-argilo-arenosa.....	22
Taula 18. Taula d’anàlisi de variàncies entre mostres tractades amb aigua destil·lada i aigua “vall”. Pasta saturada.	25
Taula 19. Anàlisi variàncies entre mostres tractades amb aigua destil·lada i aigua “vall”. Pasta saturada i mostra Franco-argilosa (Agròpolis-Riera).....	27
Taula 20. Anàlisi variàncies entre mostres tractades amb aigua destil·lada i aigua “vall”. Pasta saturada i mostra Franca fina (Agròpolis –Carretera.).....	29
Taula 21. Anàlisi variàncies entre mostres tractades amb aigua destil·lada i aigua “vall”. Pasta saturada i mostra Franco-argilo-arenosa (Caldes.).....	31

1. Introducció.

1.1. Estructura del sòl.

1.1.1. Estructura del sòl. Agregats.

L'estructura del sòl és el resultat de l'organització espacial de les partícules elementals: sorra, llims i argila, que interaccionen amb la matèria orgànica per formar unitats compostes de diferent mida, anomenats agregats.

Aquests agregats presenten diferent formes: per la seva mida poden ser gruixuts, mitjans o fins; pel seu grau de desenvolupament seran dèbils, moderats o forts (Hillel, 1980).

1.1.2. Estabilitat estructural.

Les característiques més importants de l'estructura del sòl són, a) l'ordenació de les partícules en agregats amb la forma i mida desitjables per proporcionar un nombre adequat de porus grans, amb canals de connexió entre ells; i b) l'estabilitat dels agregats quan es troben exposats a l'aigua.

Els agregats que són estables a l'aigua mantenen la capacitat del sòl per absorbir aigua i l'ajuden a resistir l'erosió. En canvi, els agregats dèbils es descomponen i es dispersen a l'aigua o es destrueixen per l'acció de l'impacte de les gotes de pluja. El llim i l'argila dispersats tendeixen a introduir-se als porus del sòl superficial provocant que s'obturin. Amb aquestes condicions, la permeabilitat a l'aire i a l'aigua baixa dràsticament, augmentant l'escorrentia superficial, que en condicions més favorables s'hauria infiltrat. S'ha d'afegir que el sòl que ha sigut dispersat és arrastrat amb més facilitat per l'aigua que concorre per la superfície.

L'estabilitat dels agregats depèn de la textura del sòl, del tipus d'argila, de la classe de ions associats a l'argila, del tipus i quantitat de matèria orgànica present i de la natura de la població microbiana (Hillel, 1980)

El trencament de l'estructura i la dispersió de les partícules per l'efecte de les gotes d'aigua en un sòl nu és la causa principal del procés de segellat superficial (Morgan, 1997).

Acompanyat d'aquest procés apareix l'encrostament superficial, en general mil·limètric, que resulta del ràpid assecament del sòl humit. Tant el segellat com l'encrostament fan disminuir la porositat i per tant afavoreixen l'escorrentia superficial i indirectament l'erosió.

1.2. Encrostament superficial. Formació de crosta.

L'encrostament superficial del sòl és un procés que comprèn el despreniment, el transport i l'acumulació de partícules fines del sòl per acció de l'aigua de pluja o reg per aspersió, formant capes primes i superficials. Segons Morgan, R. P. C. (1997), les accions mencionades comporten el farciment dels porus i l'assecat del sòl consolidant la crosta.

En condicions climàtiques àrides, molt properes a les mediterrànies, la formació de la crosta superficial ve causada per la dessecació d'una capa fina i superficial de sòl dispers. La formació d'aquesta crosta es diferencia en tres fases: la dispersió, la segregació i la dessecació.

El primer procés, la dispersió, es produeix quan els agregats es comencen a esmicolar. Aquest trencament pot ser produït pel treball excessiu del sòl o bé per l'impacte de les gotes de la pluja. Amb una presència excessiva d'aigua els agregats són molt menys estables que en condicions seques, i per tant, els impactes de les gotes de la pluja, són un procés molt transcendental en la destrucció dels agregats.

Quan els agregats ja han sigut esmicolats, es produeix la segregació o dispersió de les partícules provinents dels agregats. Aquestes noves partícules es disposen de forma més compacte, ocupant porus que abans els ocupaven l'aire o l'aigua. Aquest fet fa augmentar la densitat aparent d'aquesta capa fina superficial.

Tard o d'hora la capa superficial s'acaba assecant per la radiació solar. Quan es produeix aquest assecament, la força mecànica per a penetrar aquesta capa, augmenta considerablement.

1.3. Impedància mecànica del sòl.

Entenem com a impedància mecànica la resistència que ofereix el sòl a ser penetrat. La impedància mecànica està associada a la duresa de la superfície del sòl, per tant, a la forma dels porus, la seva distribució i la mida.

El règim hídric, el desenvolupament d'arrels i l'activitat biològica es poden veure afectats per una disminució de la porositat superficial, per exemple, per formació de crostes degut a l'activitat agrícola que causa un increment en la impedància mecànica i per tant una disminució en algunes funcions importants del sòl com el bescanvi de gasos, l'entrada d'aigua, l'emergència de llavors i el creixement de plantes.

La impedància mecànica indica també les condicions de l'estructura i l'estabilitat del sòl que influeixen en aspectes agronòmics bàsics. La compactació del sòl és generalment deguda a l'ús de maquinària agrícola, així com altres pràctiques que afavoreixen la formació de crostes superficials que incrementen la duresa del sòl i la resistència a la penetració. En zones agrícoles abandonades la impedància mecànica és un bon indicador de les condicions superficials del sòl sotmeses als agents climàtics i altres factors.

1.4. Problemàtica i avantatges.

Segons Montenegro i Castro (1990), la formació de crostes és freqüent en aquells sòls que tenen un baix grau d'estructuració i una baixa estabilitat estructural. Les crostes limiten l'emergència de plàntules, augmenten l'escolament superficial i redueixen l'intercanvi de gasos al sòl.

S'ha d'esmentar que en sòls on hi ha molta presència d'argila o amb molts col·loides orgànics, i quan la capa superficial comença a assecar-se, es produeix una contracció d'aquesta capa produint que s'esquerdi. En canvi, en sòls sorrencs, aquestes esquerdes no s'arriben a produir. En comparació, les crostes en sòls argilosos o amb un alt contingut de col·loides orgànics són menys impermeables que els sòls sorrencs.

La presència de crosta superficial pot ser un gran problema per l'emergència de les plàntules del cultiu en qüestió. Però aquesta dificultat és més accentuada en cultius de gramínies, ja que no tenen prou força mecànica per trencar o aixecar la crosta, en canvi en les lleguminoses, i sobretot, de gra gros, no tenen tants problemes com les gramínies.

La presència de crostes seques redueix l'evaporació de l'aigua present al sòl. Aquest fet és més notable si aquesta capa és arenosa, porosa i sense presència d'esquerdes. A més a més la crosta sol ser d'un color més clar que la resta del sòl, aquesta qualitat fa que la irradiació solar es reflecteixi més, fet que ajuda a que el sòl s'escalfi menys i s'assequi menys. Alguns estudis, també revelen que la crosta pot ajudar amb l'erosió produïda pel vent (Besnier, 1973).

Tot i així la presència de crostes al sòl pot endarrerir el desenvolupament del cultiu, dificultar la infiltració de l'aigua i accelerar l'erosió produïda per l'aigua.

2. Objectius

L'objectiu del projecte és relacionar la impedància mecànica del sòl respecte la humitat en crostes generades al laboratori, així com trobar un mètode de treball a laboratori que s'aproximi als valors obtinguts a camp.

Per aconseguir l'objectiu s'estableix diferents objectius secundaris:

1. Conèixer mesures de la impedància mecànica i la humitat a camp
2. Avaluar els diferents mètodes de treball, capil·laritat i pasta saturada, realitzant les mesures de impedància mecànica i humitat pertinents.
3. Analitzar la relació de la impedància mecànica del sòl respecte la humitat en les diferents mostres. Així com determinar si tenen un comportament diferent en funció de la textura del sòl.
4. Valorar si la qualitat de l'aigua del sòl afecta els valors d'impedància mecànica i/o té una influència en la formació de la crosta.

3. Material i mètodes

3.1. Zona de mostreig i presa de mostres.

Es treballarà amb mostres de sòl procedents de Viladecans (Agròpolis) i de Caldes de Montbui (Torre Marimon). En tots dos casos s'ha observat una tendència natural a la formació d'encrostaments superficials relacionats amb episodis de pluja.

Agròpolis correspon al camp experimental de l'Escola Superior d'Agricultura de Barcelona (ESAB) ubicat dins el Parc Agrari del Baix Llobregat al municipi de Viladecans(Baix Llobregat, Barcelona). Les seves coordenades UTM (quadricula 31T) són: X=420058,76 m, Y=451279,48 m.

Torre Marimon correspon a un dels centres de l'IRTA (Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentària) situat al municipi de Caldes de Montbui (Vallès Oriental, Barcelona). Les seves coordenades UTM(quadricula 31T) són: X=430951,87 m Y=4606744,35 m.

Pel que fa a les mostres procedents del camp d'Agròpolis es treballarà amb dues zones de mostreig, on el nivell freàtic està a diferent fondària i el risc d'inundació és diferent . La primera , "zona riera" pròxima a la Riera de St. Climent, s'estima que el nivell freàtic és més superficial i és més inundable. La segona, "zona carretera" pròxima a la Carretera de les Filipines, on s'estima que el nivell freàtic és menys superficial. En tot cas i per les dues mostres el nivell freàtic es pot situar bona part de l'any a uns 0,8 m de fondària.



Fig. 1. Mapa situació mostres Agròpolis

Les mostres de Torre Marimon s'obtidran d'una parcel·la experimental on hi ha una plantació de cireres per ús ornamental. En aquest cas s'ha establert un total de 12 parcel·les experimentals que es subdivideixen pels tractaments realitzats; reg o no reg, sense llaurar o llaurat. Les mostres s'obtidran del "camí", les mesures a camp realitzades a Torre Marimon es faran d'aquelles parcel·les que no tenen cap tractament(no reg i no llaurat).

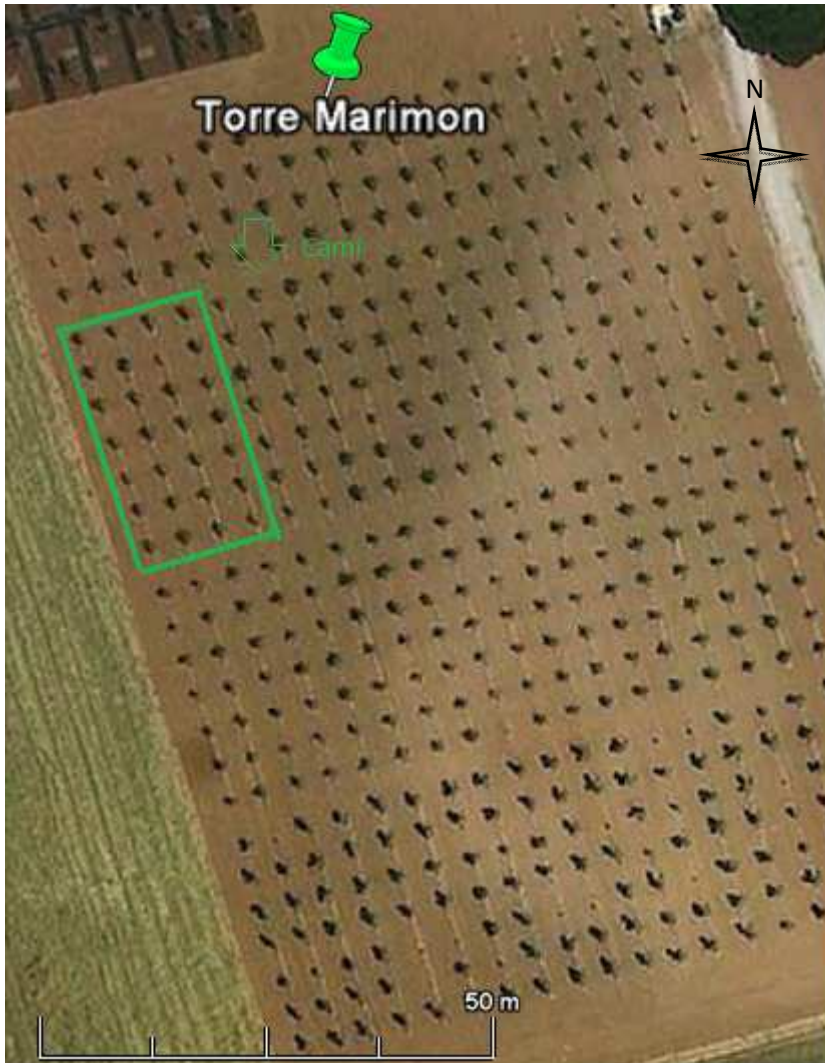


Fig. 2. Mapa situació mostres Torre Marimon. La zona del requadre correspon a les parcel·les on es realitzen les mesures a camp.

