

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Agroalimentària

Títol: Sistema d'informació geogràfica i aplicació per a mòbil com a eines pel disseny agronòmic en reg localitzat al Baix Ter

Document: Memòria

Alumne: Gerard Cordeiro i Santanach

Tutor: Francesc Ramírez de Cartagena i Bisbe i Miquel Duran i Ros

Departament: d'Enginyeria Química, Agrària i Tecnologia Agroalimentària

Àrea: Enginyeria Hidràulica, Enginyeria Agroforestal

Convocatòria (mes/any): Juny / 2017

Aquesta pàgina s'ha deixat en blanc de manera intencionada

Índex de la memòria

RESUM.....	3
PARAULES CLAU.....	5
AGRAÏMENTS.....	6
1. INTRODUCCIÓ.....	8
1.1. Usos de l'aigua.....	8
1.2. Importància dels sistemes de reg localitzat.....	9
1.2.1. Espanya.....	10
1.2.2. Catalunya.....	11
1.3. Definició i característiques d'un sistema de reg localitzat d'alta freqüència.....	12
1.4. Disseny dels sistemes de RLAF.....	14
1.4.1. Disseny agronòmic.....	15
1.4.2. Disseny hidràulic.....	21
1.5. Bulb d'humitat.....	21
1.5.1. Formació del bulb.....	21
1.5.2. Forma del bulb.....	22
1.5.3. Estimació del bulb humit.....	22
1.6. Drip-Irrigació.....	23
1.7. Mapa de sòls.....	27
1.8. Eines informàtiques.....	28
1.8.1. SIG.....	28
1.8.2. APP.....	31
2. OBJECTIUS.....	34
3. METODOLOGIA.....	35
3.1. Plantejament.....	35

3.2.	Paràmetres climàtics – ET_0	35
3.2.1.	Obtenció dels valors d' ET_0 - Weibull	35
3.2.1.1.	Mitjanes mensuals d' ET_0	37
3.2.1.2.	Valors diaris d' ET_0	38
3.2.2.	Discussió del valor de càlcul - ET_0	38
3.3.	Paràmetres del sòl	39
3.3.1.	Anàlisi del Mapa de Sòls.....	39
3.3.2.	Obtenció dels paràmetres de l'equació de van Genuchten.....	40
3.4.	Determinació del temps de reg	41
3.4.1.	Càlcul de la ET_c	41
3.4.2.	Càlcul de les Necessitats d'Aigua de Reg (NAR)	42
3.4.3.	Determinació dels temps de reg.....	45
3.5.	Obtenció del bulb humit – Drip-Irriguer	46
3.6.	Associació dels bulb d'humitat al Mapa de sòls	47
3.7.	Visualització dels bulbs d'humitat a InstaMaps.....	53
3.8.	Desenvolupament d'una aplicació de consulta ràpida per plataforma Android.....	56
4.	RESULTATS I DISCUSSIÓ.....	59
4.1.	Bulbs d'humitat.....	59
4.2.	Mapa dels bulbs d'humitat en QGIS	64
4.3.	Mapa dels bulbs d'humitat en InstaMaps	66
4.4.	Aplicació Android.....	68
4.5.	Exemple de disseny agronòmic d'una plantació de fruiters a partir de l'aplicació GIS proposada	70
5.	CONCLUSIONS	73
6.	SUGGERIMENTS PER FUTURES LÍNIES DE TREBALL.....	75
7.	BIBLIOGRAFIA	76

RESUM

Els sistemes de reg localitzat han suposat un gran avenç en les tècniques de regadiu. En els últims anys la instal·lació d'aquests sistemes ha augmentat en detriment dels mètodes tradicionals. Actualment a Espanya és el sistema de reg més utilitzat pel que fa a superfície, però no a Catalunya.

Amb els sistemes de reg localitzat es pot aconseguir una major eficiència en l'ús de l'aigua i l'energia enfront els altres sistemes (en excepció del reg per gravetat que no té consum energètic). Per això, cal realitzar un bon disseny agronòmic per tal d'aportar a la planta l'aigua que estrictament necessita. Paral·lelament cal un bon maneig de les instal·lacions, ja que sinó les eficiències poden ser pitjors que en els sistemes tradicionals.

En el present treball s'han elaborat dues eines de format digital (Sistemes d'informació geogràfica i aplicació Android) per ajudar en el disseny agronòmic de reg localitzat en la zona del Baix Ter.

En primer lloc, mitjançant el mètode de Weibull, s'ha realitzat un anàlisi probabilístic dels valors d'evapotranspiració de referència (ET_0), dada base pel càlcul de les necessitats d'aigua de reg. Es realitza l'anàlisi per diferents grups de dades (mitjanes mensuals i valors diaris). Es procedeix amb el valor d' $ET_0 = 5,25 \text{ mm dia}^{-1}$, corresponent a una probabilitat de no excedència del 90%.

A partir del document MAPA DE SÒLS DETALLAT DEL MARGE ESQUERRA DEL BAIX TER (ALT I BAIX EMPORDÀ) cedit per el Servei de Sòls i Gestió Mediambiental de la Producció Agrària del Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació de la Generalitat de Catalunya, s'han seleccionat els sòls aptes per a regadiu segons l'ús i vegetació descrit.

Utilitzant el model Rosetta i la informació corresponent recollida en el document citat, s'han calculat els paràmetres de l'equació de van Genuchten per cada sòl per tal de poder realitzar les simulacions pertinents en el codi Drip-Irrigator.

Seguidament, utilitzant el valor d' $ET_0 = 5,25 \text{ mm dia}^{-1}$, s'han calculat les Necessitats d'Aigua de Reg ($NAR = 24 \text{ L dia i planta}^{-1}$) per determinar els temps d'aplicació en funció del cabal dels emissors escollits (2 L h^{-1} , 4 L h^{-1} i 8 L h^{-1}). Per augmentar la casuística s'ha simulat també amb $2NAR$ i $3NAR$.

Utilitzant el codi Drip-Irrigator s'han realitzat les simulacions d'humitejament del sòl per tal d'obtenir els bulbs d'humitats generats en cada un d'aquests.

Una vegada obtinguts els bulbs d'humitat, mitjançant el programa QGIS, s'han associat a al mapa de sòls de la zona del Baix Ter en format digital. Per unir les capes s'han utilitzat les unitats cartogràfiques d'ambdós. Per facilitar la localització de les parcel·les per part dels usuaris s'han inserit diferents capes: topogràfica, ortogràfica i cadastral.

També es presenten les dades dels bulbs d'humitat amb la plataforma de visualització de mapes d'InstaMaps de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, per tal de permetre un accés més fàcil, i sense necessitat d'utilització de programes específics.

Paral·lelament s'ha elaborat una aplicació Android utilitzant el software Android Studio que permet la consulta dels bulbs d'humitat per les diferents sèries de sòl analitzades. Per realitzar la consulta caldrà descarregar-se l'aplicació des de la plataforma Google Play i informar-se de la unitat taxonòmica i sèrie a la qual pertany el sòl sobre el qual es vol realitzar la consulta.

Finalment s'ha realitzat a nivell d'exemple el disseny agronòmic d'una plantació de fruiters a partir de l'aplicació SIG i les dades cadastrals d'una parcel·la concreta.

PARAULES CLAU

- Reg localitzat
- Mapa de sòls
- Mapa de bulbs d'humitat
- Bulb d'humitat
- Drip-Irrigation
- Disseny agronòmic
- Sistema d'Informació Geogràfica (SIG)
- Aplicació Android

AGRAÏMENTS

Vull expressar el meu agraïment a totes aquelles persones i institucions que han fet possible la realització d'aquest treball final de grau.

En primer lloc agrair als tutors d'aquest projecte, el Dr. Francesc Ramírez de Cartagena Bisbe i el Dr. Miquel Duran i Ros per donar-me l'oportunitat de participar en aquest projecte, així com per l'atenció rebuda en totes les circumstàncies. D'altra banda també vull agrair el suport i la disposició mostrada pel Dr. Gerard Arbat Pujolràs a l'hora de facilitar informació i resoldre dubtes.

Vull agrair també a tot el personal docent del Grau en Enginyeria Agroalimentària de la Universitat de Girona, especialment a en Miquel, en Gerard, en Paco, en Lluís, en Jaume, en Joan, la Maria Gispert, en Pere, l'Isidre i en Giovanni, el seu suport rebut durant tota la carrera i la confiança transmesa.

Agrair al Servei de Sòls i Gestió Mediambiental de la Producció Agrària del Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació de la Generalitat de Catalunya la sessió del Mapa de Sòls detallat del Marge Esquerra del Baix Ter (Alt i Baix Empordà).

Agrair també a l'Enginyer de Forest Jordi Canal les nocions bàsiques de programari i el suport rebut en aspectes relacionats amb el Mapa de sòls digital.

Destacar la quantitat i qualitat de professionals introduïts per la Universitat de Girona per la seva tasca i dedicació. Han permès conèixer problemàtiques de primera mà així com fer més amens temes tractats i explicats a classe.

Vull agrair especialment als meus pares i família en general per donar-me l'oportunitat de cursar estudis superiors i animar-me en tot moment a continuar fent-ho. A la meva germana i tieta, Anna i Jus respectivament, pel suport transmès al llarg d'aquests 4 anys. A l'Anna li desitjo una plaent estada laboral al Canadà els propers 2 anys.

També vull agrair de forma molt especial a la meua parella, l'Erola, la seva paciència i energia transmesa durant aquesta etapa universitària. Li desitjo molta sort en els estudis i en l'estada Erasmus a Finlàndia.

Vull agrair també a tots els companys de classe els bons moments viscuts, en especial a l'Eric, la Marta P. i la Neus per la forta amistat forjada i el suport en els moments més necessaris.

Agrair als companys agricultors i ramaders de Vic, Gerard, Eduard, Gil, Albert i Xevi M., el suport rebut a l'hora de facilitar dades per realitzar treballs i la seva disposició en tot moment.

Agrair també a en Xevi A. i la Marta C. per totes les experiències viscudes que m'han ajudat a tirar endavant amb més forces i créixer com a persona. A en Xevi A., agrair-li de forma especial el suport rebut en el desenvolupament de l'aplicació i la seva predisposició.

També vull agrair a l'Oriol, l'Aina, la Berta, la Clara i la Marina per tots els moments i l'amistat que m'han brindat.

A tots vosaltres i a totes aquelles persones o institucions que no he citat i que han col·laborat en la realització d'aquest projecte, moltes gràcies.

1. INTRODUCCIÓ

1.1. Usos de l'aigua

La disponibilitat d'aigua és un dels factors més importants en qualsevol projecte agrícola perquè condiona tant la seva productivitat com la seva rendibilitat. La condició d'element primordial de l'aigua és la que fa que tingui també una demanda molt elevada per part d'altres sectors de l'activitat humana. Això confereix a l'aigua un caràcter de bé escàs pel qual s'estableix una competència en la que l'agricultura té, clarament, una posició de desavantatge en front a altres activitats que, o bé obtenen un rendiment més elevat de l'aigua utilitzada, com els sectors industrial o de serveis, o tenen prioritat social com l'ús domèstic (Puig-Bargués, 2003).

Tot i la posició de desavantatge l'agricultura continua essent el sector amb consums més elevats. Les Figures 1 i 2 mostren els usos de l'aigua per sectors a Espanya i a Catalunya respectivament.

USOS DE L'AIGUA PER SECTORS A ESPANYA

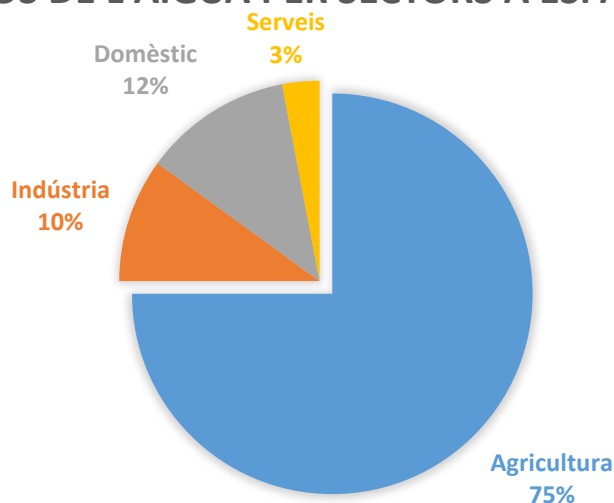


Figura 1. Usos de l'aigua per sectors a Espanya (Elaborat a partir d' INE, 2008).

USOS DE L'AIGUA PER SECTORS A CATALUNYA

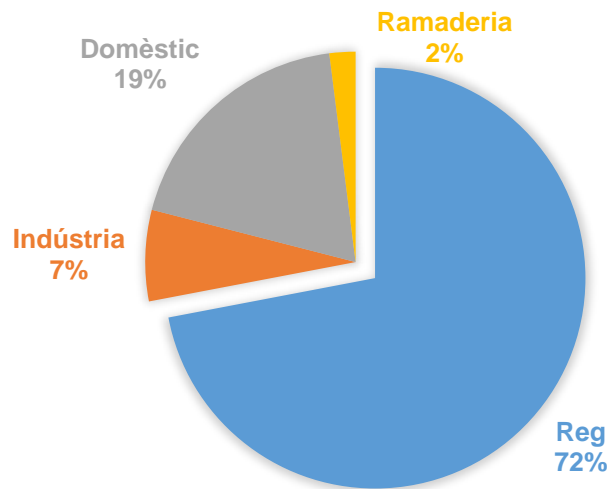


Figura 2. Usos de l'aigua per sectors a Espanya (Elaborat a partir de Gencat, 2015).

Per optimitzar l'ús de l'aigua en el sector agrícola cal una transformació de les infraestructures i tècniques de reg. La utilització de sistemes de reg moderns pot propiciar estalvis significatius tant d'aigua com d'energia.

1.2. Importància dels sistemes de reg localitzat

Amb la substitució de sistemes tradicionals de reg (superfície i aspersió) per sistemes més optimitzats (reg localitzat) es pot aconseguir un gran estalvi d'aigua a causa de les seves característiques de funcionament. Per altra banda també s'aconsegueix una reducció del consum energètic ja que les pressions de funcionament requerides són molt inferiors respecte al sistema de reg per aspersió.

1.2.1. Espanya

Els principals sistemes de reg i la seva distribució a Espanya es mostren a la Taula 1.

Taula 1. Distribució dels tipus de regadius a Espanya fins l'any 2015 (Elaborat a partir de MAPAMA, 2015).