En tots els casos la presa de mostra es durà a terme en els primers 10cm de sòl.

3.2. Mostres de sòls.

3.2.1. Textura de les mostres

A) Agròpolis "zona riera."

La seva textura és Franc-argilosa per les següents característiques:

Arena grossa	2,04%	Carbonats	20,47%
Arena fina	38,33%	CE a 25°C(ext. 1:5)	0,785dSm ⁻¹
Llim gros	3,24%	MO	2,33%
Llim fi	29,16%		
Argila	27,23%		

B) Agròpolis "zona carretera."

La seva textura és Franca fina per les següents característiques:

Arena grossa	3,43%	Carbonats	19,48%
Arena fina	39,36%	CE a 25°C(ext. 1:5)	0,213dSm ⁻¹
Llim gros	5,99%	MO	3,75%
Llim fi	27,36%		
Argila	23,26%		

C) Caldes

La seva textura és Franco-argilo-arenosa per les següents característiques:

Arena	47,80%	Carbonats	2%
Llim gros	10,40%	CE a 25°C(ext. 1:5)	0,32dSm ⁻¹
Llim fi	14,8%	MO	2,15%
Argila	27%		

3.2.2. Preparació de les mostres de sòl.

Una vegada han arribat les mostres al laboratori de l'ESAB s'estenen en safates deixant un paper entre la safata i la mostra per tal que s'assequin a l'aire durant 5-7 dies en funció de les condicions climàtiques. Un cop assecades es preparen per tal de separar la terra fina de les graves a través d'un sedàs de 2 mm de llum. Un cop tamisades es quarteja la mostra per tal de formar una sola mostra homogènia i es passa la mostra per l'homogeneïtzador. Es realitza el mateix procés per totes les zones de mostreig.

3.3. Pla de treball

3.3.1. Mesures de camp. (Experiment 1: Mesures de camp).

En les mesures a camp on la generació de crostes en el sòl esdevé un fet natural per tal d'analitzar la relació entre la resistència mecànica a la penetració i l'evolució de la humitat es va procedir seguint dues etapes:

A) Mesures de la evolució temporal de la impedància mecànica al camp

Es realitzen diferents mesures en el temps tenint en compte els episodis de pluja, i el posterior assecament del sòl. Es busca tenir mesures al moment on la humitat del sòl sigui diferent i per tant la formació de la crosta estigui en diferents estats.

Les mesures a camp es realitzen a Torre Marimon, d'aquelles parcel·les que no tenen cap tractament(no reg i no llaurat),figura 2, es prendran mesures en 6 zones diferents (A, B, C, D, E, F).

B) Mesura de la humitat de les mostres i forma d'expressar el contingut d'aigua (vol/vol)

La mesura de la humitat en les mostres de camp es va dur a terme per dues metodologies. Mitjançant la relació pes d'aigua/pes sòl sec o a partir de sondes FDR de humitat col·locades a camp(en aquest cas les dades han estat cedides per l'IRTA).

3.3.2. Mesures de laboratori. Utilització de mostres sintètiques. (Experiment 2, mètodes de treball i 3 textura i crostes)

Per tal d'analitzar la relació entre la resistència mecànica a la penetració i el contingut d'humitat es va procedir seguint tres etapes consecutives:

A) Síntesi de les crostes: Es va creure oportú treballar amb dos mètodes diferents de fabricació de crostes per tal de poder analitzar i comparar els resultats. La fabricació de crostes a laboratori es durà a terme a partir dels següents mètodes: i) pasta saturada, ii) ascens capil·lar. (Experiment 2: Diferència entre els mètodes de treball).

Es procedeix a realitzar la síntesi de crostes amb tres mostres de sòl amb textures diferents: Franco-argilosa, Franca fina i Franco-argilo-arenosa. (Experiment 3: Importància de la textura en la formació de crostes).

Es preparen 5 pastilles homogènies i compactes de 2.5 cm de radi i 1 cm d'alçada per cada punt d'humitat. El procés de preparació es detalla en el punt 4 d'aquest apartat.

B) Mesures de la evolució temporal de la impedància mecànica al laboratori: Es realitzaran diferents estats d'humitat des de el punt de saturació fins el seu assecat a l'aire. Per facilitar la planificació del treball es van establir diferents moments de lectura respecte el temps: Inicial, al cap de 12h de tenir les mostres sintètiques saturades , el cap de 24h, 36h, 48h i 4dies. El punt de 4 dies es va seleccionar al veure que era quan la mostra estava seca a l'aire. Posteriorment es van augmentar el nombre de punts de lectures per tal de poder cobrir els valors d'humitat intermedis.

Aquests temps d'assecat depèn de les condicions climàtiques concretes de la època de l'any quan es preparen les mostres. Posteriorment es va mesurar la impedància mecànica de les mostres a cada estat de humitat

C) Mesura de la humitat de les mostres i forma d'expressar el contingut d'aigua (pes/pes)

La mesura de la humitat en les mostres sintètiques es va dur a terme sobre el pes sec, just en el moment immediatament després de fer les mesures de impedància mecànica.

3.3.3. Mesura de l'efecte de la qualitat de l'aigua. (Experiment 4: Efecte de la qualitat de l'aigua)

Amb el mateix procés de síntesi que es segueix al punt 3.2, s'avaluarà l'efecte de la qualitat de l'aigua. S'obté l'aigua d'una "vall" que hi ha al límit de la parcel·la d'Agròpolis. Aquesta aigua es pot assimilar a l'aigua procedent del freàtic.

Per tal de poder procedir a la utilització de l'aigua de la "vall", cal realitzar una filtració prèvia, per eliminar les restes de matèria orgànica flotant .

La mesura de la CE es va realitzar amb el conductímetre Microm 2201 (Crison) amb correcció automàtica de la CE en funció de la temperatura. La seva CE és de: $1455.74 \mu\text{Scm}^{-1}$ a 25°C .

3.4. Mètodes de preparació de les crostes a laboratori.

3.4.1. Capil·laritat.

Per a la preparació de les crostes a partir del mètode de la capil·laritat, en primer lloc en una safata fonda, de $53.5\text{cm} \times 38\text{cm} \times 8.5\text{cm}$, es col·loca un paper de filtre al fons i es distribueixen les anelles. Seguidament s'omplen les anelles amb la mostra de sòl sec procurant que quedin del tot plenes i la part superior plana. Un cop tenim les anelles plenes es va afegint a poc a poc aigua destil·lada per sobre el paper de filtre, per tal que el sòl absorbeixi l'aigua per capil·laritat, anem afegint aigua fins que el sòl quedi del tot saturat. Cal procura que l'aigua es distribueixi homogèniament per la safata i no es creïn acumulacions d'aigua. Un cop les mostres sintètiques s'hagin assecat (al cap d'aproximadament 3-4 dies) caldrà torna afegir aigua destil·lada. Es repetirà el procés d'afegir aigua uns tres cops , ja que és el procés de rehumectació el que desestructura el sòl procedint així a la formació de la crosta.

3.4.2. Pasta saturada.

Per preparar la pasta saturada es posa un pes de mostra seca i tamisada (dependrà de la quantitat d'anelles a preparar) en un vas de precipitats de 600 ml i se li va afegint aigua destil·lada fins assolir el punt de saturació. Cal anar agitant amb una espàtula. De tant en tant la mostra s'ha de consolidar colpejant el recipient amb cura sobre la taula de treball. El punt de saturació s'assoleix quan tots els porus estan plens d'aigua i no hi ha excés d'aigua, podem observar que tindrem una pasta fluida i homogènia. La pasta saturada brilla per la reflexió de la llum, flueix lleugerament si s'inclina el recipient i llisca fàcilment de l'espàtula, excepte en el cas de sòls amb alt contingut d'argiles. La pasta no ha de acumular aigua en la seva superfície, perdre lluentor o endurir-se. Si ha perdut lluentor o s'ha endurit, cal afegir aigua destil·lada i barrejar novament. Si la pasta té massa aigua s'afegeix sòl sec en la quantitat mínima necessària (Sadzawka, 1990).

Un cop tenim preparada la pasta saturada, en una safata ruixada amb lubricant. ("Tres en uno", ruixa amb lubricant per tal d'evitar que el sòl s'hi adhereixi a la safata) es distribueixen les anelles i s'omplen amb una espàtula amb la pasta procurant que quedi totalment plena, uniformement distribuïda i amb la part superior plana.



Fig. 3. Pastilles de pasta saturada. De esquerra a dreta: Pastilles d'Agròpolis zona riera, Pastilles d'Agròpolis zona carretera i Pastilles de Torre Marimon. S'observa que el color de cada zona es diferent.

3.5. Mètodes de mesura

3.5.1. Mesura de la impedància mecànica a camp.

La lectura de la impedància mecànica (IM) per a les crostes a camp es va determinar amb el penetròmetre de mà per capes superiors tipus IB. Fabricant: EIJKELKAMP. El rang de treball del aparell són 10cm. La força mínima que assoleix son: $1\text{N}\cdot\text{cm}^{-2}$ i la màxima $600\text{N}\cdot\text{cm}^{-2}$.

El penetròmetre de mà per capes superiors tipus IB ens permet utilitzar dues puntes còniques de diferents àrea, de $0,25\text{cm}^2$ i $0,5\text{cm}^2$, així com tres molles de compressió diferents de 50N, 100N i 150N. Per a les lectures que hem realitzat a camp la punta i la molla que fem servir dependrà de la IM del sòl en cada moment (grau de sequedat del sòl) i per tant aquell que s'adapti millor a les corresponents mesures. Quan més sec estigui el sòl major serà la força necessària per comprimir la molla. Per realitzar les mesures a l'atzar en cada zona es llença un metre d'un metro de llargada i allà on cau es fa la mesura de la IM cada 10cm seguint la línia imaginària del metre. La lectura serà en cm i caldrà utilitzar un factor de conversió, indicat en el manual del aparell, per obtenir la resistència amb $1\text{N}\cdot\text{cm}^{-2}$.

$$\text{Resistència (N}\cdot\text{cm}^{-2}) = \frac{\text{Total força (pressió cm)} \times \text{Compressió de la molla (N}\cdot\text{cm}^{-1})}{\text{Àrea del Con (cm}^2)}$$

$$\text{Factor constant} = \frac{\text{Compressió de la molla (N}\cdot\text{cm}^{-1})}{\text{Àrea del Con (cm}^2)}$$

Taula Conversió		
	Àrea del Con	
Força de la molla	0,25cm²	0,50cm²
50N	20	10
100N	40	20
150N	60	30

Taula 1. Taula de Conversió del penetròmetre de mà per a capes superiors tipus IB.

$$\text{Resistència (N}\cdot\text{cm}^{-2}) = \text{Total força (pressió cm)} \times \text{Factor constant}$$



Fig. 4. Mesura a camp, penetròmetre demà per a capes superiors tipus IB.

Les mesures a camp només es van realitzar en les parcel·les de Torre Marimon.

3.5.2. Mesura de la humitat a camp.

La determinació de la humitat a camp es realitza amb unes sondes FDR instal·lades a les parcel·les experimentals de Torre Marimon. Les dades s'obtenen cada quart d'hora. El procés de les dades és realitza a partir d'una fulla excel. Per el nostre projecte tan sols ens interessa les dades d'humitat de la sonda ubicada en la parcel·la que no és rega ni rep cap tractament, ja que és allà on em realitzat les mesures de la IM, a 25cm. Les dades son facilitades per l'IRTA.

3.5.3. Mesura de la impedància mecànica a laboratori.

La lectura de la IM de les crostes a laboratori es va realitzar amb el texturòmetre TAXTplus de la marca Stable Micro Systems. El softwar emprat per processar les dades que s'obtenen amb el texturòmetre TAXT plus és el Texture Exponent 32.

L'aparell consisteix en un braç mecànic programable a diferents velocitats i distàncies, equipat amb diferents sondes per tal de mesurar diferents propietats mecàniques. La força màxima que pot exercir l'aparell és de 30kg.

En el nostre cas per tal de mesurar la IM fem servir la sonda P4. De forma cilíndrica d'acer inoxidable i amb diàmetre de 4mm.

Les condicions de treball és presenten en la taula següent:

Mode d'assaig	Compressió
Velocitat P-E (preassaig)	1,5m/s
Velocitat E	1m/s
Aplicar distancia	6mm
Força activació	0,049033N
Mode ruptura	Off
Parar Dibuix	Posició d'inici
Mode Terra	Auto



Taula 2. Taula condicions e treball texturòmetre TAXTplus.

Fig. 5. Software Texture Exponent 32 i texturòmetre TAXTplus.

3.5.4. Mesura de la humitat a laboratori

La determinació de la humitat en les crostes de laboratori es dur a terme a partir de la relació (Pes humit-Pes sec a 105°C)/Pes sec a 105°C. El pes humit es determina immediatament després de haver mesurat la impedància mecànica. La crosta s'ha asseca a 105°C a pes constant (24h) a l'estufa i es pesa per tal de determinar-ne el pes sec.

Cal destacar que per tal que la mostra no perdi humitat un cop mesura la IM es tanca en una capsula prèviament pesada amb la balança granetari Cobos de precisió C-600CS (Max=610g d=0.01g) . Immediatament es pesa la mostra humida, amb la mateixa balança, i amb la capsula destapada és fica 24h a l'estufa P-Selecta Digitronic a 105°C. Un cop passades les 24h es treu de l'estufa, és tanca la capsula i es fica el dessecador per realitzar la mesura del pes sec.

Tan el pes humit com el pes sec a 105°C s'obtindran de la diferència del pes mostra+capsula i pes capsula.

4. Resultats.

4.1. Experiment 1: Anàlisi de les mesures a camp.¹

4.1.1. Taula de Resultats mitjos de les dades preses el 15/05/11. Humitat del 26,3% (Dada de la sonda FDR instal·lada a 25cm).

	Resistència del con mitja Ncm ⁻²	N repliques	Impedància mecànica mitja kPa	Desviació típica (S) IM
A	6,73	11	67,27	89,90
B	36,55	11	365,45	395,08
C	21,73	11	217,27	239,88
D	3,36	11	33,64	57,84
E	76,73	11	767,27	258,77
F	51,09	11	510,91	304,42

Taula 3. Taula de Resultats mitjos de les dades de camp preses el 15/05/11. (A,B,C,D,E,F) valors de 6 zones diferents.

4.1.2. Taula de Resultats mitjos de les dades preses el 17/06/11. Humitat del 17% (Dada de la sonda FDR instal·lada a 25cm).

	Resistència del con mitja Ncm ⁻²	N repliques	Impedància mecànica mitja kPa	Desviació típica (S) IM
A	1,73	11	17,27	30,36
B	33,64	11	336,36	301,97
C	45,82	11	458,18	397,54
D	70,64	11	706,36	241,34
E	52,18	11	521,82	338,17
F	37,82	11	378,18	492,70

Taula 4. Taula de Resultats mitjos de les dades de camp preses el 17/06/11. (A,B,C,D,E,F) valors de 6 zones diferents.

4.1.3. Taula de Resultats mitjos de les dades preses el 20/06/11. Humitat del 12,6% (Dada de la sonda FDR instal·lada a 25cm).

	Resistència del con mitja Ncm ⁻²	N repliques	Impedància mecànica mitja kPa	Desviació típica (S) IM
A	41,91	11	419,09	568,23
B	65,00	11	650,00	318,47
C	60,91	11	609,09	436,47
D	66,18	11	661,82	598,29
E	51,45	11	514,55	540,38
F	20,55	11	205,45	123,64

Taula 5. Taula de Resultats mitjos de les dades de camp preses el 20/06/11. (A,B,C,D,E,F) valors de 6 zones diferents.

¹Els valors de les mesures d'IM a camp totals es troben en el Annex 1.

4.1.4. Taula de Resultats mitjos de les dades preses el 22/06/11. Humitat del 11% (Dada de la sonda FDR instal·lada a 25cm)

	Resistència del con mitja Ncm ⁻²	N repliques	Impedància mecànica mitja kPa	Desviació típica (S) IM
A	76,55	11	765,45	953,40
B	106,18	11	1061,82	784,32
C	184,73	11	1847,27	1278,60
D	146,18	11	1461,82	678,20
E	77,45	11	774,55	510,14
F	81,82	11	818,18	495,54

Taula 6. Taula de Resultats mitjos de les dades de camp preses el 22/06/11. (A,B,C,D,E,F) valors de 6 zones diferents.

4.2. Experiment 2: Diferència entre els mètodes de treball.²

4.2.1. Agròpolis-Carretera, Capil·laritat.

Temps d'assecat h	Humitat mitja (pes/pes) %	N repliques	Desviació típica(S)humitat	Força mitja N	Impedància mecànica mitja kPa	Desviació típica (S) IM
0	47,41	5	0,02	0,29	22,79	2,28
12	27,01	5	0,01	2,86	227,83	21,47
24	28,10	5	0,00	2,03	161,88	22,17
30	24,97	5	0,00	3,20	254,50	40,08
35	20,21	5	0,01	6,19	492,42	87,54
48	9,76	5	0,01	15,79	1256,20	224,92

Taula 7. Taula de resultats mitjos de les dades d'Agròpolis Carretera Capil·laritat.

Les dades del mètode de pasta saturada es presenten en el experiment 3, taula 9.

4.3. Experiment 3: Importància de la textura en la formació de crostes.²

4.3.1. Agròpolis-Riera, Pasta saturada, aigua destil·lada.

Temps d'assecat h	Humitat mitja (pes/pes) %	N repliques	Desviació típica(S)humitat	Força mitja N	Impedància mecànica mitja kPa	Desviació típica (S) IM
0	39,08	5	0,00	0,27	21,63	358,14
11	31,93	5	0,01	1,24	98,71	10,38
24	20,99	5	0,02	21,54	1714,48	553,39
29	26,58	5	0,01	4,42	351,53	70,40
34	22,70	5	0,02	14,18	1128,42	585,31
40	25,33	5	0,01	6,19	492,66	183,36
48	7,53	5	0,02	110,25	8773,13	3125,66
72	11,39	12	0,02	51,05	4062,81	10,47
96	2,78	5	0,00	133,08	10590,20	2156,05

Taula 8. Taula de valors mitjos de les dades d'Agròpolis-Riera Pasta saturada aigua destil·lada.

²Els valors totals del experiment 2 i 3 es troben en el Annex 2.

4.3.2. Agròpolis-Carretera, Pasta saturada, aigua destil·lada.

Temps d'assecat h	Humitat mitja (pes/pes) %	N repliques	Desviació típica(S)humitat	Força mitja N	Impedància mecànica mitja kPa	Desviació típica (S) IM
0	42,61	5	0,02	0,39	30,86	6,37
11	36,96	5	0,01	1,16	92,66	3,57
24	24,96	5	0,01	12,94	1029,41	273,45
29	21,96	5	0,00	17,75	1412,74	129,98
34	19,26	5	0,01	19,69	1566,75	779,03
40	24,34	5	0,02	14,00	1114,31	263,60
48	8,64	5	0,02	75,10	5975,92	1434,63
72	9,51	12	0,02	44,95	3576,83	6,33
96	2,90	5	0,00	132,31	10528,88	960,70

Taula 9. Taula de valors mitjos de les dades d'Agròpolis-Carretera Pasta saturada aigua destil·lada.

4.3.3. Caldes, Pasta saturada, aigua destil·lada.

Temps d'assecat h	Humitat mitja (pes/pes) %	N repliques	Desviació típica(S)humitat	Força mitja N	Impedància mecànica mitja kPa	Desviació típica (S) IM
0	39,25	6	0,00	0,06	5,10	0,48
24	25,46	5	0,01	1,11	88,20	13,16
36	13,75	8	0,01	43,16	3434,45	1311,52
48	14,18	5	0,01	37,56	2989,04	820,86
72	4,81	5	0,00	142,73	11358,08	3128,59

Taula 10. Taula de valors mitjos de les dades de Caldes Pasta saturada aigua destil·lada.

4.4. Experiment 4: Efecte de la qualitat de l'aigua.³

4.4.1. Agròpolis-Riera, Pasta saturada, aigua de la "vall".

Temps d'assecat h	Humitat mitja (pes/pes) %	N repliques	Desviació típica(S)humitat	Força mitja N	Impedància mecànica mitja kPa	Desviació típica (S) IM
12	36,70	5	0,01	0,35	27,87	5,21
24	25,45	5	0,02	5,72	454,90	166,07
36	17,44	5	0,01	28,99	2306,76	136,92
48	11,56	5	0,01	44,71	3557,75	638,65
72	3,32	5	0,00	50,97	4056,20	919,70
96	2,46	5	0,00	108,99	8673,02	2201,33

Taula 11. Taula de valors mitjos de les dades d'Agròpolis-Riera Pasta saturada aigua de la "vall".

³Els valors totals del experiment 4 es troben en el Annex 2.

4.4.2. Agròpolis-Carretera, Pasta saturada, aigua de la “vall”.

Temps d'assecat h	Humitat mitja (pes/pes) %	N repliques	Desviació típica(S)humitat	Força mitja N	Impedància mecànica mitja kPa	Desviació típica (S) IM
12	34,46	5	0,01	1,16	92,37	9,08
24	33,58	5	0,02	1,09	86,52	32,19
36	17,47	5	0,01	24,17	1923,32	185,80
48	19,42	5	0,01	21,65	1723,19	364,38
72	8,49	5	0,01	57,31	4560,43	796,82
96	2,57	5	0,00	100,82	8022,79	1143,16

Taula 12. Taula de valors mitjos de les dades d'Agròpolis-Carretera Pasta saturada aigua de la “vall”.

4.4.3. Caldes, Pasta saturada, aigua de la “vall”.

Temps d'assecat h	Humitat mitja (pes/pes) %	N repliques	Desviació típica(S)humitat	Força mitja N	Impedància mecànica mitja kPa	Desviació típica (S) IM
12	30,46	5	0,01	0,44	35,18	8,56
24	27,39	5	0,01	0,82	65,32	17,99
36	14,25	5	0,01	28,85	2296,21	631,93
48	11,82	5	0,01	47,31	3764,60	728,94
72	4,87	5	0,00	133,70	10639,17	5291,36
96	3,29	5	0,00	152,41	12128,14	2655,31

Taula 13. Taula de valors mitjos de les dades de Caldes Pasta saturada aigua de la “vall”.

5. Discussió de resultats i Gràfics

5.1. Experiment 1: Anàlisi de les mesures de camp.

Els valors d'impedància mecànica mitjos oscil·len entre 17,27kPa a 1847,27kPa, els valors absoluts es troben entre 0kPa a 3960kPa, un gran rang comparat amb els valors mitjos degut a l'alta variabilitat. Si mirem les taules de resultats més detalladament podem observar que tal com és d'esperar a menor humitat del sòl major resistència ofereix.