Sistemes de reg	Superfície (ha)	Superfície (%)
Gravetat	978.125	26,90
Aspersió fixe	558.834	15,37
Pivot	306.272	8,42
Localitzat	1.792.911	49,30
Sense informació i altres	377	0,01
TOTAL	3.636.519	100

La superfície total regada el 2015 va augmentar un 0,87% respecte el 2014 i un 2,71% respecte el 2013 (MAPAMA, 2015). Aquest augment de superfície va acompanyat de l'evolució (tecnificació) dels diferents sistemes de reg i reflexa una coherència amb les polítiques de reg desenvolupades, encaminades a aconseguir una agricultura més eficient i sostenible.

En general els sistemes de reg més tecnificats han augmentat en els últims anys en detriment del reg per gravetat i altres sistemes, com es pot observar a la Figura 3.

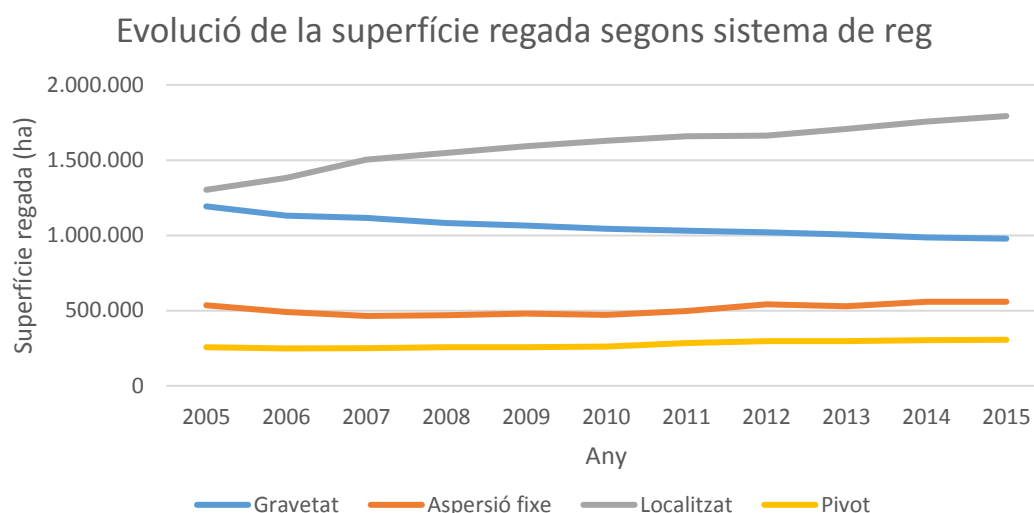


Figura 3. Evolució de la superfície regada segons els diferents sistemes de reg a Espanya (Elaborat a partir de MAPAMA, 2015).

El sistema que més destaca pel seu fort increment (un 27,34% en els 10 últims anys) és el reg localitzat, essent l'únic que marca una tendència a l'alça mentre que els altres tendeixen a la baixa (gravetat) o al manteniment (aspersió fixe i pivot).

1.2.2. Catalunya

A Catalunya es rega un 7,94% de la superfície geogràfica i un 31,06% de la cultivada (MAPAMA, 2015). Els sistemes de reg segueixen una evolució bastant semblant a la de l'Estat espanyol però cal tenir en compte que el reg localitzat no és el més utilitzat pel que fa a superfície.

En la Taula 2 s'observa la distribució dels sistemes de reg el 2015 a Catalunya.

Taula 2. Distribució dels tipus de regadius a Catalunya fins l'any 2015 (Elaborat a partir de MAPAMA, 2015).

Sistemes de reg	Superfície (ha)	Superfície (%)
Gravatat	129.729	50,93
Aspersió fixe	26.741	10,50
Pivot	12.310	4,83
Localitzat	85.945	33,74
TOTAL	254.725	100

En la Figura 4 s'observa l'evolució dels sistemes de reg en els últims 10 anys a Catalunya.

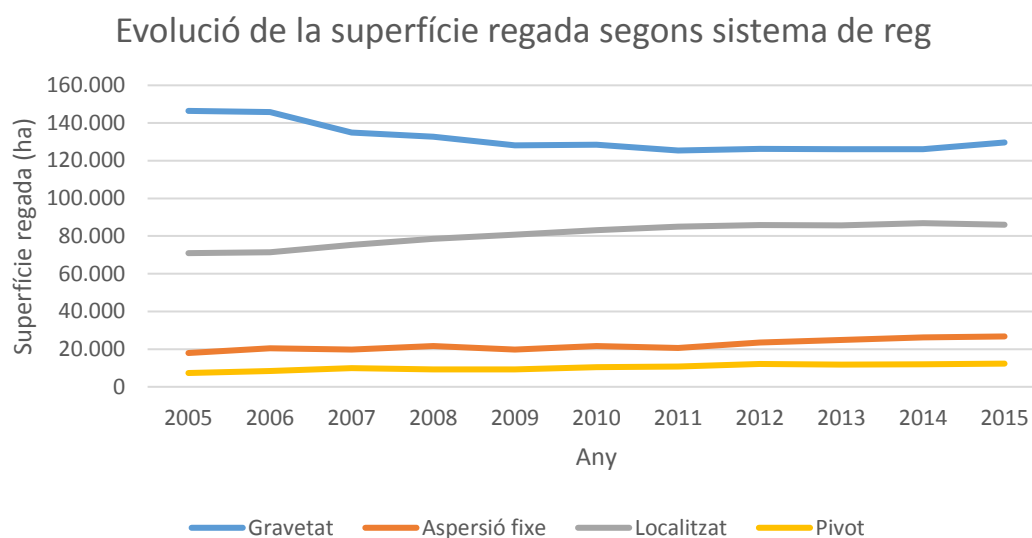


Figura 4. Evolució de la superfície regada segons els diferents sistemes de reg a Catalunya (Elaborat a partir de MAPAMA, 2016).

El reg per gravelat tot i patir un descens considerable continua essent el sistema de reg més utilitzat, seguit del reg localitzat que augmenta en més de 15.000 hectàrees (un 17,46% en els 10 últims anys). El reg per aspersió fixe i pivot augmenten lleugerament.

1.3. Definició i característiques d'un sistema de reg localitzat d'alta freqüència

Els termes reg localitzat, reg per degoteig i microirrigació es solen utilitzar per designar el mateix sistema de reg, tot i això hi ha alguns autors que els diferencien. Bucks *et al.* (1980) defineixen el reg per degoteig com a mètode de reg basat en l'aplicació d'aigua de forma lenta i precisa, en forma de gotes discretes, gotes contínues, petits raigs, o bé aerosols, mitjançant uns elements mecànics anomenats emissors i que van insertats al llarg d'una línia de distribució. Howell *et al.* (1983) afegeix a aquesta definició que els regs s'apliquen de forma freqüent i que els emissors poden anar enterrats o bé sobre la superfície del sòl.

És habitual utilitzar la paraula reg localitzat d'alta freqüència, que s'utilitza com a sinònim del terme anglès "microirrigation" (Rodrigo-López *et al.*, 1992).

La localització consisteix en què només s'humiteja una part del volum del sòl i es pretén que les arrels obtinguin d'aquest volum de sòl els nutrients que necessiten. L'efecte de la localització es manifesta en modificar l'evaporació i la transpiració i la distribució de les arrels, entre d'altres. A més, la localització del reg gairebé obliga a què aquest s'apliqui amb alta freqüència (Figura 5) ja que el volum de sòl humit és reduït i per tant la capacitat d'emmagatzematge és baixa (Pizarro, 1990).

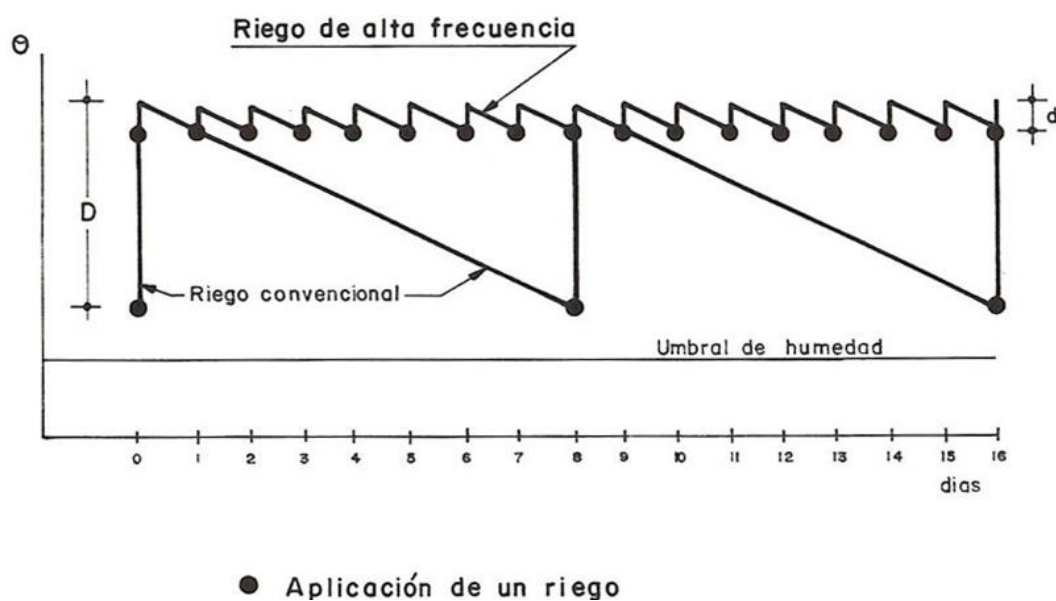


Figura 5. Comparació entre un sistema de reg tradicional i un RLAFA pel que fa a aplicacions d'aigua (Pizarro, 1990)

- **Avantatges i inconvenients del reg localitzat**

Les característiques comentades anteriorment confereixen als sistemes de reg localitzat una sèrie d'avantatges i inconvenients enfront dels altres sistemes de reg que cal conèixer i tenir en compte a l'hora d'implementar-los en qualsevol parcel·la. A la Taula 3 s'exposen els més rellevants.

Taula 3. Avantatges i inconvenients dels sistemes de reg localitzat (Elaborat a partir de Keller, 2002).

Avantatges	Inconvenients
<ul style="list-style-type: none"> • Estalvi d'aigua i mà d'obra • Major producció per unitat d'aigua consumida i unitat de terreny utilitzat • Major facilitat per a les pràctiques de cultiu • Ús d'aigües salines • Ús de terrenys pedregosos i amb pendent 	<ul style="list-style-type: none"> • Costos alts • Obturació dels emissors • Condicions limitants del sòl • Perill relacionats amb la salinitat, no funcionament del sistema, problemes del sistema de filtrat, entre d'altres

1.4. Disseny dels sistemes de RLAF

El disseny d'una instal·lació de reg és el primer pas d'una cadena, que continua amb l'execució de la instal·lació i posteriorment les pràctiques de maneig i conservació. Així doncs, la clau per un bon disseny consisteix en establir de la forma més precisa possible les prestacions que posteriorment s'exigiran a la instal·lació. En segon lloc caldrà conèixer els paràmetres que determinen les restriccions a les quals s'ha de sotmetre el projecte, com geometria del terreny, classe de sòl, localització, quantitat i qualitat d'aigua disponible, possibles restriccions, entre d'altres (Rodrigo-López *et al.*, 1992).

Per tal de complir amb els objectius citats anteriorment cal realitzar una sèrie d'estudis i anàlisis que convergeixin en projectar una instal·lació optimitzada. Aquest procés s'anomena disseny de la instal·lació i es pot subdividir en dues etapes: disseny agronòmic i disseny hidràulic.

1.4.1. Disseny agronòmic

El disseny agronòmic és el component principal en qualsevol projecte de reg, i els RLAF no són una excepció. És la part en que els errors tenen conseqüències més greus (Pizarro, 1990).

Tot projecte de disseny agronòmic s'inicia amb el valor d'evapotranspiració.

S'entén per evapotranspiració (ET) la combinació de dos processos: evaporació des del sòl i des de la superfície coberta per les plantes i la transpiració des de les fulles de les plantes. Aquests dos processos tenen lloc de manera simultània i continuada.

El càlcul de la ET per tant s'utilitza per saber quina quantitat d'aigua necessiten les plantes pel correcte desenvolupament. Cal calcular-la de la manera més precisa possible per tal que els volums d'aigua utilitzats siguin els correctes.

Per què es produeixi ET cal que es compleixin una sèrie de requisits:

1. Presència d'aigua.
2. Presència d'una font d'energia (sol) que transformi el líquid en vapor.
3. Producció del fenomen físic que separa el vapor d'aigua de la superfície d'evaporació.

Les plantes, pel seu creixement, necessiten aigua i nutrients que obtenen del sòl mitjançant el sistema radicular, CO_2 que obtenen de l'atmosfera a través de les fulles i una font d'energia (sol).

Les principals fonts d'aigua són la pluja i el reg. Una part d'aquesta aigua s'infiltra al sòl i serà la que la planta podrà utilitzar. La part restant quedarà dipositada sobre les fulles i la superfície del sòl i serà la que s'evaporarà amb més facilitat. Per obtenir el CO_2 de l'atmosfera la planta obre els estomes (porus microscòpics en la superfície de les fulles). Durant aquest procés té lloc una alliberació d'aigua cap a l'atmosfera (transpiració).

Un cop la planta té disponibilitat d'aigua i CO_2 , es produeix a les fulles la fotosíntesis, procés mitjançant el qual la planta sintetitza glucosa.

Per mesurar l' ET es poden utilitzar aparells com el lisímetre però és un procés llarg i costós per la qual cosa és més habitual utilitzar equacions empíriques i analítiques.

La majoria de les equacions d'ET es desenvolupen relacionant mesures d'ET amb mesures de paràmetres climàtics que afecten de manera directa o indirecte a la ET. Com que hi ha tants factors implicats i la formulació es fa complicada, s'acostuma a utilitzar l'evapotranspiració per un cultiu de referència (ET_o), de manera que es pot utilitzar per gran varietat de condicions. El cultiu de referència és una superfície de gramínies amb unes característiques físiques i biològiques determinades.