- Els valors d'impedància mecànica el dia 15 de maig, taula 3, on la humitat del sòl era d'un 26,3%, són molt variables en la zona D trobem el valor més baix de 33,64kPa i en la zona E de 767,27kPa. La desviació típica en tots els casos és molt elevada, si observem els resultats parcials a l'annex 1 podem observar que això és degut que en una mateixa zona trobem valors de 0 Ncm^{-2} i un valor de 136 Ncm^{-2} . Aquest últim valor que coincideix amb el més elevat d'aquell dia és un valor excepcional en general oscil·len entre $20\text{-}50 \text{ Ncm}^{-2}$.
- Els valors d'impedància mecànica el dia 17 de juny, taula 4, on la humitat del sòl era d'un 17,2%-17%, també són molt variables en la zona A trobem el valor més baix de 17,27kPa que és fins i tot més baix que el valor mínim i del valor de la zona A del dia on la humitat era més elevada d'un 23,6%. Aquest valor és molt baix ja que a la zona on es van prendre les mesures trobàvem força vegetació i molts dels valors són 0 Ncm^{-2} . En els altres punts els valors oscil·len entre 336,36kPa i 706,36kPa amb unes desviacions molt elevades degut a la diferència de valors en una mateixa zona. Encara que els valors d'impedància mecànica on la humitat era de 17% trobem el valor mínim més baix de valors mitjos i valors de 0kPa que on la humitat era de 26,3%, observem que la tendència és que els valors de la impedància mecànica vagin en augment a mesura que el sòl es troba més sec.
- El dia 20 de juny, taula 5, on la humitat del sòl era de 12,6%-12,5% els valors d'impedància mecànica oscil·len entre un 205,45kPa a uns 661,82kPa, els valors són una mica menys variables però la desviació típica en tots els casos també és molt elevada, si observem els valors parcials podem observar la diferència entre les mesures preses. Observem que els valors tendeixen a ser més elevats en general encara que el màxim sigui més baix que en el punt on la humitat és 17%. En aquest cas no trobem pràcticament valors nuls d'impedància mecànica.
- La impedància mecànica del dia 22 de juny, taula 6, on la humitat del sòl era de 11% els valors oscil·len entre 774,55kPa-1847,27kPa, cal destacar que són valors molt més elevats que els altres dies ja que la humitat és més baixa. La desviació típica en tots els casos també és molt elevada. Ressaltar que trobem un valor de 0 Ncm^{-2} , el més baix, excepte d'aquesta excepció, és de 8 Ncm^{-2} i en general oscil·len entre 80 i 200 Ncm^{-2} , sent el valor més alt de 388 Ncm^{-2} .

La tendència general és que els valors d'impedància mecànica siguin més elevats quan la humitat és més baixa i la crosta està més seca.

La desviació és molt elevada degut la variabilitat de la coberta vegetal. Durant el procés experimental observem que la diferència pot venir per si hi ha presència o no de vegetació en el lloc on es punxa que aleshores la impedància és més baixa o nul·la. També cal destacar que si el sòl està esquerdat els valors d'impedància varien, tal i com diu Besnier, 1973.

5.2. Experiment 2: Diferència entre els mètodes de treball.

Respecte a l'aspecte a l'hora de realitzar el procés de creació de crostes amb el mètode de capil·laritat, hem pogut observar un comportament diferent amb el mètode de pasta saturada. Les pastilles no tenien un grau de sequedat uniforme adoptant una forma descompactada i poc estable.

Quan es van realitzar les mesures d'impedància mecànica vam poder corroborar que no s'havia format crosta, s'havien obtingut valors inferiors a 1569,86 kPa, que correspon al valor màxim, a una humitat del 10%. Cal fer referència que el valor de 2000 kPa es pren com a llindar, ja que a partir d'aquest valor la crosta ofereix una resistència suficient a no ser penetrada per qualsevol cultiu agrícola. Segons Ramírez et al.(2006).

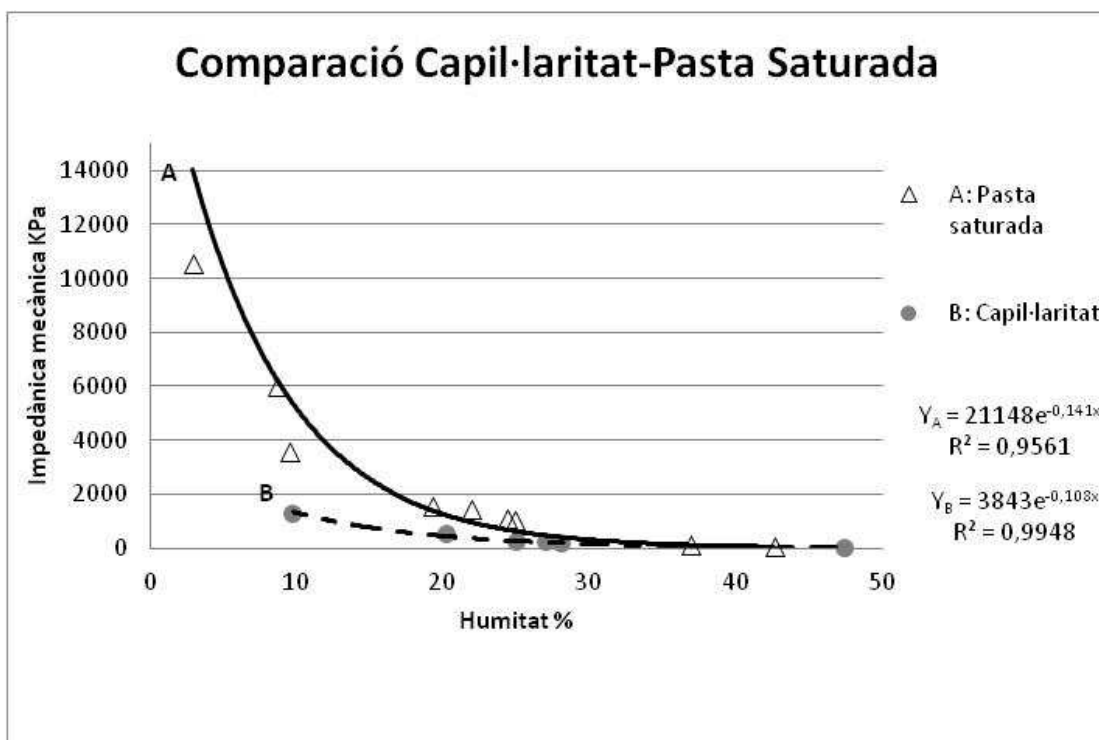




Fig. 6. Gràfic Comparació mètodes de treball. Capil·laritat-Pasta Saturada.

Significativament diferents. 
 No presenten diferència. 

	F	Probabilitat	Valor crític F	Hipòtesi
0h	0,97849953	0,33729388	4,49399842	F<VC; P>0.05
12h	164,43131	7,8236E-10	4,49399842	F>VC; P<0.05
24h	49,6370221	2,7673E-06	4,49399842	F>VC; P<0.05
30h	360,686194	2,1212E-12	4,49399842	F>VC; P<0.05
36h	9,37389009	0,00745443	4,49399842	F>VC; P<0.05
48h	52,7922176	1,8887E-06	4,49399842	F>VC; P<0.05

Taula 14. Taula d'anàlisi de variàncies entre mètodes de treball.⁴

Si es comparen els valors obtinguts pel el mètode de capil·laritat amb els valors obtinguts a partir del mètode de pasta saturada, aquells són molt inferiors, ja que en el mètode de pasta saturada en humitats del 10% hi hem trobat valors d'impedància mecànica de l'ordre de 6000 kPa, valors molt allunyats als valors obtinguts pel mètode per capil·laritat. En canvi comparat amb els valors obtinguts a camp, aquests són lleugerament més elevats.

Observant els valors de l'anàlisi de variàncies, presents a la taula 14, direm que el mètode de pasta saturada i el mètode de capil·laritat són significativament diferents entre sí, ja que el valor crític F és major a la F i la probabilitat és inferior a 0,05 en tots els casos exceptuant l'inicial.

⁴En l'Annex 4 trobem l'anàlisi de variància detallat.

5.3. Experiment 3: Importància de la textura en la formació de crostes. (Pasta Saturada, aigua destil·lada)

Els valors de impedància mecànica obtinguts amb el mètode de pasta saturada oscil·len entre 5,10kPa i 11358,08kPa. Els valors en humitats altes, superiors a un 20%, són molt baixos i poc interessants oscil·len entre 5,10kPa i 1714,48kPa. A partir d'humitats inferiors a un 20% els valors augmenten exponencialment, el rang de valors és molt gran de 1566,75kPa fins a 11358,08kPa, i obtenim valors pròxims i més elevats de 2000kPa valor llindar, esmentat anteriorment, de referència a partir del qual la crosta ofereix resistència.

Si observem les taules 8, 9 i 10 podem veure com la humitat presenta una desviació típica molt baixa i pràcticament nul·la fet que demostra que les rèpliques de les lectures preses es mantenen en un mateix rang d'estat d'humitat. En canvi la impedància mecànica mostra una desviació típica molt elevada sobretot en la part més seca. Aquest fet ens fa pensar que la impedància mecànica no estableix una relació directe, en la part més seca de la gràfica IM vs. humitat, amb la humitat i que hi ha altres factors a tenir en compte que influeixen en el seu comportament.

Per una millor comprensió dels resultats anteriors es va fer el experiment anomenat "preliminar". (Trobem la discussió al final d'aquest apartat)

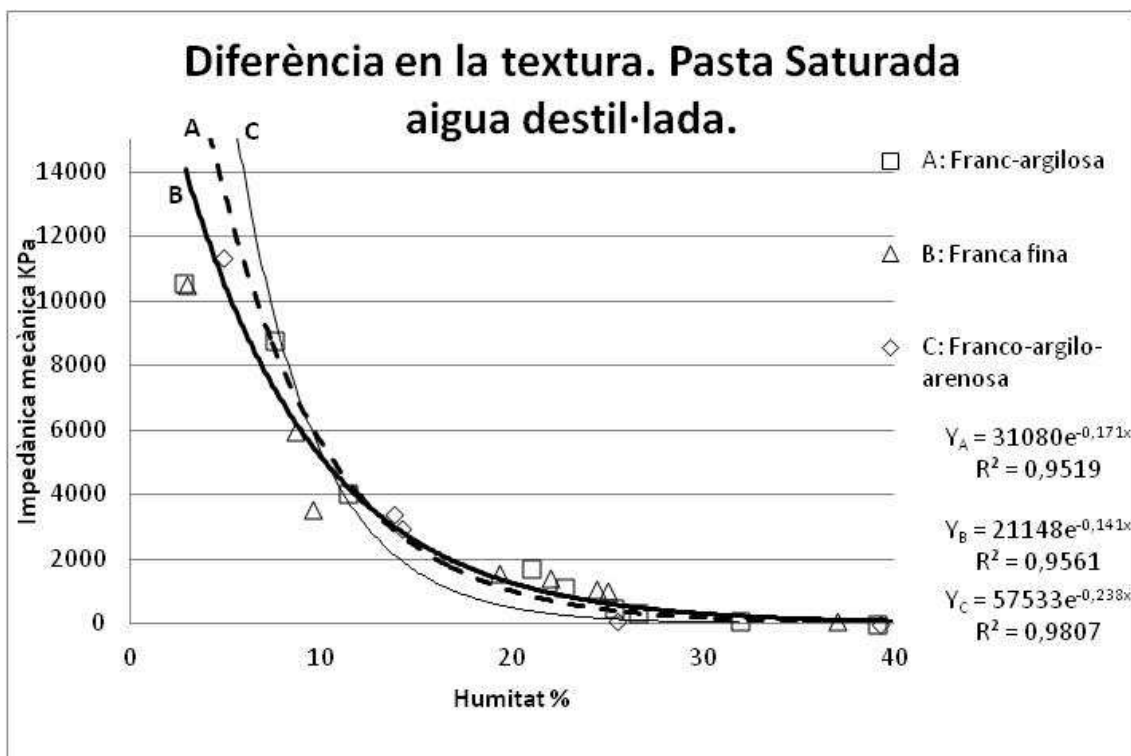


Fig. 7. Gràfic diferència en la textura valors mitjos.

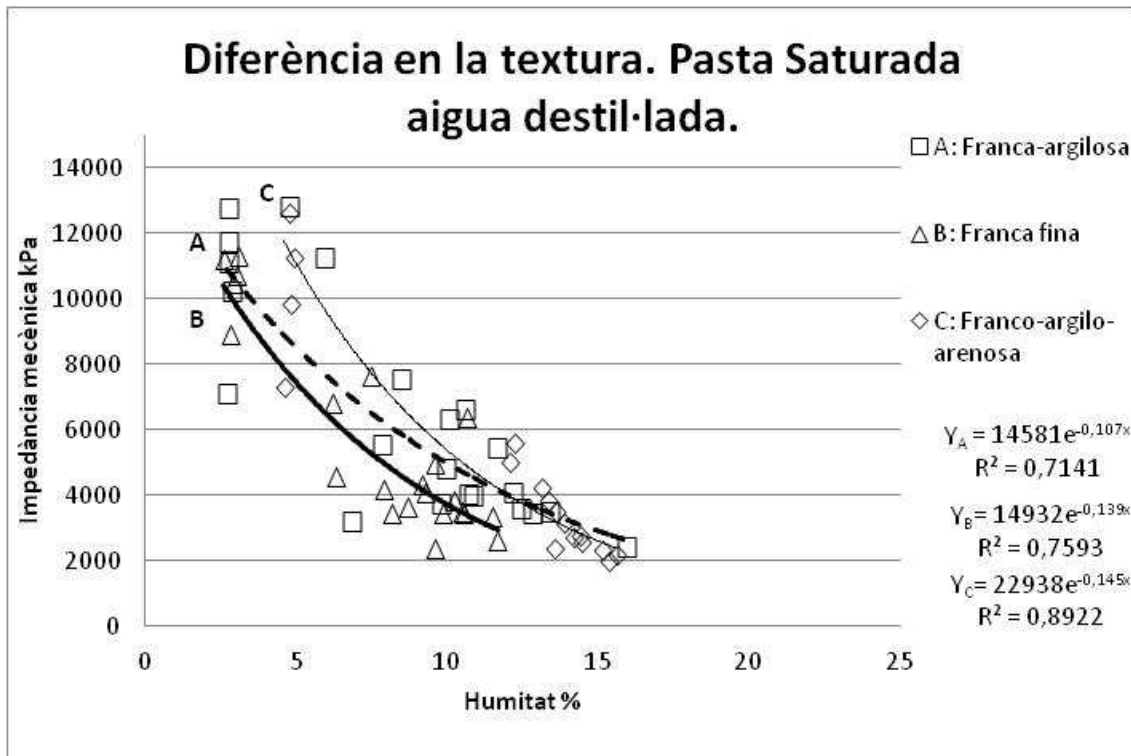


Fig. 8. Gràfic diferència en la textura dels valors totals de la part d'humitats inferiors al 20%.

Si observem la figura 7, corresponent a valors mitjos, podem veure com les línies de tendència tenen una R^2 molt bona i com en la part d'humitats més elevades (superiors a un 20%) les línies tenen un comportament més recte i en les humitats inferiors a un 20% les rectes creixen exponencialment, tal i com ja hem dit.

A la figura 8, que correspon els valors parcials de la part més seca i per tant més elevats, les línies de tendència presenten una R^2 una mica baixa, ja que els resultats són força variables. També podem observar gràficament com els valors no tenen una distribució homogènia i com en una mateixa humitat trobem valors molt diferents, sobretot en humitats molt baixes del 3% aproximadament on els valors oscil·len entre 7000kPa i 13000kPa.

Si analitzem cada mostra per separat podem observar en la figura 7 i 8 com la textura franco-argilo-arenosa, Caldes, presenta una línia de tendència amb valors més elevats i més allunyada de la mostra franca fina, Carretera. La mostra de textura franco-argilosa es troba entre mig de les dues, i és més propera a la franca fina. Si observem la tau de resultats:

- En la mostra de textura franco-argilo-arenosa el valor màxim el trobem en un 4,48% d'humitat de 11358,08kPa, taula 10, En humitats del 15% els valors oscil·len entre 2100kPa i 5000kPa.
- En la mostra de textura franca fina el valor màxim és de 8673,88 i un 2,46% d'humita, tala 9. En humitats del 10% els valors oscil·len, en general, entre 2000kPa i 4000kPa.
- En la mostra de textura franca argilosa el valor màxim és de 10528,88 i un 2,90% d'humitat, taula 8. En humitats el voltant del 15-10% els valors oscil·len entre 2400kPa i 6300kPa.

Per tal de determinar si hi ha diferència entre les diferents textures realitzem el anàlisi de variància:

Significativament diferents.
 No presenten diferència.

	F	Probabilitat	Valor crític F	Hipòtesi
0h	17,12477268	0,00077217	4,493998418	F>VC; P<0.05
12h	0,04274439	0,83881545	4,49399842	F<VC; P>0.05
24h	6,08759086	0,02528105	4,49399842	F>VC; P<0.05
30h	255,460747	2,9383E-11	4,49399842	F>VC; P<0.05
36h	0,99592085	0,33315392	4,49399842	F<VC; P>0.05
40h	18,6793903	0,00052603	4,49399842	F>VC; P<0.05
48h	3,30492596	0,08784458	4,49399842	F<VC; P>0.05
72h	1,90714565	0,17425495	4,06170635	F<VC; P>0.05
96h	0,00336235	0,95447798	4,49399842	F<VC; P>0.05

Taula 15. Taula d'anàlisi de variàncies entre textures Franco-argilosa i Franca fina.

Després de fer l'anàlisi de variàncies entre les mostres d'Agròpolis, textures franco-argilosa i franca fina, els resultats presentats la taula 15 podem observar com en general no presenten diferència entre si. En les lectures preses a 0, 24, 30 i 40 hores sí que presenten diferències significatives però la diferència és molt petita.

Significativament diferents.
 No presenten diferència.

	F	Probabilitat	Valor crític F	Hipòtesi
0h	627,9909632	2,88317E-14	4,493998418	F>VC; P<0.05
24h	42,9198269	6,6704E-06	4,49399842	F>VC; P<0.05
36h	14,7318539	0,00145095	4,49399842	F>VC; P<0.05
48h	15,9804966	0,00103733	4,49399842	F>VC; P<0.05
72h	21,2061814	0,00029272	4,49399842	F>VC; P<0.05

Taula 16. Taula d'anàlisi de variàncies entre textures Franco-argilosa i Franco-argilo-arenosa.

Significativament diferents.
 No presenten diferència.

	F	Probabilitat	Valor crític F	Hipòtesi
0h	90,5711548	5,44618E-08	4,493998418	F>VC; P<0.05
24h	59,0388054	9,322E-07	4,49399842	F>VC; P<0.05
36h	8,79448166	0,00911078	4,49399842	F>VC; P<0.05
48h	16,2672813	0,00096233	4,49399842	F>VC; P<0.05
72h	31,0835624	4,1837E-05	4,49399842	F>VC; P<0.05

Taula 17. Taula d'anàlisi de variàncies entre textures Franca fina i Franco-argilo-arenosa.

Observant els valors de l'anàlisi de variància, presents a la taula 16 i 17, les mostres d'Agròpolis, textures franco-argilosa i franca fina, comparades amb les mostres de Caldes, textura franco-argilo-arenosa, són significativament diferents entre sí. Cal destacar però que la diferència és molt petita.

5.3.1. Experiment "preliminar": Evolució de la Impedància mecànica de les mostres molt humides un cop observats inicis d'assecament. Freqüència de mesura: intervals de 10 a 15 minuts.

Durant una hora, en intervals de 10-15minuts, on cop s'observa que la mostra comença a assecar-se es van anar prenent mesures de la impedància mecànica. Ja que en el moment que la mostra es comença a assecar s'observa que la impedància mecànica assoleix valors més diferents entre ells, presentat una elevada desviació típica.

Amb aquestes dades volem verificar la hipòtesi si en aquest interval d'una hora la humitat disminueix ràpidament i per tant en poc temps la impedància mecànica augmenta.

Si observem els resultats que trobem al annex de dades preliminars i els gràfics 9,10,11 i 12 podem veure com no hi ha una relació entre el temps(una hora) i la humitat. I com la impedància mecànica presenta un elevada desviació i no segueix cap distribució. En altres paraules, la dispersió de la impedància mecànica és molt gran en front la dispersió de la humitat.

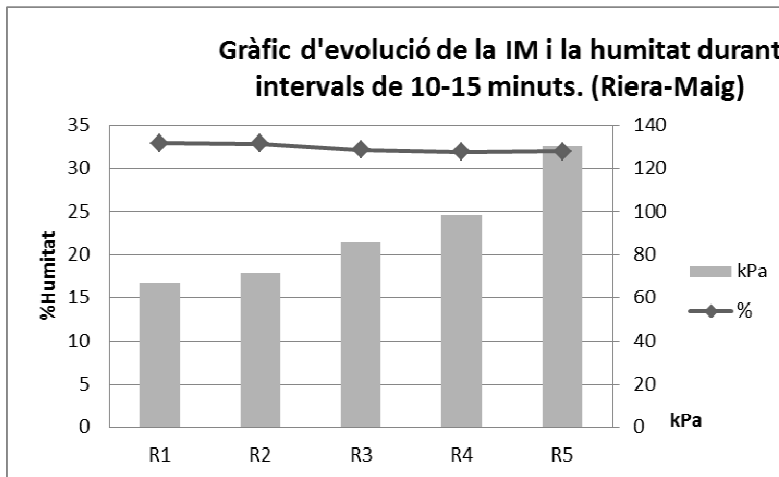


Fig. 9.Gràfic d'evolució de la IM i la humitat durant intervals de 10-15minuts (Riera-Maig).

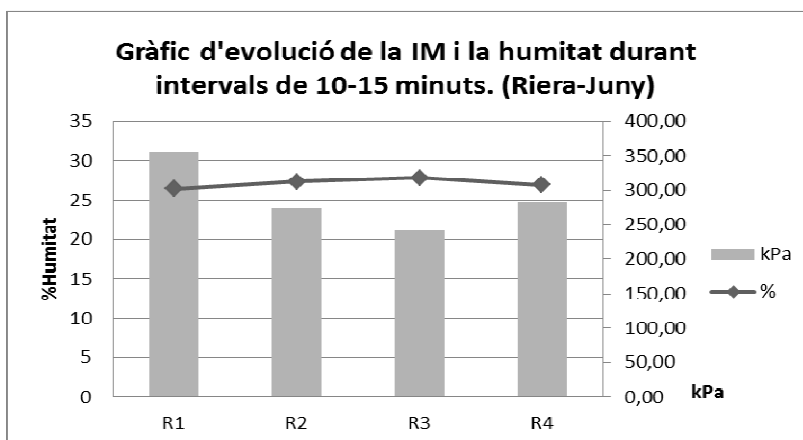


Fig. 10.Gràfic d'evolució de la IM i la humitat durant intervals de 10-15minuts (Riera-Juny).

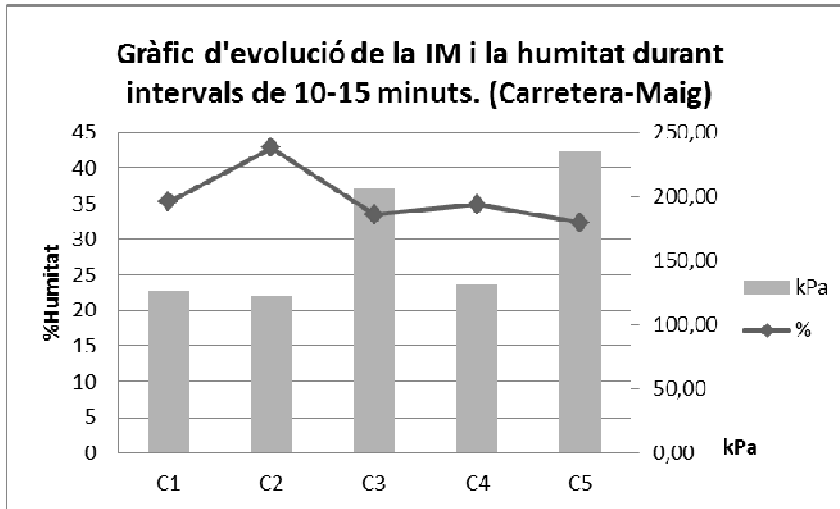


Fig. 11. Gràfic d'evolució de la IM i la humitat durant intervals de 10-15 minuts (Carretera-Maig).