A partir d'aquesta es procedeix al disseny agronòmic. Es poden diferenciar 7 passos:

1. Càlcul de les necessitats d'aigua de reg (NAR)

Primerament es calcula l'evapotranspiració real del cultiu:

$$ET_c = ET_o \times K_c \times K_L \quad (1)$$

On:

- ET_c : evapotranspiració del cultiu (mm dia^{-1})
- ET_o : evapotranspiració de referència (mm dia^{-1})
- K_c : coeficient de cultiu (adimensional)
- K_L : coeficient de localització (adimensional)

Al llarg dels anys s'han proposat varis procediments per tal de corregir la ET_c per l'efecte de localització (K_L). Entre aquests en destaquen per la seva facilitat d'ús els basats en la fracció d'àrea ombrejada pel cultiu (Pizarro, 1990).

$$A = \frac{\pi \times r^2}{\text{marc de plantació}} \quad (2)$$

On:

- A : àrea del sòl ombrejada per la coberta vegetal al migdia en el solstici d'estiu (m^2)
- Marc de plantació : separació entre arbres (m^2)
- r : radi del marc de plantació (m)

Diversos autors han estudiat la relació entre K_L i A , obtenint les fórmules següents:

- Aljibury *et al.* 1974 : $K_L = 1,34 + A$
- Vemeiren i Jobling 1980 (citen a Decroix). : $K_L = 0,1 + A$
- Hoare *et al.* 1974: $K_L = A + 0,5 (1-A)$
- Keller 1978: $K_L = A + 0,15 (1-A)$

Paral·lelament a la correcció aplicada mitjançant K_L s'aplica també un coeficient de cultiu K_c que permet calcular la ET de qualsevol cultiu tenint en compte les característiques d'aquest, essent per tant, diferent per cada espècie i depenent de la fase de creixement i mes de l'any (Pizarro, 1990). Doorenbos i Pruitt (1977) van recomanar coeficients K_c per diversos cultius en les seves fases de desenvolupament. A Catalunya, Girona (2013) ha proposat valors de K_c per conreus llenyosos com la pomera.

Prèviament al càlcul de les necessitats d'aigua de reg cal tenir en compte que no tota l'aigua que s'aplica està disponible per la planta o va destinada al reg. L'eficiència de reg (E_f) pretén comptabilitzar el percentatge d'aigua que va destinat a la planta. Els components d'aquesta eficiència són l'eficiència de percolació i/o l'eficiència de salinitat (s'escull el valor més petit ja que portarà al cas més desfavorable de NAR) i el coeficient d'uniformitat.

L'eficiència de percolació i el coeficient d'uniformitat es calculen mitjançant els valors proposats per Keller (1978) i Keller i Karmelli(1974) respectivament.

L'eficiència de salinitat es calcula segons la fórmula:

$$E_{f_s} = 1 - NL \quad (3)$$

On:

- E_{f_s} : eficiència per salinitat (percentatge)
- NL : necessitat de rentat (adimensional)

La necessitat de rentat, per la seva banda es determina segons:

$$NL = \frac{CEw}{2 \times Max\ CEs} \quad (4)$$

On:

- NL : necessitat de rentat (adimensional)
- CEw : conductivitat elèctrica de l'aigua a 25°C (dS m⁻¹)
- Max CEs : màxima conductivitat elèctrica a saturació (dS m⁻¹)

En funció de quins siguin els valors de E_{fp} i E_{fs}, l'E_{fr} es calcularà com:

$$E_{fr} = E_{fp} \times CU \quad (5)$$

$$E_{fr} = E_{fs} \times CU \quad (6)$$

On:

- E_{fr} : eficiència de reg (percentatge)
- E_{fp} : eficiència de percolació (percentatge)
- E_{fs} : eficiència de salinitat (percentatge)
- CU : coeficient d'Uniformitat (adimensional)

Finalment es procedeix al càlcul de les Necessitats d'Aigua de Reg (NAR), s'utilitza l'E_{fr} més petita:

$$NAR = \frac{ET_c}{E_{fr}} \quad (7)$$

On:

- NAR : necessitat d'aigua de reg (mm dia⁻¹)
- ET_c : evapotranspiració del cultiu (mm dia⁻¹)
- E_{fr} : eficiència de reg (percentatge)

En RLAF no es té en compte la pluja efectiva a efectes de disseny agronòmic, però sí que s'ha de tenir en compte a efectes de maneig.

Introduint a l'equació (7) el marc de plantació s'obtenen les necessitats d'aigua en litres per dia i planta (8):

$$NAR = NAR \left(\frac{\text{mm}}{\text{dia}} \right) \times \text{marc de plantació} \left(\frac{\text{m}^2}{\text{planta}} \right) = \left[\frac{L}{\text{dia i planta}} \right] \quad (8)$$

2. Càlcul de la profunditat p que es vol mullar. Ha d'estar compresa entre 0,9 i 1,2 la profunditat de les arrels p_r.

$$0,90p_r < p < 1,20p_r \quad (9)$$

3. Càlcul de l'àrea mullada per l'emissor a una profunditat de 30cm, corresponent a l'àrea amb major presència d'arrels en fruiters.

$$A_e = \pi \times r^2 \quad (10)$$

On:

- A_e : àrea mullada per un emissor a 30 cm de profunditat (m²)
- r : radi del bulb d'humitat a 30 cm de profunditat (m)

L'aplicació continuada d'aigua en un punt concret del sòl provoca un humitejament progressiu d'aquest en totes direccions. A causa de la forma que pren el volum de sòl quan es mulla, aquest s'anomena bulb d'humitat.

La determinació del bulb d'humitat és un pas clau en disseny agronòmic ja que en funció d'aquest el volum d'aigua a aplicar variarà.

Per determinar el bulb d'humitat i en conseqüència la profunditat i el radi del bulb d'humitat (r) es poden utilitzar diferents mètodes entre els quals destaquen: les proves a camp, equacions empíriques (Schwartzmass i Zur, 1986) i programes de simulació (Drip-Irrigator).

4. Càlcul del percentatge de sòl mullat per un emissor: es busca la relació entre l'àrea mullada per un emissor i l'àrea total del marc de plantació.

$$P_m = \frac{A_e}{\text{Marc de plantació}} \quad (11)$$

On:

- P_m : percentatge de sòl mullat (percentatge)
- A_e : àrea mullada per un emissor a 30 cm de profunditat (m²)
- Marc de plantació : marc de plantació (m²)

Es recomana que el percentatge de sòl mullat sigui d'entre un 33% i un 66% de l'àrea total de la parcel·la.

5. Càlcul del número d'emissors, N_e . Cal que es compleixi que:

(% de sòl mullat per 1 emissor) x (N^o emissors) \geq % sòl mullat total recomanat

és a dir,

$$\frac{A_e}{\text{Marc de plantació}} \times N_e \geq P_m \quad (12)$$

per tant,

$$N_e \geq \frac{P_m \times \text{Marc de plantació}}{A_e} \quad (13)$$

6. Interval de regs: es calcula la freqüència d'aplicació tenint en compte els volums d'aigua i el nombre d'emissors seleccionats.

$$I = \frac{e \times V_e}{NAR} \quad (14)$$

On:

- I : interval de regs (dies)
- e : emissors
- V_e : volum d'emissió (L)
- NAR : necessitats de reg totals (L dia⁻¹)

7. Temps de reg: a partir de les necessitats d'aigua calculades i el cabal i número d'emissors es calcula el temps de reg.

$$t = \frac{NAR}{q_e \times N_e} \quad (15)$$

On:

- t : temps de reg (h)
- NAR : necessitats d'aigua de reg totals (L dia⁻¹)
- q_e : cabal dels emissors (L h⁻¹)
- N_e : n^o d'emissors

1.4.2. Disseny hidràulic

La segona i última fase del disseny consisteix en el dimensionament del sistema de reg, és a dir, del diàmetre i longitud de les canonades, pressions necessàries i potència del grup de bombeig si es requereix. Aquest ha de ser capaç de subministrar les dosis de reg calculades en l'apartat anterior. Cal que sigui un sistema eficient, és a dir, ha de minimitzar les pèrdues d'aigua en la distribució, conducció i aplicació i fer un ús racional de l'energia.

1.5. Bulb d'humitat

Es coneix per bulb d'humitat la part del sòl humitejada per un emissor de reg localitzat (Pizarro, 1990). A la Figura 6 es pot apreciar un bulb d'humitat generat per un emissor puntual en reg localitzat.

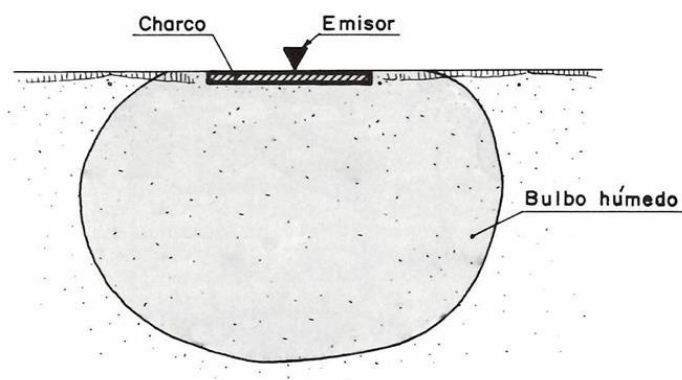


Figura 6. Bulb d'humitat (Pizarro, 1990).

1.5.1. Formació del bulb

Tot i que els emissors de RLAF tiren petits cabals, quan l'aigua comença a fluir incideix sobre una superfície molt reduïda del sòl i crea un petit bassal (Figura 6), el radi del qual va augmentant a mesura que continua el reg. A mesura que el sòl es va humitejant la velocitat de infiltració (i) de l'aigua disminueix, ja que encara que el gradient de potencial hidràulic (K) augmenti a causa de l'aproximació a la saturació, el gradient de potencial disminueix en una proporció major. Quan el cabal de reg de l'emissor dividit entre la superfície del bassal s'iguali a la velocitat de infiltració, el bassal s'estabilitza (Pizarro, 1990).

1.5.2. Forma del bulb

En quant a la forma del bulb són varis els factors que poden afectar-la. En funció del tipus de sòl (argilós, franc, arenós, etc.) la velocitat de infiltració serà diferent, fet que modificarà el radi humit (Figura 7). En el cas dels sòls pesats per exemple, la velocitat d'infiltració és menor que en sòls lleugers, el que provocarà que el radi humit sigui major. L'estratificació també afecta al moviment d'aigua i a la retenció d'aigua i per tant al bulb humit.

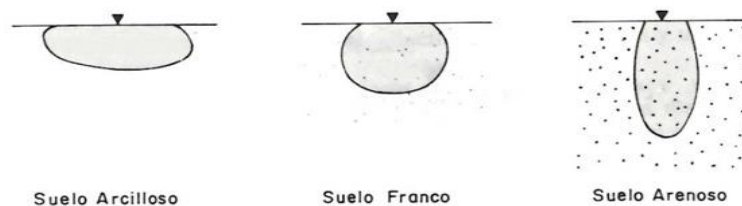


Figura 7. Efecte de la textura en la forma del bulb d'humitat (Pizarro, 1990).

1.5.3. Estimació del bulb humit

Per determinar el bulb d'humitat generat per un emissor es poden dur a terme proves de camp per tal de veure fins a quina profunditat s'infiltra l'aigua però requereixen temps i equipaments i suposen un cost econòmic. Per contra és el mètode més fiable per seleccionar separació entre emissors i volums d'aigua de reg. L'altra opció és la utilització de models empírics o físics.

En l'aproximació mitjançant models físics es descriu el moviment de l'aigua en sòls no saturats amb l'equació de Richard's. Aquesta equació es podria resoldre analíticament o numèricament, essent aquest últim mètode el més realista ja que permet tenir en compte el domini de flux, les condicions del contorn (límits) i les propietats del sòl (Warrick, 2003).

En els últims anys són varis els models que s'han presentat per analitzar el moviment d'aigua en el sòl però a causa de la falta d'una interfície fàcil d'utilitzar i interpretar, la seva utilització és molt baixa. Hi han altres programes (HYDRUS 2D/3D) de propòsit general que permeten crear dominis de flux i condicions de contorn adequades per simular la distribució d'aigua en el sòl en reg localitzat però la seva utilització torna a ser baixa en l'àmbit de disseny de sistemes de reg, si bé, no ho és en articles científics (Arbat *et al.*, 2013).

Avui en dia, hi ha tres softwares diferents que poden proporcionar els factors de planificació necessaris per al disseny de sistemes de reg localitzats en una interfície fàcil d'utilitzar (Arbat *et al.*, 2013):

- WetUp (Cook *et al.*, 2003): mostra els patrons d'humitejament a partir d'una base de dades de diferents tipus de sòls. Contempla el reg localitzat en superfície i enterrat. Els resultats es basen en el mètode d'aproximació de Thorburn *et al.* (2003) per al càlcul de les distàncies verticals i horitzontals de l'àrea que s'assumeix com a el·líptica. També es compara el mètode de càlcul de distàncies humides amb les equacions d'aproximació analítica de Philip (1984).
- Neuro-Drip (Hinnell *et al.*, 2010): mostra els patrons d'humitejament del reg localitzat enterrat. Es basa amb una xarxa neuronal artificial que treballa amb simulacions numèriques portades a terme per HYDRUS-2D (Šimůnek *et al.*, 2006).
- Drip-Irrigator (Arbat *et al.*, 2013): permet calcular patrons d'humitejament del sòl en gran varietats de sòl. Es basa en l'equació de Richard's.

1.6. Drip-Irrigator

El Drip-Irrigator és un codi desenvolupat per Arbat *et al.* (2013) que permet calcular els patrons d'humitejament del sòl ja sigui en sòls homogenis o estratificats. El codi es basa en la solució numèrica de l'equació de Richard's bi-dimensional (16) utilitzant el mètode de diferències finites.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial H}{\partial z} \right) \quad (16)$$

On:

- θ : contingut volumètric del sòl ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)
- t : temps (s)
- x : coordenada horitzontal (m)
- z : coordenada vertical (m)
- H : potencial hidràulic (m)
- h : potencial de pressió (m)
- K : conductivitat hidràulica no saturada (m s^{-1})

El codi està format per dos softwares diferents: la interfície gràfica de l'usuari (GUI) i el programa que porta a terme el procediment de càlcul numèric.

En la Figura 8 s'observa la interfície gràfica de l'usuari.

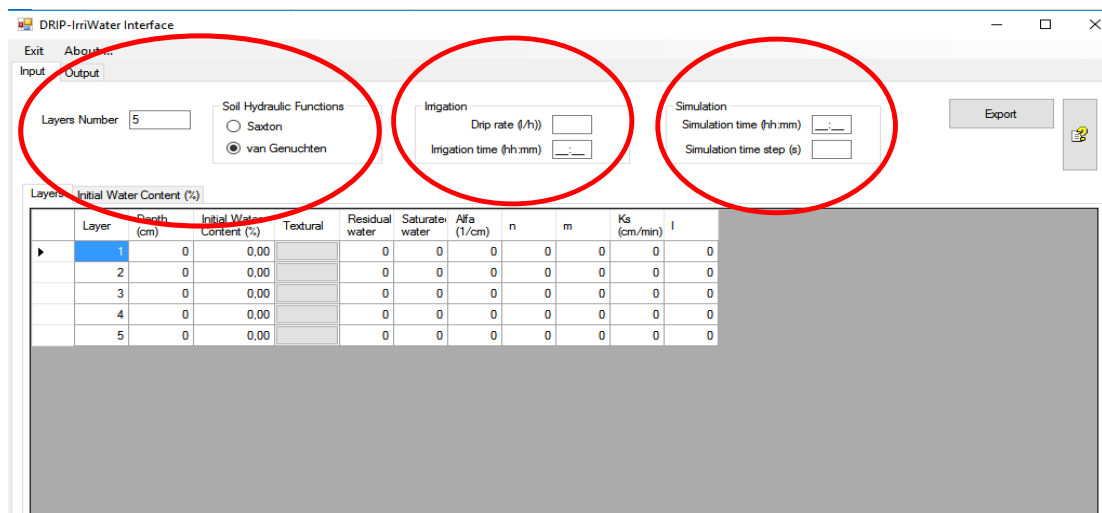


Figura 8. Interfície gràfica del Drip-Irrigator.

Es poden diferenciar tres grups de paràmetres a introduir:

- Paràmetres del sòl: nombre d'horitzons i funcions hidràuliques del sòl
- Paràmetres de reg: cabal de descàrrega de l'emissor i durada del reg.
- Paràmetres de simulació: temps de simulació i passos de temps de la solució numèrica (temps d'iteració).

Les funcions hidràuliques del sòl són:

- Corba de retenció d'aigua: relació entre el contingut d'aigua i el potencial matricial.
- Conductivitat hidràulica insaturada: relació entre la conductivitat hidràulica i el contingut d'aigua o potencial matricial.

Aquestes funcions es poden determinar en el codi Drip-Irrigator a partir dels mètodes de Saxton *et al.* (1986) o de van Genuchten (1980). En aquest treball s'ha optat per la solució de van Genuchten ja que és la més utilitzada per la comunitat científica internacional per les seves característiques.

La funció de retenció d'aigua de van Genuchten (1980) ve donada per l'expressió (17) i té una forma semblant a la representada en la Figura 9.

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + (\alpha h)^n)^m}; m=1/n-1 \tag{17}$$

On:

- $\theta(h)$: contingut d'aigua a la corba de retenció ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)
- h : profunditat (cm)
- θ_r : contingut d'aigua residual ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)
- θ_s : contingut d'aigua saturada ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)
- α i n : paràmetres de la corba (adimensionals)
- m : $1-1/n$ (adimensionals)

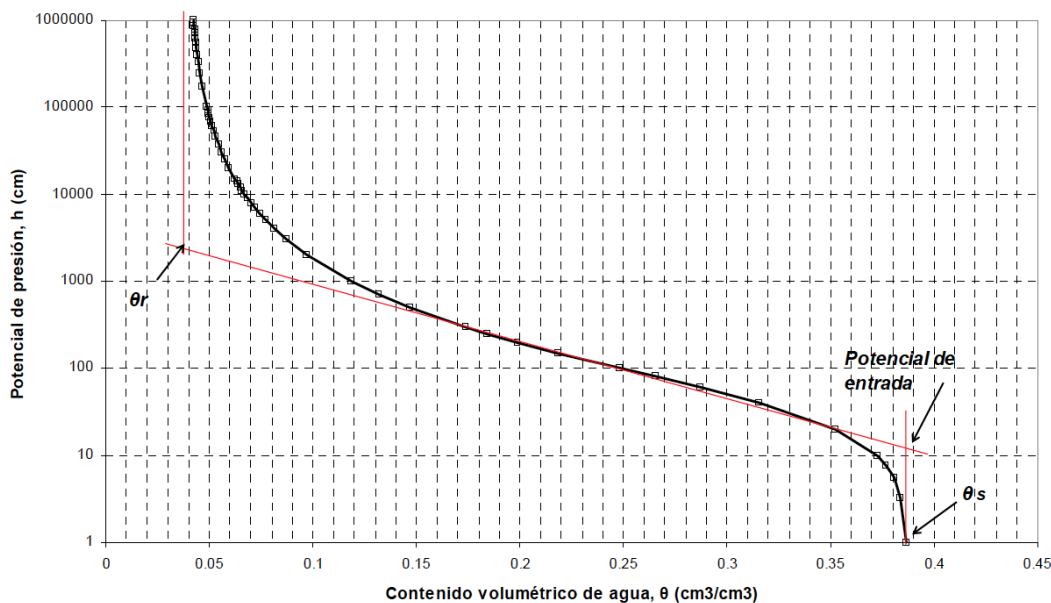


Figura 9. Representació gràfica de l'equació de van Genuchten per un sòl determinat (Arbat, 2006).

Treballant amb l'equació de van Genuchten el codi permet l'entrada de dades en dos formats diferents:

1. Es poden entrar manualment tots els paràmetres de l'equació (constant residual, constant de saturació, contingut volumètric, alfa, m, n, conductivitat hidràulica i l).
2. Es pot entrar la classe textural i el programa associa uns valors a cada paràmetres. Extreu les dades d'una base de dades referenciada a nivell mundial.

Si s'opta per a l'entrada manual, la solució serà més precisa que entrant la classe textural. En aquest cas, els valors de l'equació (17) es poden obtenir mitjançant un software (HYDRUS 2D) que porta incorporat el model Rosetta (Schaap *et al.*, 2001). Les dades d'entrada per aquest model poden ser des de la classe textural en el cas de disposar de la mínima informació, fins al percentatge de sorra, llims i argila, la densitat aparent i el contingut d'aigua a -33 kPa i a -1500 kPa, en el cas més complex. Les funcions d'edafotransferència del model Rosetta han estat obtingudes a partir d'extenses bases de dades i el mètode de les xarxes neuronals que aplica el model assegura la obtenció de la major informació a partir de les dades disponibles (Arbat *et al.*, 2013).

En la Figura 10 es pot observar la sortida gràfica del programa Drip-Irrigator. Apareix una petita zona colorejada en blau que es degrada amb la profunditat i l'amplada i representa el gradient entre el màxim i el mínim contingut d'aigua del sòl a partir dels intervals definits per l'usuari. La malla on es mostren els resultats és de 5 cm per 5 cm.

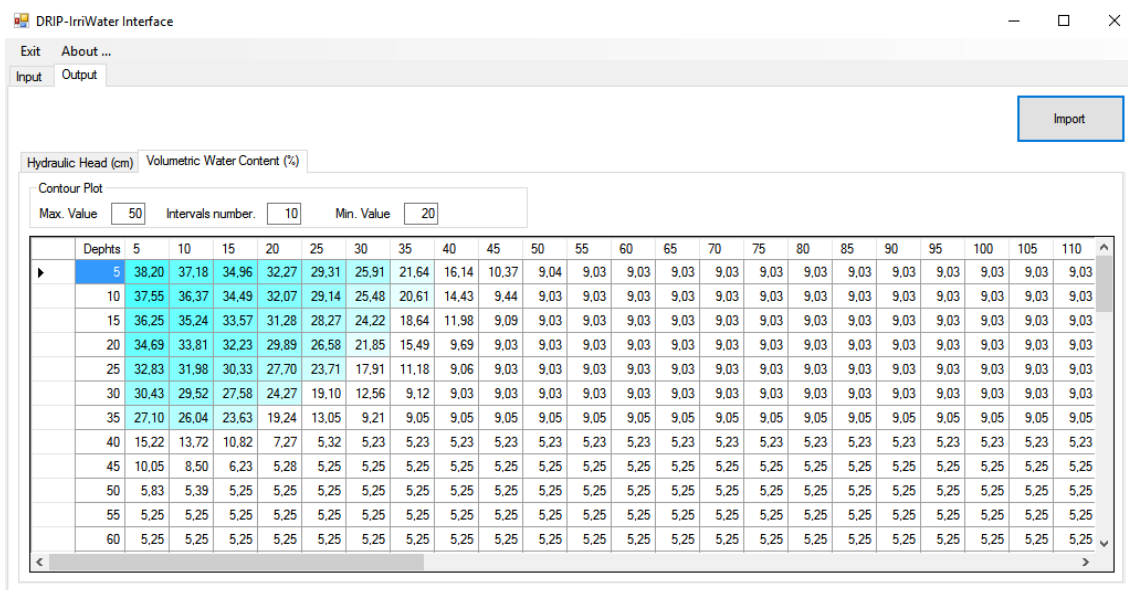


Figura 10. Resultats (contingut volumètric) expressats de forma gràfica en la sortida del programa Drip-Irrigator.

1.7. Mapa de sòls

Un mapa no és la realitat del terreny, sinó una representació de coneixement estructurat sobre la distribució dels sòls en el paisatge. És una aproximació a la realitat del terreny, aproximació que serà tant més precisa, com més alta haurà estat la densitat d'observacions i més detallada sigui l'escala. La representació cartogràfica dels sòls d'un territori determinat constitueix una visualització de les propietats intrínseques dels sòls i la delimitació del seu àmbit concret de distribució (IEC, 2008).

La representació cartogràfica dels sòls d'un territori determinat constitueix una visualització de les propietats intrínseques dels sòls.

La informació obtinguda a partir de l'avaluació de les propietats dels sòls constitueix un element clau, i força permanent, per a la presa de decisions amb vista a un ús i maneig del sòl, una protecció ambiental i una planificació territorial adequades (IEC, 2008).

Els mapes de sòls tenen la finalitat de:

- Sintetitzar en únic document les propietats claus dels sòls mitjançant un seguit de codificacions i llegendes que permeten una ràpida interpretació.
- Descriure la distribució de les unitats de sòls d'acord amb una escala de treball adequada.
- Constituir un document gràfic de síntesi d'inventari i/o avaluació d'unitats de sòls, amb la distribució corresponent damunt el territori.
- Contribuir a la difusió del coneixement del sòl i la situació en l'espai de sòls i les seves propietats.
- Accedir d'una manera ràpida a la informació de sòls.

En actuacions directament relacionades amb l'aigua poden utilitzar-se per:

- Identificar les condicions de drenatge dels sòl i capes freàtiques superficials.
- Avaluar la vulnerabilitat de capes freàtiques superficials.
- Conèixer els usos del sòl.

En els mapes de sòls les sèries s'utilitzen per agrupar els sòls que tenen unes característiques físiques, químiques i mineralògiques semblants i s'utilitzen per transferir informació edafològica i coneixement des d'un indret (allà on s'ha obtingut) a un altre (allà on hi ha sòls semblants).

Els sòls d'una determinada sèrie tenen propietats observables similars, tenen reaccions similars pel que fa a l'ús i al maneig, tenen horitzons similars en quant a profunditat, disposició i característiques i són homogenis i desenvolupats a partir del mateix material originari (IEC, 2008).

Els criteris de diferenciació es poden resumir en:

- Classes, gruixos i disposició del horitzons
- Estructura, color, textura, consistència, contingut en carbonat càlcic i sals solubles, matèria orgànica, elements grossos i composició mineralògica.

En quant a la denominació de les sèries se'ls hi acostuma a donar el nom del lloc on han estat descrites per primera vegada, i és un indret al voltant del qual aquell sòl es troba representat (nom local).

1.8. Eines informàtiques

1.8.1. SIG

S'entén per sistema d'informació geogràfica (SIG o GIS de l'anglès) aquell sistema informàtic que permet als usuaris crear consultes interactives, integrar, analitzar i representar de forma eficient qualsevol tipus d'informació geogràfica referenciada a un territori, connectant mapes amb bases de dades.

Els SIG organitzen les dades per capes (Figura 11) i cada una d'aquestes es pot relacionar amb les altres mitjançant procediments d'anàlisi.

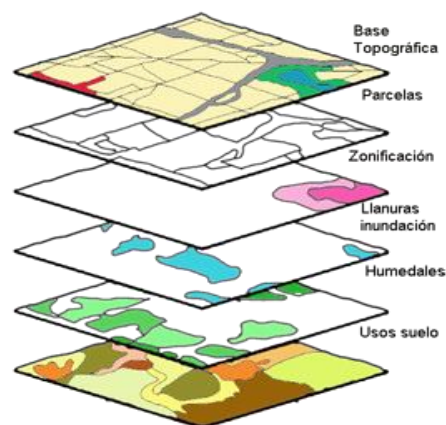


Figura 11. Exemple de capes d'un SIG (Universidad de Salamanca, 2002).

Les capes poden ser vectorials o ràster en funció de la seva representació (Figura 12). En els models vectorials es treballa amb punts, línies i polígons mentre que en els models ràster es treballa amb píxels o cel·les de la mateixa mida que alhora el conjunt d'aquests es pot entendre com un polígon a efectes de propietats espacials.

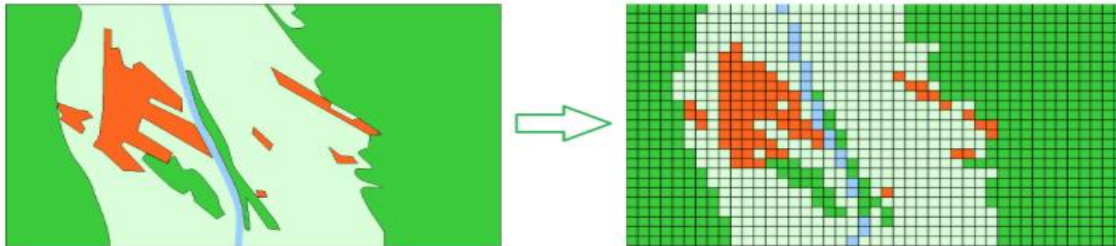


Figura 12. Exemple d'una mateixa capa en format vectorial i en format ràster respectivament.

L'ús d'aquests tipus de sistemes (SIG) facilita la visualització de dades obtingudes en un mapa amb la finalitat de relacionar fenòmens geogràfics de qualsevol tipus, des de mapes de carreteres fins a sistemes d'identificació de parcel·les agrícoles.

A més permet realitzar consultes i representar els resultats en un entorn web i dispositius mòbils amb la finalitat de resoldre problemes de planificació i gestió.

Així doncs es conforma com una eina molt útil de recolzament per a la presa de decisions. Hi ha varietat de plataformes, tant de pagament com de programari lliure, per a treballar amb SIG com per exemple: ArcGIS, Miramon, GeoMedia, InstaMaps, AutoCAD, gvSIG, o QGIS.

- **QGIS**

QGIS és un Sistema d'Informació Geogràfica (SIG) de codi obert sota una llicència (GNU-General Public License). QGIS és un projecte oficial de Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). És compatible amb Linux, Mac OSX, Windows i Android. Permet gestionar formats ràster i vectorial així com bases de dades. Per altra banda també permet la integració de plugins desenvolupats tant amb C++ com amb Phyton.