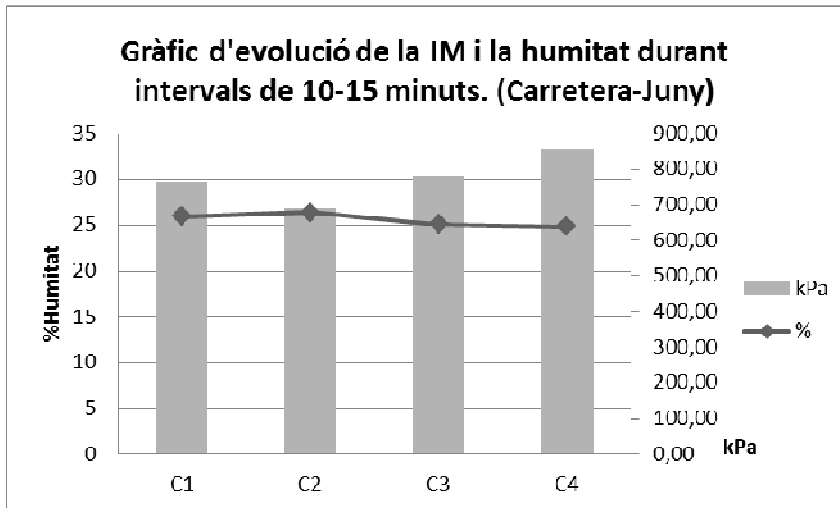


Fig. 12. Gràfic d'evolució de la IM i la humitat durant intervals de 10-15 minuts (Carretera-Juny).

5.4. Experiment 4: Efecte de la qualitat de l'aigua

5.4.1. Agrupació dels valors de la relació IM vs. humitat dels tres tipus de sòl.

Gràfic de l'efecte de la qualitat de l'aigua.

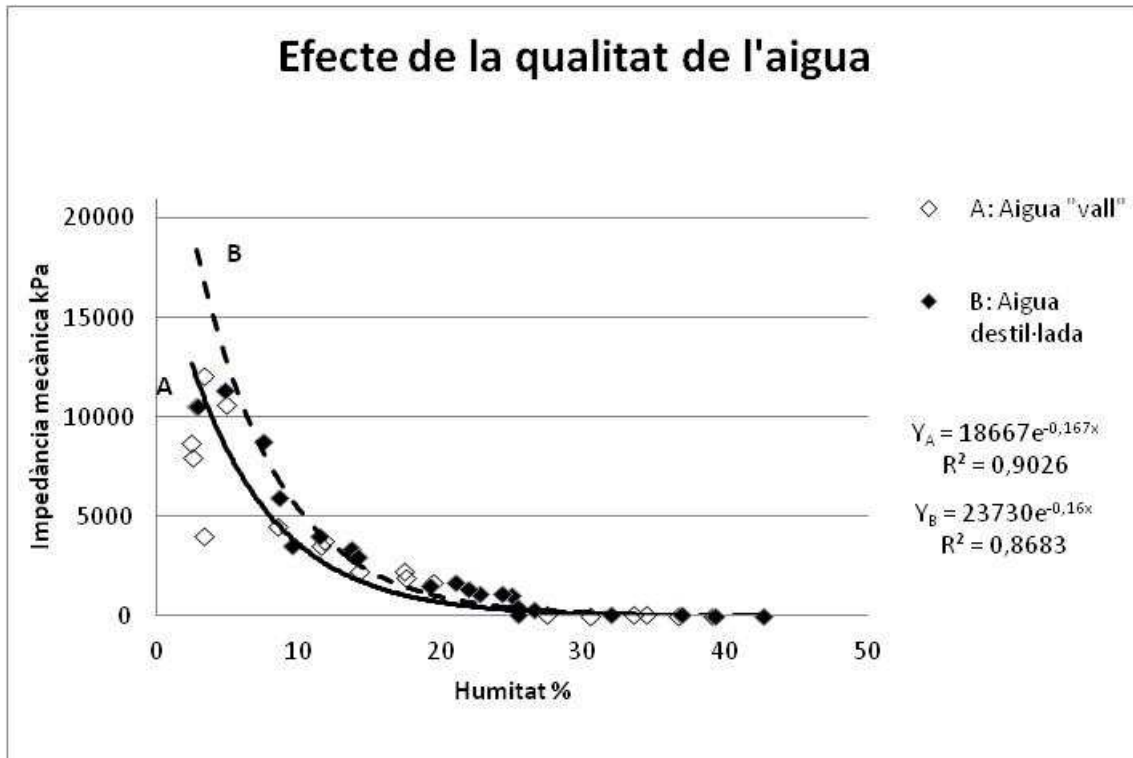


Fig. 13. Gràfic de l'efecte del tipus d'aigua. Pasta saturada.

				Significativament diferents.
				No presenten diferència.
	F	Probabilitat	Valor crític F	Hipòtesi
Total	0,50250376	0,4811474	4,00119131	F<VC; P>0,05

Taula 18. Taula d'anàlisi de variàncies entre mostres tractades amb aigua destil·lada i aigua "vall". Pasta saturada.

Durant el procés de preparació de la pasta saturada i el posterior asseccament, utilitzant l'aigua "vall", de $CE\ 1455,74\mu S\text{cm}^{-1}$ a 25°C , no es van observar diferències en l'aspecte, durant el procés d'asseccament, comparat amb el mateix mètode de treball però utilitzant aigua destil·lada.

Numèricament s'han donat valors màxims d'IM, en valors absoluts, molt semblants. A les mostres tractades amb aigua destil·lada s'ha donat una IM màxima de 11,358 kPa amb una humitat del 4,81%, mentre que a les mostres tractades amb aigua "vall" ens hem trobat amb un valor màxima d'IM de 12,128 kPa però amb una humitat del 3,29%.

Interpretant els valors obtinguts sobre la variància de la relació IM/Humitat, taula 18, diem que no hi ha diferències significatives.

Com es pot veure a la figura 13, la línia de tendència que representa les dades d'aigua "vall" (A), queda per sota la línia A (dades obtingudes a partir d'aigua destil·lada). Per tant indica que per a mostres que tenen la mateixa humitat, s'obtenen valors d'IM més baixos que en les mostres tractades amb aigua destil·lada.

5.4.2. Efecte de la qualitat de l'aigua en mostres de sòl Franco-argilosa (Agròpolis-Riera).

Gràfic de l'efecte de la qualitat de l'aigua, Textura Franco-argilosa.

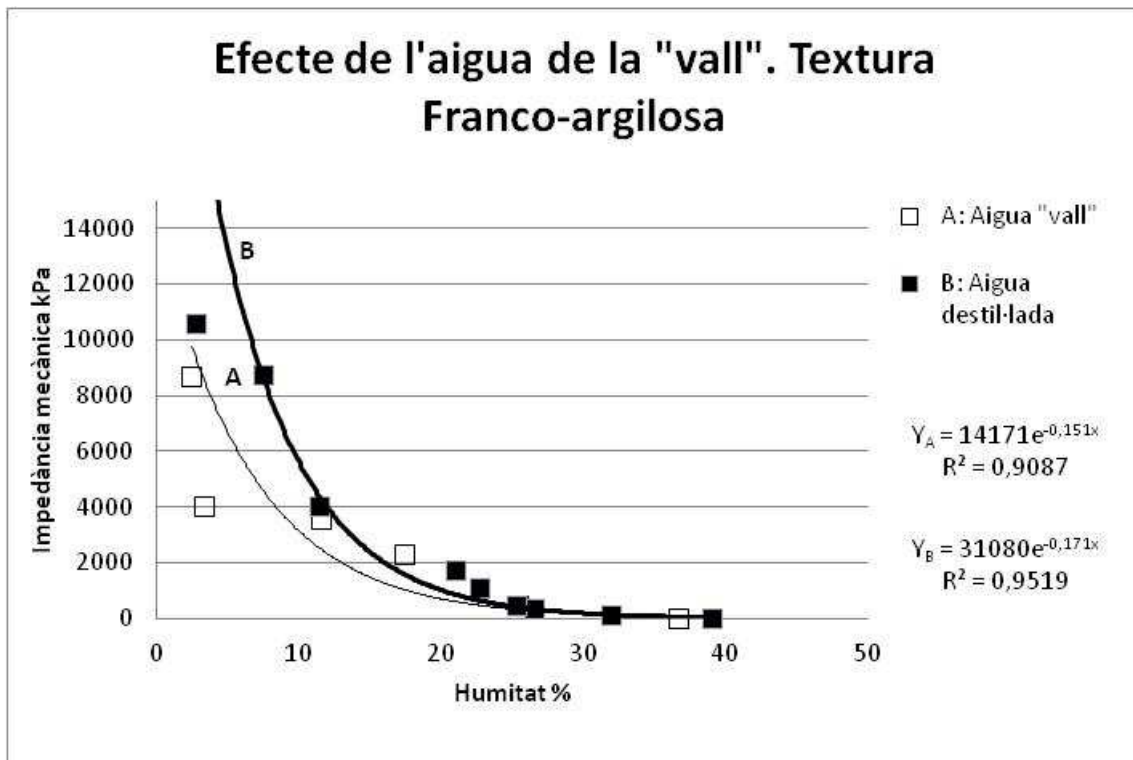


Fig. 14. Gràfic de l'efecte del tipus d'aigua, amb mostres Franco-argilosa i pasta saturada.

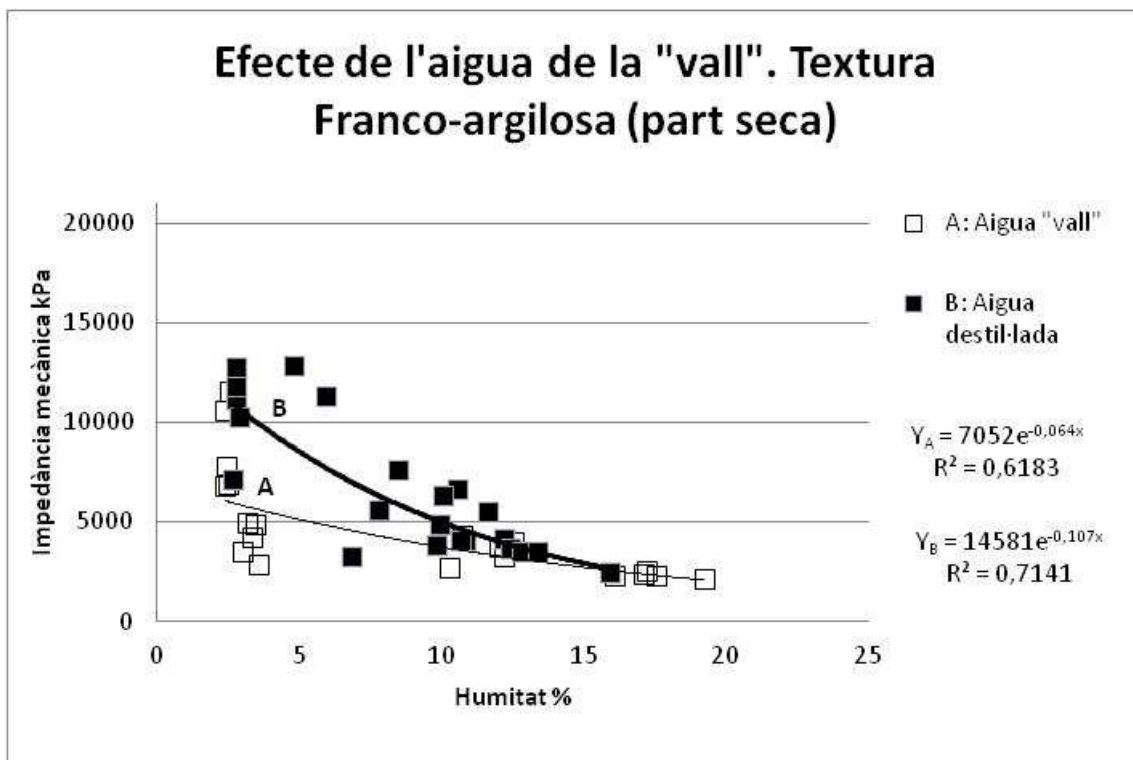


Fig. 15. Gràfic de l'efecte del tipus d'aigua, amb mostres Franco-argilosa i pasta saturada (Part seca).