- InstaMaps

InstaMaps és una eina senzilla creada per l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) que permet dissenyar mapes. L'usuari pot posicionar punts d'interès i dibuixar línies o polígons amb informació associada. Es pot partir per exemple d'un mapa topogràfic, ortofotogràfic o un mapa de relleu.

Una vegada triat l'estil del plànol, l'usuari pot carregar la seva pròpia informació o bé accedir a la procedent de bases de dades del programa. Finalitzada la confecció del mapa, l'autor el pot publicar a Internet i compartir-lo a les xarxes socials, així com convidar a altres usuaris a aportar-hi nova informació.

Finalment la plataforma incorpora una galeria on es poden visualitzar, compartir, descarregar i editar els mapes creats per l'usuari. Aquest sempre podrà decidir si crea mapes públics o privats.

A la Figura 13 es mostra una captura de pantalla de la plataforma InstaMaps.

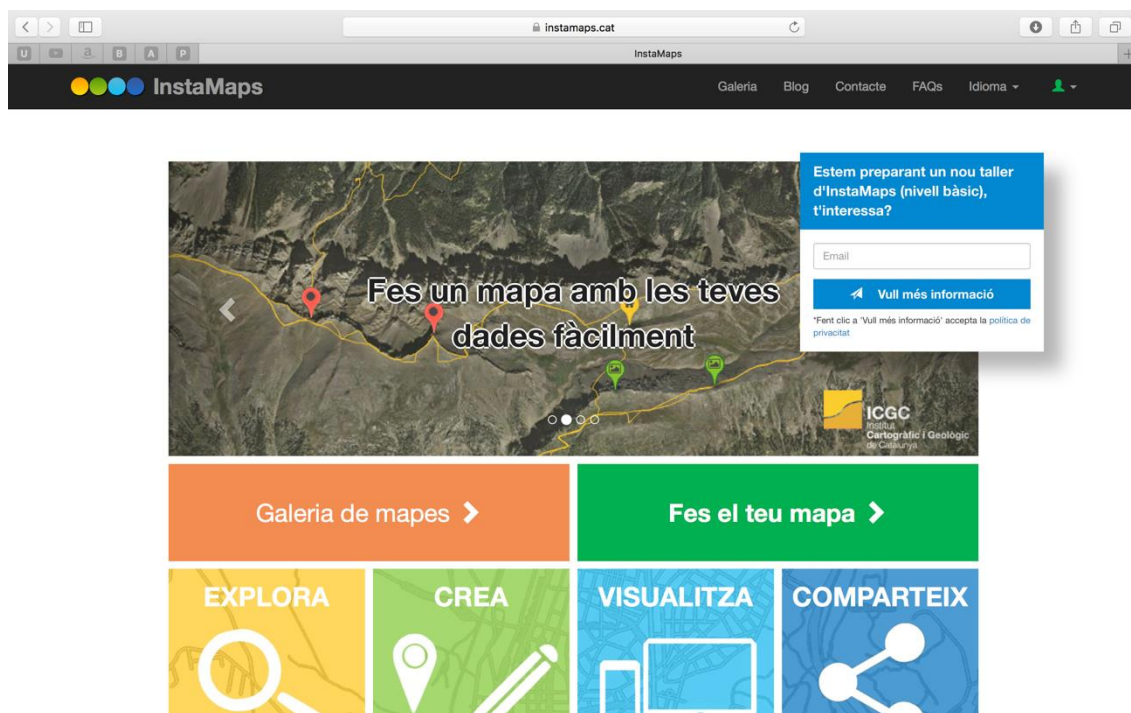


Figura 13. Captura de pantalla de la plataforma InstaMaps.

1.8.2. APP

Una aplicació mòbil és una aplicació informàtica que s'ha desenvolupat per ser utilitzada en telèfons intel·ligents (smartphones), tauletes tàctils (tablets) i altres dispositius mòbils. Es poden adquirir a través de plataformes de distribució com Google Play, App Store, Nokia Store, entre d'altres i n'hi han de gratuïtes i de pagament.

En un primer moment les aplicacions mòbil es van començar a desenvolupar per millorar la productivitat i la recuperació de documents, incloent funcions com e-mail, calendari, etc.. No obstant això, l'elevada demanda pública i la fàcil disponibilitat i accés a eines de desenvolupament han portat a la ràpida expansió de les aplicacions en altres sectors com els jocs, funcions GPS, compra i venda de productes, consulta de dades, entre d'altres.

Actualment tothom amb uns certs coneixements pot desenvolupar una aplicació ja que els ordinadors personals són suficientment potents com per fer-ho des de casa i no es requereix cap inversió econòmica addicional.

Per desenvolupar una aplicació es pot fer des de qualsevol IDE (Integrated Development Environment), eina informàtica que agrupa diferents funcions en un sol programa: editor de codi, compilador, depurador i un programa pel disseny de la interfície gràfica. Alguns dels IDE's més utilitzats són Eclipse o NetBeans.

Amb aquests sistemes però cal un treball de configuració i integració de les eines que s'utilitzaran previ al desenvolupament de cada projecte. Aquesta tasca pot arribar a suposar una inversió de temps bastant important.

La tasca més important a fer en aquest aspecte és la configuració i integració del SDK (Software Development Kit) d'Android al IDE corresponent. Android SDK és un conjunt d'eines (classes i funcions) que ofereix Google als desenvolupadors per tal de fer la seva feina més fàcil.

El 16 de maig de 2013 Google va anunciar Android Studio (Figura 14) i es va convertir en la IDE oficial per a desenvolupar aplicacions Android substituint a Eclipse com a tal.

Android Studio permet dissenyar i crear aplicacions per Android (tant la part gràfica com la funcional) evitant els processos d' integració i configuració de plataformes que, com ja s'ha comentat anteriorment, en programes anteriors suposava una inversió important de temps.

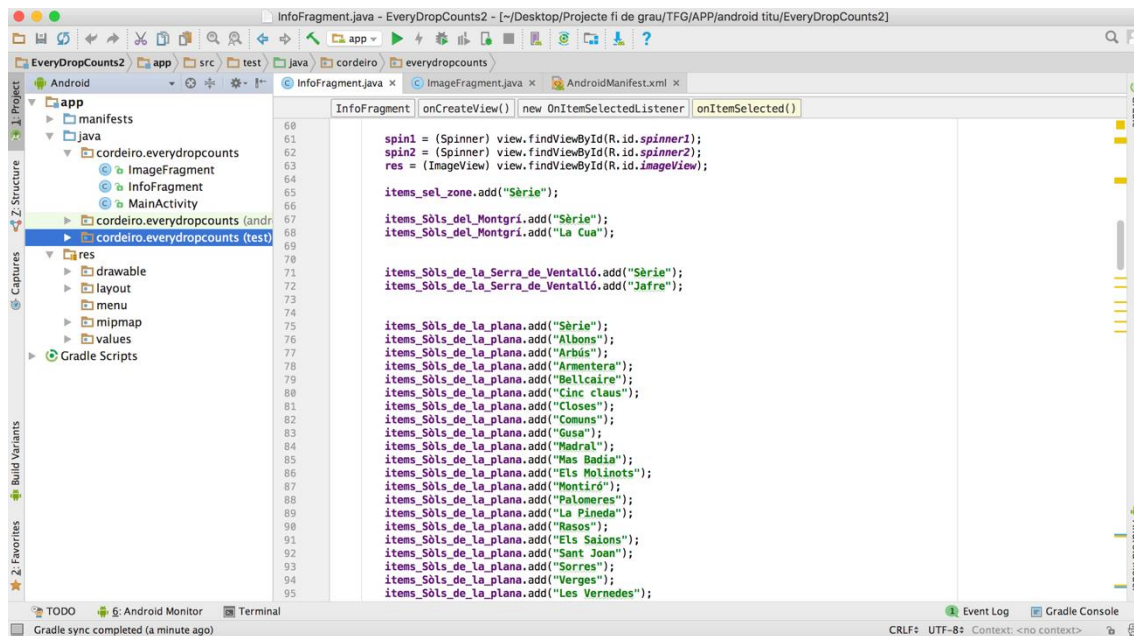


Figura 14. Captura de pantalla del programa Android Studio.

Aquest programa és gratuït a través de la Llicència Apache 2.0 i està disponible per les plataformes Microsoft Windows, Mac OS X i GNU/Linux.

Com s'ha comentat anteriorment una aplicació està formada principalment de dues parts:

- Interfície gràfica: correspon a la part que veu l'usuari i interactua amb ella, ja sigui amb menús desplegable, clicant imatges, escollint valors, etc. També es podria entendre com la forma que té l'usuari de comunicar-se amb la màquina.
- Part funcional: correspon a la part que porta a terme els càlculs i gestiona totes les accions i variacions que pot realitzar l'aplicació. Conté també tota la informació que es mostra en la part gràfica.

En el desenvolupament d'una aplicació es poden diferenciar 5 fases (Cuello i Vittone, 2013):

1. Conceptualització: el resultat d'aquesta etapa és una idea d'aplicació, que té en compte les necessitats i problemes dels usuaris.
2. Definició: en aquesta etapa es descriu amb detall als usuaris per a qui va dirigida l'aplicació. També es defineixen les bases de funcionalitat, el que determinarà l'abast del projecte i la complexitat del disseny de l'aplicació.
3. Disseny: aquesta fase del desenvolupament té per objectiu portar a un pla tangible els conceptes i definicions anteriors.
4. Desenvolupament i test de funcionament: el programador s'encarregarà de donar vida als dissenys anteriors i crearà l'estructura d'accions i informació sobre la qual treballarà l'aplicació. Paral·lelament a això cal anar provant l'aplicació des de la perspectiva del usuari per anar trobant i resolent els errors que es podrien donar.
5. Publicació: finalment l'aplicació es posa a disposició dels usuaris.

2. OBJECTIUS

La competència existent sobre l'aigua per part de diferents sectors confereix a aquests la responsabilitat de fer-ne un bon ús. En aquest treball final de grau es pretén elaborar una eina de disseny que permeti millorar l'ús de l'aigua en reg localitzat.

Els objectius proposats són:

1. Obtenció d'un mapa de bulbs d'humitat per reg en degoteig associat al mapa de sòls en format SIG de la zona del Baix Ter i consultable des de diferents entorns.

Per tal d'aconseguir aquest objectiu caldrà:

- i. Identificació dels sòls aptes per a regadiu i determinació de les propietats edafològiques rellevants pel reg.
 - ii. Definició dels paràmetres de l'equació de van Genuchten per a la simulació de moviment d'aigua en el sòl mitjançant el codi Drip-Irrigator.
 - iii. Determinació dels paràmetres de reg (cabal i volum) emprats en les simulació.
2. Desenvolupament d'una aplicació Android de consulta ràpida de les dades de bulb d'humitat a la zona del Baix Ter.

3. METODOLOGIA

3.1. Plantejament

Per aconseguir els objectius plantejats es dissenya una metodologia que pretén analitzar les dades d'evapotranspiració de referència (ET_0) de La Tallada d'Empordà per utilitzar-les com a base del càlcul de les necessitats d'aigua de reg. A partir aquestes es determinaran els volums d'aplicació que juntament amb el cabal dels emissors definiran els temps de reg. Mitjançant el codi Drip-Irrigator es realitzaran les simulacions pertinents per obtenir els bulbs d'humitat de cada sòl estudiat. Finalment s'elaborarà un mapa de bulbs d'humitat associat al Mapa de sòl de la zona del Marge Esquerra del Baix Ter i una aplicació Android per consultar les dades de forma ràpida i senzilla.

3.2. Paràmetres climàtics – ET_0

3.2.1. Obtenció dels valors d' ET_0 - Weibull

Per al desenvolupament d'aquest projecte es parteix de les dades climàtiques de l'estació de La Tallada d'Empordà recollides a diari durant una sèrie de 25 anys (1990-2015) Aquesta estació pertany a la Xarxa d'Estacions Meteorològiques Automàtiques i amb dades consultables a través del portal Ruralcat. Aquestes dades estan formades per Temperatura mitjana ($^{\circ}C$), Temperatura màxima ($^{\circ}C$), Temperatura mínima ($^{\circ}C$), Humitat Relativa (%), Humitat Relativa mínima (%), Velocitat del vent mitjana (m/s), Velocitat del vent màxima (m/s), Direcció del vent (graus), Radiació neta (MJ/m^2), Radiació Global (MJ/m^2), Pluja (mm) i Evapotranspiració de referència (ET_0 , mm), essent aquesta última la de major interès pel projecte.

El recull de dades mitjanes d' ET_0 es troba a l'Annex I.

Es realitza un estudi estadístic de les dades d' ET_0 utilitzant el mètode de Weibull i s'aplica sobre la mitjana mensual dels mesos de juny, juliol i agost i sobre els valors diaris dels mesos de juliol.

El fet de centrar l'estudi en aquest tres mesos de l'any i no en alguns altres roman en que els valors màxims d'evapotranspiració (dada base en el càlcul del reg) es donen en aquesta franja de l'any.

Treballant amb els valors màxims s'aconsegueix un disseny de reg adequat per les condicions més desfavorables.

- **Mètode de Weibull**

El mètode de Weibull és un mètode d'anàlisi que permet estudiar la probabilitat associada a unes dades contínues o bé quin valor correspon a una determinada probabilitat.

L'equació de distribució de Weibull ve definida per l'equació següent:

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta} \quad (18)$$

On :

- $F(x)$: freqüència de la variable
- x : variable estudiada
- α , β : paràmetres de l'equació

Per determinar els paràmetres alfa i beta de l'equació és necessària la seva linealització, que s'obté a partir de l'aplicació de logaritmes.

$$LN(-LN(1 - F)) = \beta x - \beta LN\alpha \quad (19)$$

Canviant les variables, $y = LN(-LN(1-F))$, $a = -\beta LN\alpha$ i $bx = \beta x$ s'obté l'equació de la recta:

$$y=a+bx \quad (20)$$

Igualant l'equació (19) a una altra equació de les mateixes característiques es poden trobar els paràmetres desitjats però primer cal aplicar una sèrie de transformacions i equacions a les dades que es volen analitzar.

S'elabora una taula que contingui a la primera columna els anys/dies dels quals es té dades. A la columna contigua si disposen les dades a analitzar i s'enumeren per tenir un registre d'ordre. A la quarta columna s'ordenen les dades de major a menor i seguidament amb les fórmules següents es calcula una freqüència empírica (F empírica), x i y respectivament.

$$F \text{ empírica} = i / (i+1) \quad (21)$$

$$x = LN (X \text{ valor}) \quad (22)$$

$$y = LN(-LN(1-F \text{ empírica})) \quad (23)$$

A partir de les variables x (22) i y (23) es crea una dispersió de punts i es busca la recta d'ajust, l'equació de la qual s'iguala a l'equació (19) i es troben els paràmetres alfa i beta.

Un cop calculats els paràmetres de l'equació de Weibull cal comprovar que l'anàlisi és correcte i per això es realitza la prova Z de Kolmogorov-Smirnov.

La prova consta de buscar el valor màxim procedent de la resta en valor absolut de les freqüències empíriques (21) i freqüències real, calculades a partir de (18). En funció del numero de dades i el nivell de significança emprat no podrà superar un valor determinat establert en taules.

Si la prova Z és positiva s'utilitza l'equació (18) amb als paràmetres alfa i beta corresponents per calcular el valor d'ET₀ amb una probabilitat associada de no excedència del 90%.

A l'Annex II es pot veure l'aplicació del mètode de forma detallada pels dos grups de dades estudiades.

3.2.1.1. Mitjanes mensuals d'ET₀.

S'entén per mitjanes mensuals d'ET₀ el grup de dades obtingudes mitjançant la mitjana aritmètica dels valors mensuals (juny, juliol i agost) de cada any, és a dir el sumatori dels valors diaris d'ET₀ de cada més dividit entre el número de dies del mes.

L'anàlisi d'aquest grup de dades es divideix en tres parts, corresponents a cada un dels mesos: juny, juliol i agost. Cada part conté i analitza 26 dades, corresponents a les 26 mitjanes d'ET₀ del període 1990-2015.

De l'anàlisi dels tres grups de dades en resulten 3 valors d'ET₀, els quals no es superaran amb un 90% de probabilitat com a mitjana.

3.2.1.2. Valors diaris d'ET_o

S'entén per valors diaris d'ET_o el grup de dades format per els valor d'ET_o recollits a diari durant la sèrie d'anys 1990-2015. S'identifiquen tres grups de dades d'aproximadament 806 valors cada un (juny, juliol i agost). Les 806 dades corresponen als 26 anys per 31 dies (mes de juliol).

Es realitza l'anàlisi de Weibull només pel més de juliol ja que és el que presenta una ET_o superior. En resulta un valor d'ET_o que es correspon amb el que no es superarà amb un 90% de probabilitat.

3.2.2. Discussió del valor de càlcul - ET_o

De l'anàlisi de dades realitzat mitjançant el mètode de Weibull descrit en l'apartat 3.2.1. en resulten 4 valors d'ET_o diferents, tots amb una probabilitat de no excedència del 90%:

- ET_o mitjanes mensuals juny: 5,97 mm dia⁻¹
- ET_o mitjanes mensuals juliol: 5,25 mm dia⁻¹
- ET_o mitjanes mensuals agost: 4,68 mm dia⁻¹
- ET_o valors diaris juliol: 7,23 mm dia⁻¹

Paral·lelament a aquests valors es calcula la mitjana aritmètica de la ET_o dels mesos de juny, juliol i agost per les dades de la mateixa sèrie 1990-2015:

- ET_o mitjana juny: 4,16 mm dia⁻¹
- ET_o mitjana juliol: 4,39 mm dia⁻¹
- ET_o mitjana agost: 3,89 mm dia⁻¹

Es vol dissenyar pel cas més desfavorable per tant es treballa amb les dades de Weibull ja que són majors respecte les mitjanes aritmètiques. Dins el grup de dades obtinguts amb el mètode de Weibull d'estaca el valor de 7,23 mm dia⁻¹, el qual es descarta per tal de no sobredimensionar excessivament.

Dels tres valor restants s'escull l'ET_o del mes de juliol ja que tot i no ser la més elevada, contribuirà en l'obtenció d'una ET_c superior a causa del coeficient de cultiu (K_c), major pel període de juliol que de juny. El valor d'ET_o de càlcul escollit per prosseguir amb el projecte és de 5,25 mm dia⁻¹.

3.3. Paràmetres del sòl

3.3.1. Anàlisi del Mapa de Sòls

Es parteix del document MAPA DE SÒLS DETALLAT (E.1:25.000) DEL MARGE ESQUERRA DEL BAIX TER (ALT I BAIX EMPORDÀ), Margarit *et al.* (1993). Aquest és un mapa elaborat de tipus detallat, tant per la cartografia emprada (E. 1:25.000) com per la categoria taxonòmica que ha estat utilitzada, la sèrie. De cada una d'aquestes es dona informació variada com profunditat del sòl, drenatge, textura, localització, ús i vegetació, règim d'humitat, nivell freàtic, pendent general, horitzons, classificació segons SSS 1975-1990.

De totes les sèries de sòl que recull el document s'ha fet una selecció de les que tenen interès agrícola i/o són de regadiu, és a dir, les que en la seva descripció, en l'apartat d'ús i vegetació s'especifica algun dels següents:

- Cereal tant d'hivern com d'estiu amb algun reg ocasional
- Plantacions de fruiters i hortícoles
- Plantacions que es reguen ocasionalment i habitualment
- Plantacions de blat de moro i pollancre

Dels 55 sòls descrits en el mapa de sòls se'n seleccionen 24: La Cua, Jafre, Albons, Arbús, Armentera, Bellcaire, Cinc Claus, Closes, Comuns, Gusa, Madral, Mas Badia, Els Molinots, Montiró, Palomeres, Pineda, Rasos, Saions, Sant Joan, Sorres, Verges, Les Vernedes, Viladamat i Vilamacolum.

Amb aquests sòl s'elabora una taula Excel (annex III) en la qual es recull la informació més rellevant i necessària pel desenvolupament del projecte, cada punt es correspon amb una columna:

- Unitat taxonòmica: fa referència a la zona. Se'n poden observar 3 de diferents: Sòls del Montgrí, Sòls de la Serra de Ventalló i Sòls de la Plana.
- Sèrie: fa referència a la subzona dins de cada unitat taxonòmic com per exemple: Albons, Bellcaire, Sorres, entre altres.
- Drenatge: indica el tipus de drenatge de la sèrie.

- Horitzó genètic: nomenclatura que indica quin és l'horitzó genètic com per exemple: A, Bw1, C1, R, entre d'altres.
- Profunditat (cm): indica quina és la profunditat del sòl per cada horitzó genètic.
- CE 1:5 (dS/m a 25°C): valors de salinitat.
- CEe (ds/m a 25°C): valors de salinitat.
- Matèria orgànica (%): indica el percentatge de matèria orgànica a cada horitzó.
- Sorra total: sumatori de les sorres totals que formen el sòl.
- Llim total: sumatori dels llims totals que formen el sòl.
- Argila: indica el valor d'argila del sòl.
- Total: sumatori de les quantitats anteriors.
- Textura: indica si és un sòl arenós, franc, argilós o alguna barreja dels anteriors.
- Humitat: contingut volumètric en percentatge a -33 kPa i -1500 kPa, és a dir, a capacitat de camp i a punt de marcimant.
- Da (kg/m³): indica la densitat aparent del sòl.
- Ús i vegetació: indica quin ús tenia el sòl en el moment que es va fer la descripció i quina era la vegetació predominant.

3.3.2. Obtenció dels paràmetres de l'equació de van Genuchten

Per tal de determinar les funcions hidràuliques del sòl a partir del model de van Genuchten cal fer un treball previ de determinació dels diferents paràmetres de l'equació. Aquests paràmetres s'han calculat mitjançant el model Rosetta. Es pot introduir des de la classe textural en el cas de disposar de la mínima informació, fins al percentatge de sorra, llims i argila, la densitat aparent i el contingut d'aigua a -33 i -1500 kPa, en el cas més complex.

En funció dels paràmetres coneguts i explícits en el mapa de sòls es realitza una entrada o una altra, sempre utilitzant el màxim d'informació disponible.

En alguns casos ha estat necessari l'ajust dels continguts de sorra, llim i argila ja que en el mapa de sòl el sumatori no era del 100% (en alguns casos superior i en d'altres inferior) i el programa Rosetta no acceptava els valors com a correctes. S'han corregit els percentatges de sorra, llim i argila per tal que sumessin 100 tot respectant la proporció dels constituents.

Paral·lelament a la determinació dels paràmetres de l'equació de van Genuchten es calculen també els valors de contingut volumètric d'aigua a capacitat de camp (-33 kPa) i a punt de marciment (-1500 kPa). Mitjançant aquests es calcula l'aigua útil (AU) i s'estableix que el sòl es troba en condicions d'un 25% AU abans del reg.

En la taula presentada en l'Annex III es poden observar els paràmetres de l'equació de van Genuchten, els continguts volumètrics d'aigua i també els valors texturals que s'han modificat (ombrejats en gris).

3.4. Determinació del temps de reg

El temps d'emissió dels degoters depèn del cabal d'aquests i del volum d'aigua que es vol aplicar.

S'ha establert que el cabal dels degoters és de 2, 4 i 8 L h⁻¹ essent aquests els més habituals en reg agrícola.

Els volums aplicats vindran determinats a partir de l'ET_o calculada en l'apartat 3.2.1. i determinada en el 3.2.2.

3.4.1. Càlcul de la ET_c

Per calcular l'evapotranspiració del cultiu s'utilitza la fórmula que es presenta a continuació:

$$ET_c = ET_o \times K_c \times K_L \left[\frac{\text{mm}}{\text{dia}} \right]$$

$$ET_c = 5,25 \times 1 \times 1 = 5,25 \frac{\text{mm}}{\text{dia}}$$

Pel càlcul de l'evapotranspiració del cultiu s'utilitza la ET_o = 5,25 mm dia⁻¹, justificada en l'apartat 3.2.2..

En quant a K_c i K_L s'utilitzen els valors següents:

- K_c : segons la Taula 4 es pren el valor de $K_c = 1$ corresponent al juliol ja que contribuirà en aconseguir la màxima ET_c .

Taula 4. Valors de K_c pel cultiu de la pomera recomanats per Girona (2013).

Mes	K_c (Tardana)	Observacions
Març	0,30-0,30	Floració: Durant el mes de març (finals) o abril
Abril	0,40-0,45	-
Maig	0,60-0,75	-
Juny	0,82-0,87	-
Juliol	0,95-1,00	Final del creixement vegetatiu
Agost	1,00-1,00	-
Setembre	1,00-0,75	Recol·lecció: mig setembre
Octubre	0,60-0,55	-

- K_L : S'ha escollit $K_L = 1$ preveient plantacions de pomeres antigues i amb superfície foliar gran, en conseqüència molta àrea de sòl ombrejada. Es correspon amb el cas més desfavorable en una plantació ja que significa que no hi ha reducció d' ET_c degut als valors de K_L .

En la taula presentada en l'Annex III es poden observar els valors d' ET_c .

3.4.2. Càlcul de les Necessitats d'Aigua de Reg (NAR)

Les necessitats d'aigua de reg fan referència a la quantitat d'aigua que cal retornar a la planta. Pel càlcul no es té en compte la pluja efectiva, que sí que s'hauria de tenir en compte a efectes de maneig. Per altra banda, observant les conductivitats elèctriques en el document Mapa de Sòls es determina que l' E_{fs} serà major que l' E_{fp} i per tant s'utilitzarà aquesta última en el càlcul de NAR.

$$\text{NAR} = \frac{\text{ETc}}{\text{Efr}} \left[\frac{\text{mm}}{\text{dia}} \right]$$

$$\text{Efr} = \text{Efp} \times \text{CU}$$

$$\text{Efr} = 0,9 \times 0,85 = 0,77 \text{ per sòls arenosos}$$

$$\text{Efr} = 0,95 \times 0,85 = 0,81 \text{ per sòls de textura fina o mitjana}$$

$$\text{NAR} = \frac{5,25}{0,77} = \mathbf{6,86} \frac{\text{mm}}{\text{dia}}$$

$$\text{NAR} = \frac{5,25}{0,81} = \mathbf{6,50} \frac{\text{mm}}{\text{dia}}$$

Per determinar l'Efr s'utilitzen les Taula 5 i 6.

Taula 5. Eficiència de percolació presentades per Keller (1978).

Climes àrids				
Profunditat de les arrels (m)	Textura			
	Molt porosa (grava)	Arenosa	Mitjana	Fina
< 0,75	0,85	0,9	0,95	0,95
0,75 - 1,50	0,9	0,9	0,95	1
> 1,50	0,95	0,95	1	1

Pel que fa a la profunditat de les arrel s'ha establert en 0,40 metres, coincidint amb la profunditat de sòl que es vol mullar. Així doncs, es pren el cas de profunditat d'arrels <0,75 m.

Per altra banda a partir de les textures de cada horitzó especificades en el mapa de sòls, s'ha definit una textura global per cada sòl. Aquesta pretén simular la textura mitjana del sòl. Tots els sòls estudiats tenen textura arenosa, mitjana o fina així doncs es prenen els valors de **0,9** i **0,95**, respectivament, essent el primer valor l'adequat pels sòls arenosos.

Taula 6. Valors del coeficient d'uniformitat recomanats per Keller i Karmelli (1974).

Emissors	Pendent	COEFICIENT D'UNIFORMITAT (CU)	
		Clima àrid	Clima humit
Emissors separats més de 4 m en cultius permanents	Uniforme (<2%)	0,90 - 0,95	0,80 - 0,85
	Uniforme (>2%) o ondulat	0,85 - 0,90	0,75 - 0,80
Emissors separats menys de 2,5 m en cultius permanents o semipermanents	Uniforme (<2%)	0,85 - 0,90	0,75 - 0,80
	Uniforme (>2%) o ondulat	0,80 - 0,90	0,70 - 0,80
Mangueres o cintes d'exsudació en cultius anuals	Uniforme (<2%)	0,80 - 0,90	0,70 - 0,80
	Uniforme (>2%) o ondulat	0,70 - 0,85	0,65 - 0,75

Pel cultiu de fruiters (pomeres) es contemplen emissors separats menys de 2,5 m, pendents uniformes (<2%) i clima àrid. Segons la Taula 6 un **CU=85%** seria correcte. Es pot observar que aquest valor també seria vàlid en altres casos.

El valor de NAR obtingut però no és la dosi d'aigua que cal subministrat a cada planta diàriament. Per obtenir aquest valor cal introduir el terme marc de plantació:

$$NAR = NAR \times \text{marc de plantació} \left[\frac{L}{\text{dia i planta}} \right]$$

$$NAR = 6,86 \times 3,5 = 24,01 \frac{L}{\text{dia i planta}}$$

$$\text{NAR} = 6,5 \times 3,5 = 22,75 \frac{\text{L}}{\text{dia i planta}}$$

S'ha optat per un marc de plantació de 3,5 m² planta⁻¹ essent aquest el més habitual en plantacions de pomeres (3,5 m x 1 m).