				Significativament diferents.
				No presenten diferència.
	F	Probabilitat	Valor crític F	Hipòtesi
11h	160,184138	9,47581E-10	4,493998418	F>VC; P<0,05
24h	23,59512386	0,000174647	4,493998418	F>VC; P<0,05
34h	19,04160262	0,000482309	4,493998418	F>VC; P<0,05
48h	13,34202299	0,002146561	4,493998418	F>VC; P<0,05
72h	0,52179626	0,48050211	4,493998418	F<VC; P>0,05
96h	1,936322528	0,183113987	4,493998418	F<VC; P>0,05
Total	1,764029695	0,186729997	3,922879101	F<VC; P>0,05

Taula 19. Anàlisi variàncies entre mostres tractades amb aigua destil·lada i aigua "vall". Pasta saturada i mostra Franco-argilosa (Agròpolis-Riera).

Els valors d'impedància mecànica obtinguts, utilitzant aigua destil·lada, varien entre 21,63kPa i 10590,20kPa (en valors absoluts). Els valors d'impedància obtinguts, utilitzant aigua vall, varien entre 27,87kPa i 8673,02kPa.

Amb humitats altes, superiors a un 20%, s'han obtingut valors d'impedància mecànica, en valors absoluts, que van dels 21,63kPa i als 1714,18kPa, utilitzant aigua destil·lada; mentre que els valors d'impedància mecànica, en valors absoluts, però utilitzant aigua "vall", varien entre 24,06kPa i 705,56kPa.

Com es pot veure a la fig. 14 la línia de tendència A (mostres tractades amb aigua de la vall) també queda per sota de la línia de tendència B, tal i com passava a l'experiment 5.4.1. Com ja hem dit, els valors d'IM, amb mateixes humitats, són inferiors a les mostres tractades amb aigua destil·lada.

Si observem les taules 11, 12 i 13 podem veure com la humitat presenta una desviació típica molt baixa i pràcticament nul·la, fet que demostra que les rèpliques de les lectures preses es mantenen en un mateix rang d'estat d'humitat. En canvi la impedància mecànica mostra una desviació típica molt elevada sobretot en la part més seca. Aquest fet ens fa pensar que la impedància mecànica no estableix una relació directe amb la humitat i que hi ha altres factors que influeixen en el seu comportament, tal i com hem dit a l'experiment 3.

Analitzant les variàncies obtingudes, taula 19, diem que existeixen diferències significatives en les mostres referenciades com a 11h, 24h, 34 i 48h. Els valors referenciats de 72h i 96h, en canvi, són iguals. El mateix succeeix amb la variància de tot el conjunt de dades.

5.4.3. Efecte de la qualitat de l'aigua en mostres de sòl Franca fina (Carretera).

Gràfic de l'efecte de la qualitat de l'aigua, Textura Franca fina.

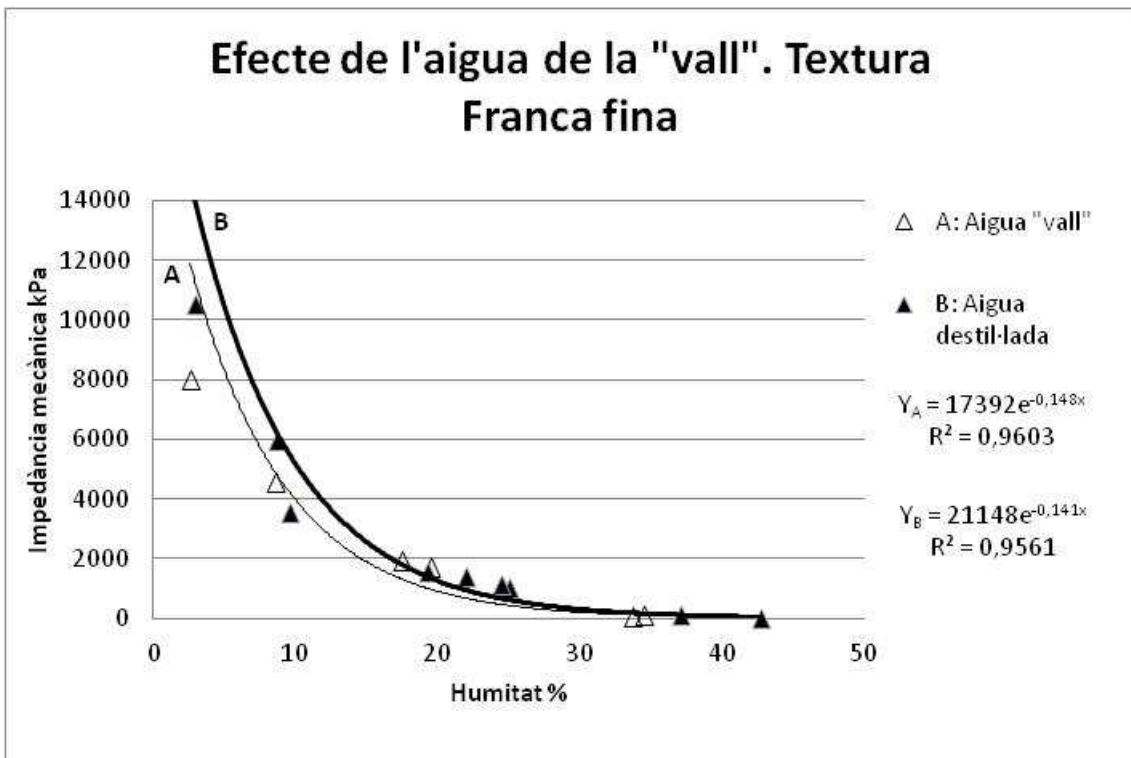


Fig. 16. Gràfic de l'efecte del tipus d'aigua, amb mostres Franca fina i pasta saturada

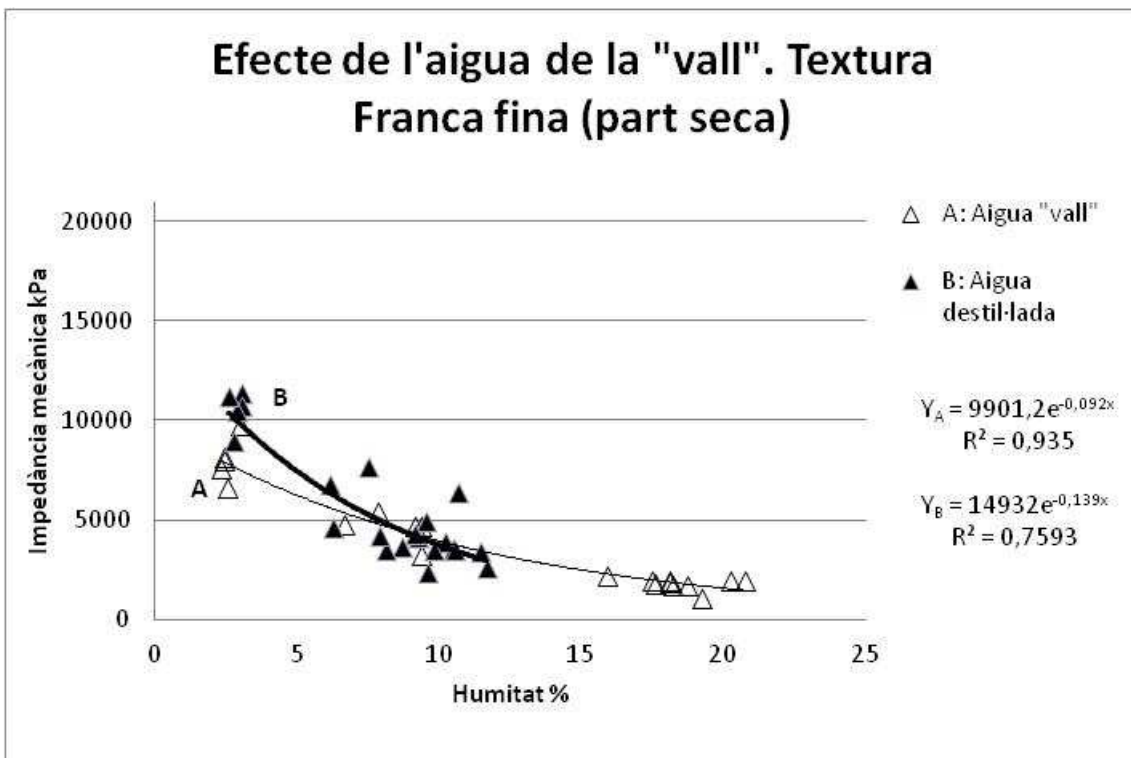


Fig. 17. Gràfic de l'efecte del tipus d'aigua, amb mostres Franca fina i pasta saturada (Part seca)

Significativament diferents.
 No presenten diferència.

	F	Probabilitat	Valor crític F	Hipòtesi
12h	0,40416333	0,53393529	4,49399842	F<VC; P>0,05
24h	57,5663585	1,0949E-06	4,49399842	F>VC; P<0,05
34h	0,98116576	0,33665556	4,49399842	F<VC; P>0,05
48h	41,0646891	8,6613E-06	4,49399842	F>VC; P<0,05
72h	6,23411459	0,0238261	4,49399842	F>VC; P<0,05
96h	14,0869327	0,00173579	4,49399842	F>VC; P<0,05
Total	1,3898075	0,24085008	3,9228791	F<VC; P>0,05

Taula 20. Anàlisi variàncies entre mostres tractades amb aigua destil·lada i aigua "vall". Pasta saturada i mostra Franca fina (Agròpolis –Carretera.)

Els valors d'impedància mecànica obtinguts, utilitzant aigua destil·lada, varien entre 25,46kPa i 11332,15kPa, en valors absoluts. Els valors d'impedància mecànica obtinguts, utilitzant aigua vall, varien entre 48,73kPa i 9760kPa, en valors absoluts.

Els valors amb humitats altes , superiors a un 20%, s'han obtingut valors d'impedància mecànica, en valors absoluts, entre 25,46kPa i 1527,48kPa, utilitzant aigua destil·lada, mentre que els valors d'impedància mecànica, en valors absoluts, i utilitzant aigua "vall", varien entre 48,73kPa i 1951,53kPa.

De nou la línia de tendència A (Mostres tractades amb aigua "vall") queda per sota de la línia de tendència B (Mostres tractades amb aigua destil·lada). Això vol dir que per a mateixes humitats, obtenim valors d'IM inferiors, en mostres tractades amb aigua "vall" que les mostres tractades amb aigua destil·lada.

En mostres de sòl amb textura Franca fina (Agròpolis zona Carretera) el resultat de l'anàlisi de les variàncies varia en les diferents hores referenciades, no segueix cap patró. L'anàlisi de la variància de l'agrupació de tots els resultats, indica que no existeixen diferències entre els valors de relació IM vs. humitat entre mostres tractades amb aigua destil·lada i mostres tractades amb aigua "vall".

5.4.4. Efecte de la qualitat de l'aigua en mostres de sòl Franco-argilo-arenosa(Caldes).

Gràfic de l'efecte de la qualitat de l'aigua, Textura Franco-argilo-arenosa.