A partir dels valors de NAR obtinguts (24,01 i 22,75 L dia i planta⁻¹) es decideix plantejar tres situacions en que s'aplicaran diferents volums d'aigua per tal de veure quin efecte té sobre el bulb d'humitat. Es procedeix amb tres valors de **NAR: 24 L, 48 L i 72 L.**

3.4.3. Determinació dels temps de reg

En funció dels valors de NAR i els cabals dels emissors escollits s'obtindran diferents temps de reg (Taula 7).

$$\text{Temps de reg} = \frac{\text{NAR}}{\text{Cabal emissor}}$$

Taula 7. Temps de reg en funció de la dosi a aplicar i cabal de l'emissor seleccionat.

Cabal (L/h)	Temps de reg (h)	Volum d'aigua aplicat (L)
2	12	24
	24	48
4	6	24
	12	48
	18	72
8	3	24
	6	48
	9	72

La màxima durada de les jornades de reg s'estableix en 24h.

En la taula presentada en l'Annex III es poden observar els valors de NAR.

3.5. Obtenció del bulb humit – Drip-Irrigator

Mitjançant els diferents valors calculats en els apartats anteriors es pot procedir a l'entrada de dades al programa Drip-Irrigator per simular els diferents patrons d'humitejament del sòl i trobar així els bulbs d'humitat.

Com s'ha vist anteriorment hi han 3 grup de dades diferents dins el programa:

- Paràmetres del sòl: s'introdueix el nombre d'horitzons del sòl (segons horitzons genètics) i s'escull l'equació de van Genuchten. Seguidament s'obre un desplegable com el que es mostra en la Figura 15 a continuació:

	Layer	Depth (cm)	Initial Water Content (%)	Textural	Residual water	Saturate water	Alfa (1/cm)	n	m	Ks (cm/min)	l
▶	1	0	0,00		0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0,00		0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0,00		0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0,00		0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0,00		0	0	0	0	0	0	0

Figura 15. Taula d'entrada de dades del programa Drip-Irrigator.

S'introdueix la profunditat dels horitzons en increments de 5 cm i seguidament el contingut inicial d'aigua en percentatge (AU25%). A continuació s'entren els paràmetres de l'equació de van Genuchten calculats amb el model Rosetta i la l final, essent de 0,5 en tots els casos.

- Paràmetres de reg: cabal de descàrrega de l'emissor (2, 4 o 8 L h⁻¹) i duració del reg (3, 6, 9, 12, 18 o 24 hores). Casuística mostrada en la Taula 7.
- Paràmetres de simulació: s'escull el temps que ha de durar la simulació, depenent del cabal de l'emissor és de 3, 6, 9, 12, 18 o 24 hores. Per altra banda s'escull 1 segon com a temps de processat de la solució d'acord amb Arbat (2006).

Una vegada entrades totes les dades es clica Exporta i seguidament Executa. A partir d'aquí el programa comença a fer tots els càlculs per retornar la solució de bulb d'humitat.

Després de realitzar la simulació per cada casuística el programa retorna una solució gràfica en la qual es pot veure com ha incrementat el contingut volumètric d'aigua en el sòl (veure pàgina 19 Figura 10).

A partir aquest es crea una taula Excel per tal de tenir tots els bulbs d'humitat en un únic document. La taula consta de tres grup de dades: continguts volumètrics inicials, continguts volumètrics finals i increment del contingut volumètric. Aquest últim consisteix en la resta dels dos anteriors (final-inicial). Per tal de veure de forma gràfica aquest augment es dóna format condicional a les cel·les de l'últim grup i es decideix que es mostraran els increments iguals o superiors al 2% en quant a contingut volumètric (final respecte inicial). Així doncs totes les cel·les que hagin augmentat un 2% el contingut volumètric apareixeran en blau.

En les figures presentades en l'Annex IV es poden observar les taules comentades anteriorment.

A partir de la taula Excel es realitza una selecció dels valors de bulb d'humitat de major importància de cara al disseny agronòmic:

- Profunditat màxima del bulb (considerant increment del 2%)
- Radi mullat a 20 cm de profunditat
- Radi mullat a 30 cm de profunditat

Aquestes dades ja es podrien utilitzar per al disseny agronòmic però l'objectiu principal del treball es donar-los un format àgil i entenedor i posar-les a l'abast de tothom.

3.6. Associació dels bulb d'humitat al Mapa de sòls

Els bulbs d'humitat obtinguts i recopilats en format taula en funció del tipus de sòl i dels paràmetres de reg escollits, són molt útils a l'hora de dissenyar el sistema de reg per degoteig. Però la seva consulta, quan es volen dissenyar sistemes de reg en parcel·les concretes, és poc eficaç ja que s'ha de conèixer el tipus de sòl. Per aquest motiu es pretén elaborar un mapa de bulbs d'humitat associat a un Mapa de sòls (informació georeferenciada) de manera que qualsevol tècnic o persona interessada pugui realitzar consultes fàcilment.

Per a l'elaboració del mapa de bulbs d'humitat associat a un Mapa de sòls s'utilitza el programa QGIS.

Es parteix del Mapa de Sòls existent de la zona facilitat pel Servei de Sòls i Gestió Mediambiental de la Producció Agrària del Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació de la Generalitat de Catalunya. El Mapa de sòls en format GIS (Figura 16) és una capa vectorial en la que es delimiten diferents parcel·les, classificades segons la tipologia de sòl (codi-dig). Cada parcel·la conté informació associada (àrea, perímetre, terdis_, terdis_id i codi_dig).

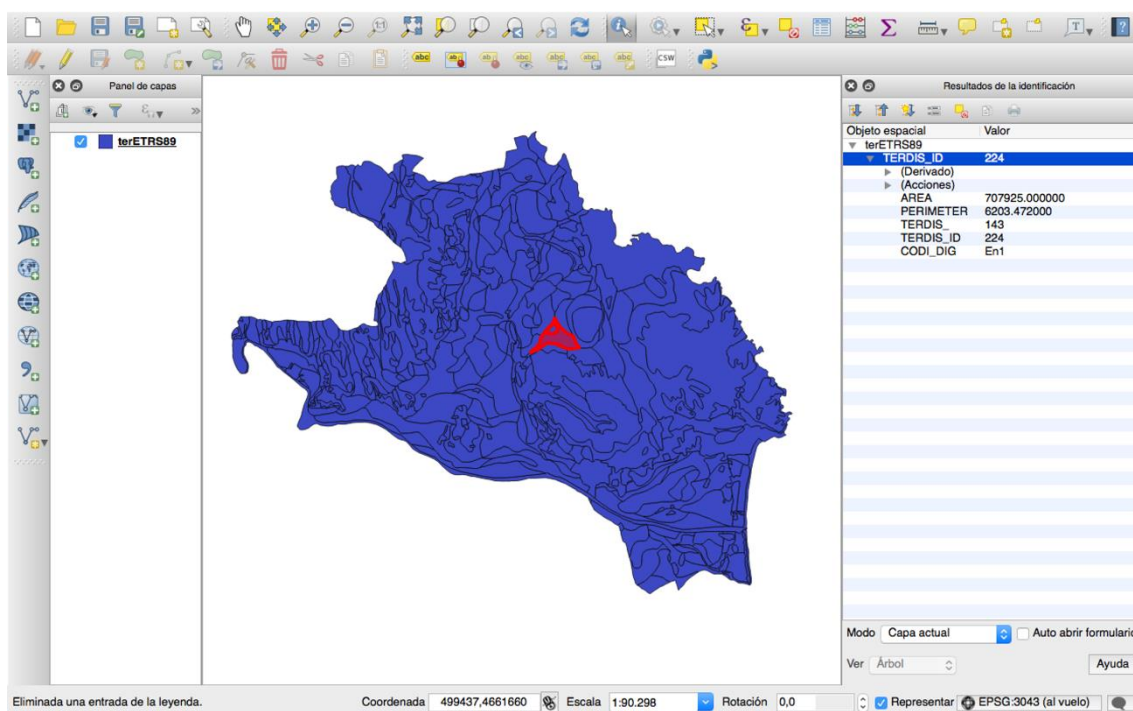


Figura 16. Mapa de sòls de la zona del Baix Ter.

De totes les parcel·les que formen el mapa només algunes tenen interès pel reg, seran aquestes les que contindran la informació dels bulbs d'humitat associada.

El codi_dig conté les unitats cartogràfiques del mapa i serà l'element que s'utilitzarà per unir la informació dels bulbs d'humitat obtinguts amb el codi Drip-Irrigation amb cada una de les parcel·les del mapa. Per això cal elaborar una taula que contingui en columnes, els valors dels ítems següents:

- CODI-DIG

- Unitat taxonòmica
- Nom de la Sèrie
- Profunditat màxima amb $q=2L/h$ i $t=12h$
- Profunditat màxima amb $q=2L/h$ i $t=24h$
- Profunditat màxima amb $q=4L/h$ i $t=6h$
- Profunditat màxima amb $q=4L/h$ i $t=12h$
- Profunditat màxima amb $q=4L/h$ i $t=18h$
- Profunditat màxima amb $q=8L/h$ i $t=3h$
- Profunditat màxima amb $q=8L/h$ i $t=6h$
- Profunditat màxima amb $q=8L/h$ i $t=9h$
- Radi humit a 20 cm amb $q=2L/h$ i $t=12h$
- Radi humit a 20 cm amb $q=2L/h$ i $t=24h$
- Radi humit a 20 cm amb $q=4L/h$ i $t=6h$
- Radi humit a 20 cm amb $q=4L/h$ i $t=12h$
- Radi humit a 20 cm amb $q=4L/h$ i $t=18h$
- Radi humit a 20 cm amb $q=8L/h$ i $t=3h$
- Radi humit a 20 cm amb $q=8L/h$ i $t=6h$
- Radi humit a 20 cm amb $q=8L/h$ i $t=9h$
- Radi humit a 30 cm amb $q=2L/h$ i $t=12h$
- Radi humit a 30 cm amb $q=2L/h$ i $t=24h$
- Radi humit a 30 cm amb $q=4L/h$ i $t=6h$
- Radi humit a 30 cm amb $q=4L/h$ i $t=12h$
- Radi humit a 30 cm amb $q=4L/h$ i $t=18h$
- Radi humit a 30 cm amb $q=8L/h$ i $t=3h$
- Radi humit a 30 cm amb $q=8L/h$ i $t=6h$
- Radi humit a 30 cm amb $q=8L/h$ i $t=9h$

Cada codi_dig correspon a una unitat taxonòmica i a una sèrie determinada i a més a més, contindrà tots els valors en centímetres de profunditat màxima i radis humits per cada combinació de cabal de l'emissor i temps d'aplicació.

La unió de la taula amb la capa vectorial es realitza segons es mostra a continuació:

- Dins el QGIS i amb la capa vectorial ja oberta s'importa la taula de dades que es vol associar (Figura 17).

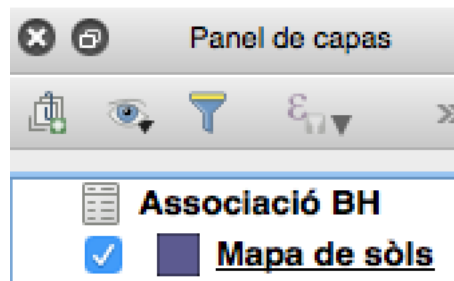


Figura 17. Capa vectorial Mapa de Sòls i taula Associació BH carregades al programa QGIS.

- Es fa doble clic sobre la capa vectorial i s'entra a propietats de capa (Figura 18).

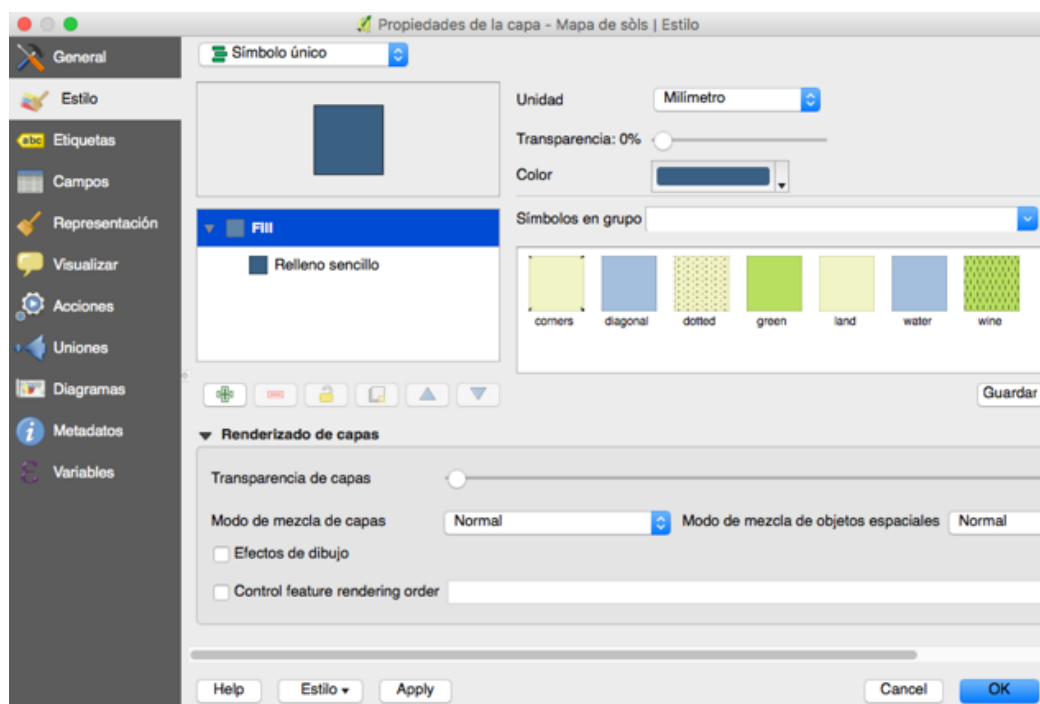


Figura 18. Menú propietats de capa del programa QGIS.

- Es va a l'apartat de *Uniones*, es clica al signe + i s'escullen els paràmetres que es mostren en la Figura 19.