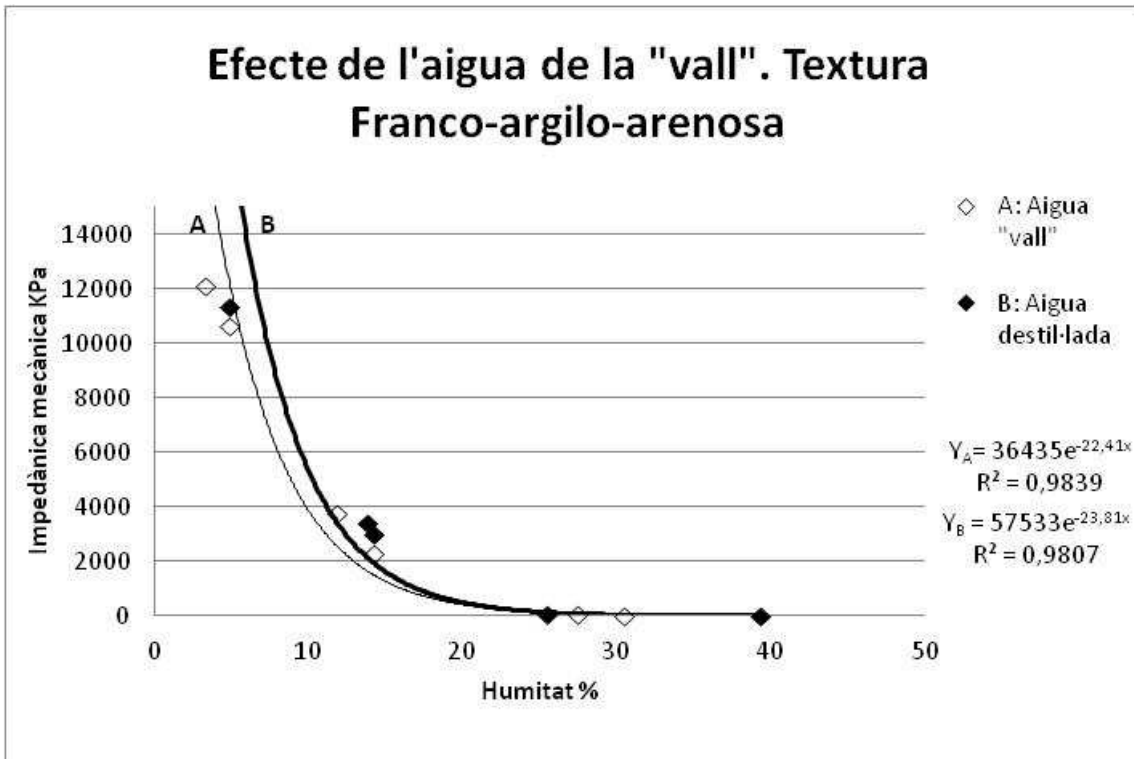


Fig. 18. Gràfic de l'efecte del tipus d'aigua, amb mostres Franco-argilo-arenosa i pasta saturada.

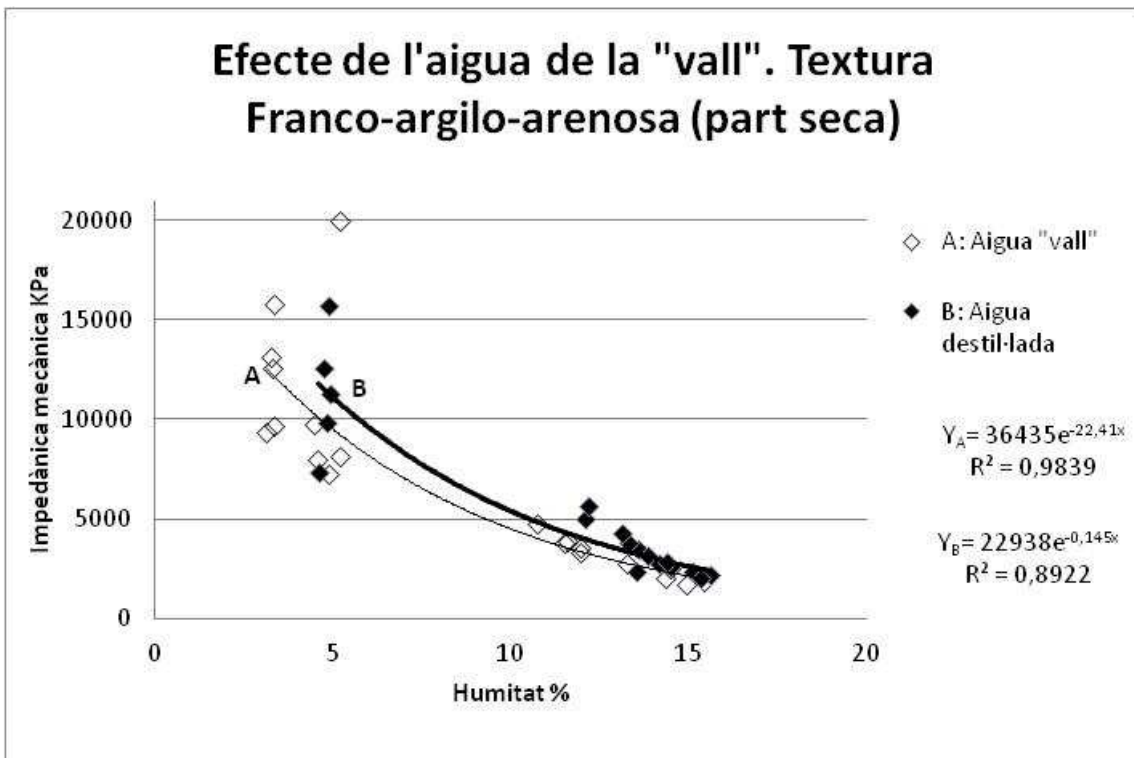


Fig. 19. Gràfic de l'efecte del tipus d'aigua, amb mostres Franco-argilo-arenosa i pasta saturada. (Part seca)

	F	Probabilitat	Valor crític F	Hipòtesi
24h	4,40895942	0,05196515	4,49399842	F<VC; P>0,05
34h	3,94335169	0,06446765	4,49399842	F<VC; P>0,05
48h	2,48030133	0,13484413	4,49399842	F<VC; P>0,05
72h	0,06837876	0,79704839	4,49399842	F<VC; P>0,05
Total	0,04472424	0,83307798	3,96675966	F<VC; P>0,05

Significativament diferents.
No presenten diferència.



Taula 21. Anàlisi variàncies entre mostres tractades amb aigua destil·lada i aigua "vall". Pasta saturada i mostra Franco-argilo-arenosa (Caldes).

Els valors d'impedància mecànica utilitzant aigua destil·lada varien entre, 4,44kPa i 15723,34kPa. En les mostres tractades amb aigua "vall", la IM varia entre 24,85kPa i 19964,23kPa.

En humitats altes, superiors a un 20%, en mostres tractades amb aigua destil·lada, els valors d'impedància mecànica varien entre 4,44kPa i 105,56kPa. Amb mostres tractades amb aigua "vall" els valors d'impedància mecànica varien entre 48,73kPa i 93,25kPa. En ambdós casos, són valors molt baixos d'IM comparats amb la resta d'experiments dins de l'experiment 5.

Si observem les línies de tendència de les figures 18 i 19, de nou, la línia de tendència A està per sota de la línia de tendència B, per tant, per a mateixes humitats obtenim valors d'IM inferiors, amb mostres tractades amb aigua "vall", que en mostres tractades amb aigua destil·lada.

L'anàlisi de la variància de les diferents mostres indica que no existeixen diferències significatives entre la utilització d'aigua destil·lada i la utilització d'aigua "vall".

6. Conclusions

Hem comprovat que, segons les condicions del nostre treball:

- En els valors de camp quan el sòl està esquerdat els valors d'impedància mecànica varien. Així com en presència de vegetació els valors són més baixos o nuls respecte els valors obtinguts en el sòl nu.
- El mètode de saturació per capil·laritat no ens han donat uns bons resultats, degut a les dificultats de treball; la pastilla no era uniforme, es descompactava i era poc estable. A més vam obtenir valors allunyats als esperats inicialment, lleugerament més baixos als valors de camp i molt més baixos als de pasta saturada. Probablement s'haurien d'efectuar més cicles d'humectació/dessecació per solucionar els problemes esmentats obtenint així una pastilla més uniforme i compacte.
- El mètode de treball de pasta saturada és un bon mètode per la seva facilitat de treball però els valors obtinguts d'impedància mecànica són més alts als de camp. Aquest fet pot venir donat per la desagregació quan s'efectua el procés de preparació de la mostra.
- No podem arribar a dir que la textura és un factor determinant a l'hora de trobar diferències d'impedància mecànica. Cal destacar que els valors de textura analitzats en aquest treball es trobaven en un rang petit. Creiem que altres factors influeixen en el comportament de la crosta i la relació entre la impedància mecànica del sòl i la humitat. Aquests altres factors podrien ser: la presència de carbonats, observant els valors veiem que a les mostres procedents d'Agròpolis són d'un 20% aproximadament i a les mostres de Caldes són d'un 2%; el contingut de matèria orgànica; pH i conductivitat elèctrica; la densitat aparent del sòl; així com altres factors.
- Tot i que s'hagin trobat diferències apreciables entre utilitzar l'aigua "vall", de CE $1455,74\mu\text{Scm}^{-1}$, o aigua destil·lada pel mètode de pasta saturada, en la totalitat de l'experiment 4, podem dir que la utilització de l'aigua "vall" no és un factor determinant per variar la relació impedància mecànica vs. humitat.
- A partir d'humitats inferiors al 20% els valors d'IM són més elevats i és a partir d'aquí on hi trobem un interès agronòmic.
- La humitat no estableix una relació directa amb la impedància mecànica en la part més seca de la gràfica impedància mecànica vs. humitat. En humitats inferiors al 20%, la impedància mecànica té un alta variabilitat per a una mateixa humitat. Creiem que hi ha altres factors que influeixen en el seu comportament. Segons alguns autors, el procés d'assecatment (durada, velocitat, etc...) pot ser un factor determinant en la impedància mecànica.
- A menor humitat de la crosta major resistència ofereix, la impedància mecànica és més elevada per a tots els mètodes de treball.

De cara a la continuïtat d'aquest treball suggerim que:

- El mètode de saturació per capil·laritat s'hauria de millorar, creiem que amb més cicles d'humectació/dessecació es solucionarien els problemes esmentats. Seria interessant analitzar-ho ja que aquest mètode pot donar resultats molt semblants als de camp.
- Seria interessant analitzar l'efecte de la textura amb textures de sòl més diferents entre elles. Així com tenir en compte altres factors com la presència de carbonats en el sòl.
- Controlar el procés d'assecamment (durada, velocitat, etc...).

7. Bibliografia.

Besnier, F., 1973. "La costra del suelo". Hojas Divulgadoras del Ministerio de Agricultura, vol. 17, núm. 18, p. 2-28.

Hillel, D. 1980, *Fundamentals of soil physics*, Academic Press, New York.

Montenegro, G. H. y Castro, M. D., 1990 *Propiedades físicas de los suelos*, Bogotá. CO. Instituto Geográfico. 813p.

Morgan, R.P.C. 1997, *Erosión y conservación del suelo*, Mundi-Prensa, Madrid.

Ramírez P.R. i C.I. Salazar Jiménez., 2006. Cambios en la resistencia a la penetración en un suelo con diferentes sistemas de manejo y su relación con algunas propiedades físicas en un andiso Marañilla La Montañita.

<http://www.unalmed.edu.co/esceocien/ramiro_ramirez.html> [27 Desembre 2011]

Sadzawka, A. 1990. Métodos de análisis de suelos. Serie La Platina Nº 16. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La Platina, Santiago, Chile. 130 p.

Programes informàtics

Google. Google maps. Cercador geogràfic. A: Google [en línia]. CA (EEUU): Google, anys 2010-2012. Disponible a: <http://maps.google.es/maps>

Ministeri d'Agricultura, alimentació i medi ambient. Sistema d'informació geogràfica de parcel·les agrícoles (SIGPAC). Cercador geogràfic. A: Ministeri d'Agricultura, alimentació i medi ambient [en línia]. Madrid 2011. Última revisió 2012.