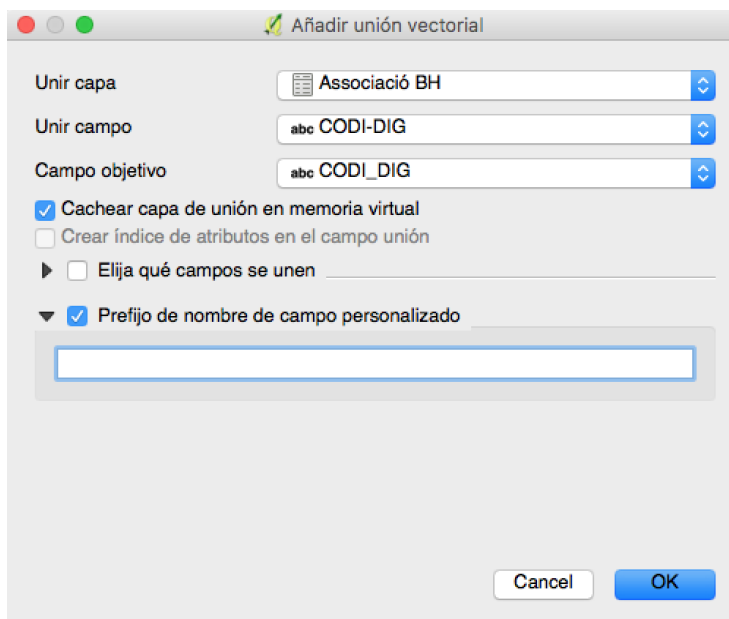


Figura 19. Paràmetres a introduir per a realitzar la unió de capes a partir el codi_dig d'ambdues.

- La capa vectorial Mapa de Sòls ja té els valors associats de la taula Associació BH mitjançant el camp codi_dig (Figura 20).

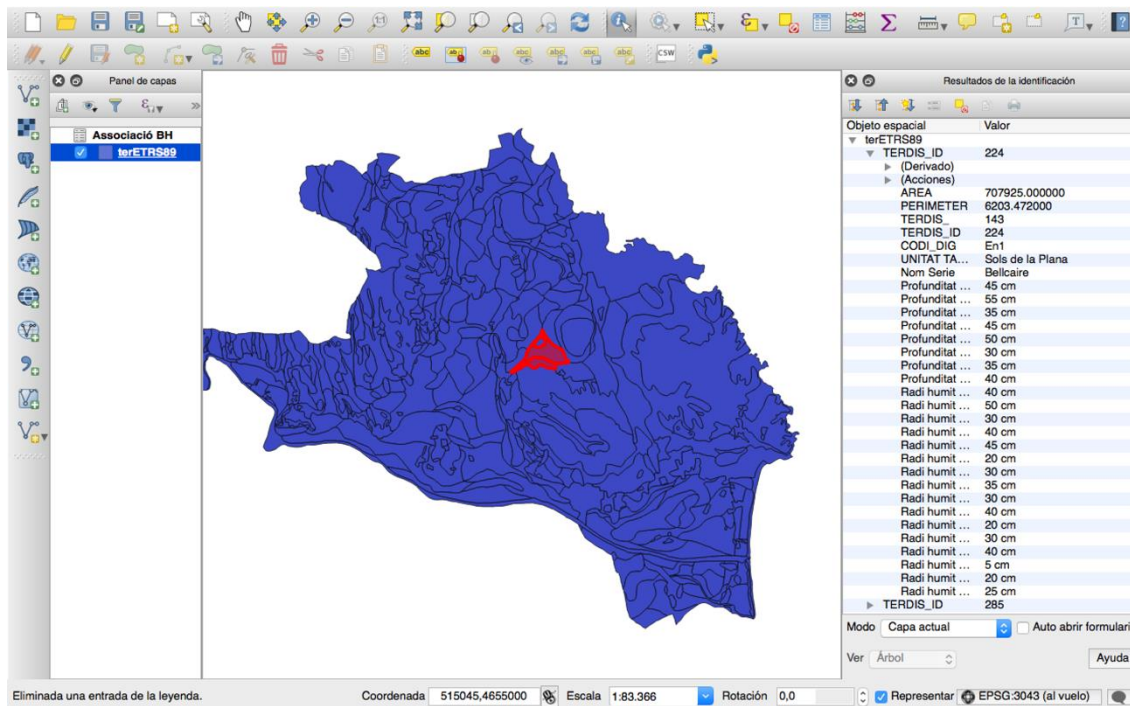


Figura 20. Exemple de consulta d'informació d'una parcel·la de la sèrie Bellcaire.

Un cop cada parcel·la té les dades de bulb d'humitat associades es procedeix a la inserció de diferents capes ràster per facilitar a l'usuari l'elecció de la parcel·la sobre la qual vol realitzar la consulta.

S'insereix un mapa topogràfic, ortofotogràfic, cadastral i comarcal (Figura 21) utilitzant els serveis de WMS (World Map Service). Per activar o desactivar una capa només caldrà clicar el tic que es mostra al costat esquerra d'aquestes.

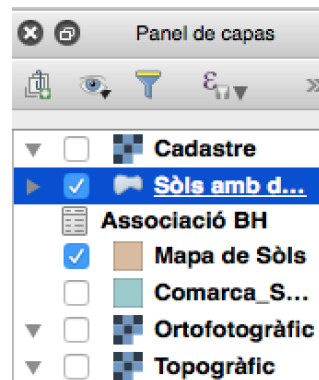


Figura 21. Capes inserides per tal de donar a l'usuari la possibilitat d'elegir entre varies.

S'apliquen canvis de colors i transparència a les capes per tal de facilitar-ne la visualització de manera simultània. Es podran aplicar canvis sempre que es vulgui.

Per altra banda es duplica la capa Mapa de Sòls i en una de les dues s'apliquen transparències a tots els sòls sense dades (Figura 22). D'aquesta manera a simple vista es pot distingir els sòls amb dades de bulb d'humitat (verd) dels sòls sense dades (marró).

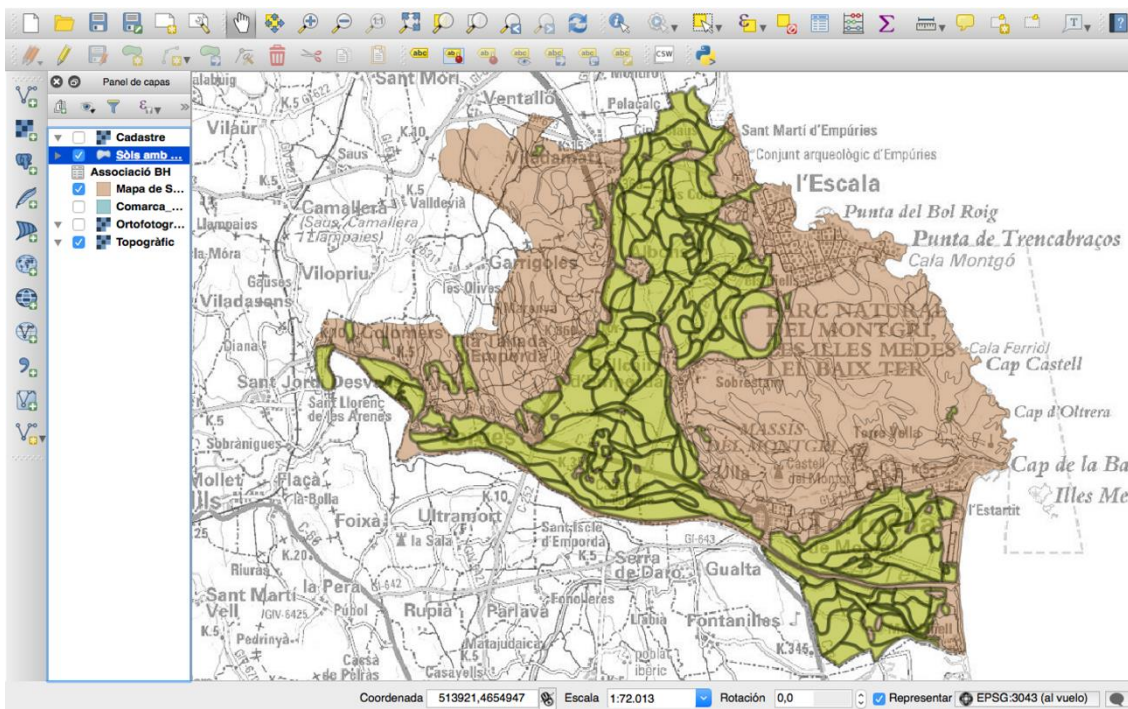


Figura 22. Captura de pantalla del programa QGIS on es poden veure els sòls amb dades (verd) i els sòls sense dades (marró) sobre una capa topogràfica.

3.7. Visualització dels bulbs d'humitat a InstaMaps

La facilitat d'ús de la plataforma InstaMaps la converteix en una eina molt útil i apte per tots els usuaris.

Per visualitzar les dades de bulbs d'humitat en aquesta plataforma cal crear un nou mapa i carregar-hi les dades desitjades.

- En primer lloc es carrega el document zip. que conté el Mapa de sòls en format digital i s'escull es sistema de referència emprat.

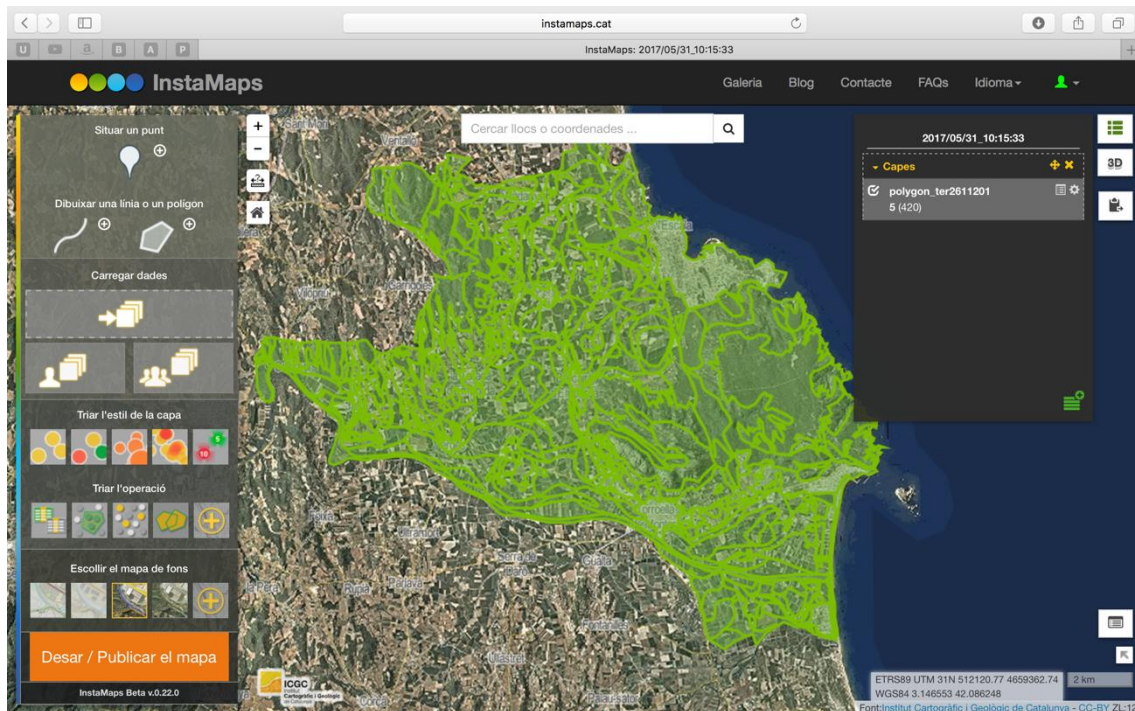


Figura 23. Captura de pantalla d'InstaMaps amb el Mapa de Sòls carregat.

- Seguidament es carrega el document Excel amb els bulbs d'humitat i georeferenciat mitjançant els codi postals.

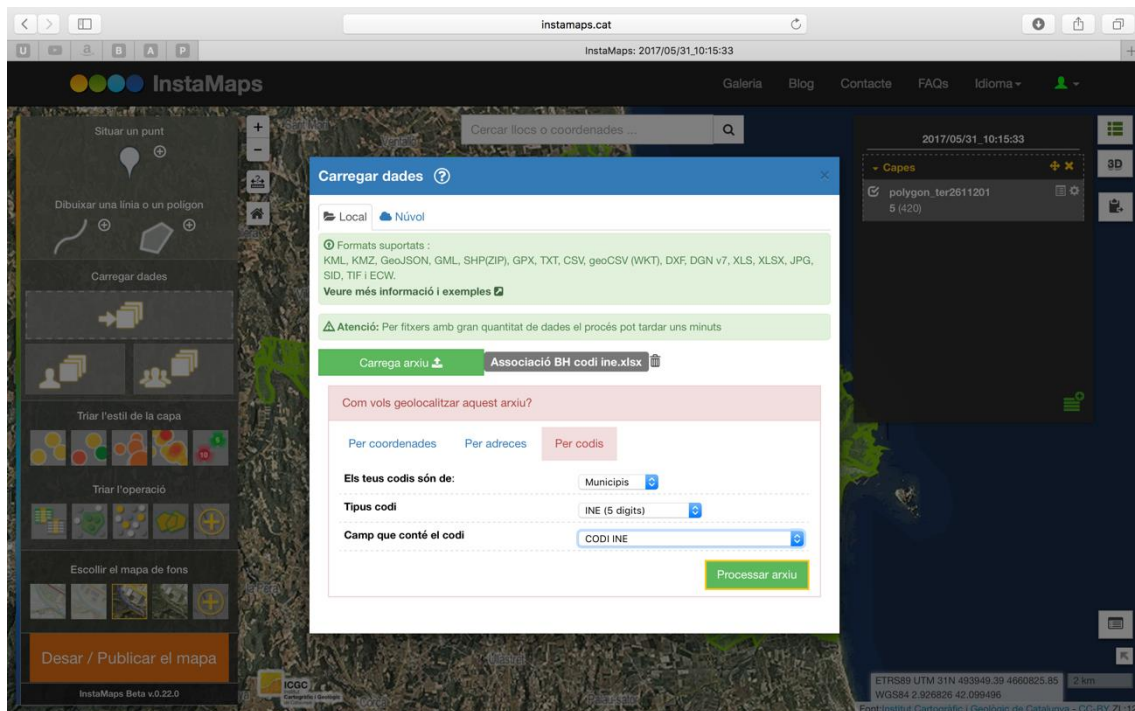


Figura 24. Captura de pantalla d'InstaMaps durant la càrrega d'una capa de dades.

- A continuació utilitzat l'eina d'unió de taules i s'uneixen els dos documents carregats anteriorment utilitzant el codi_dig d'ambdós per tal d'assignar els bulbs d'humitat a cada unitat cartogràfica.

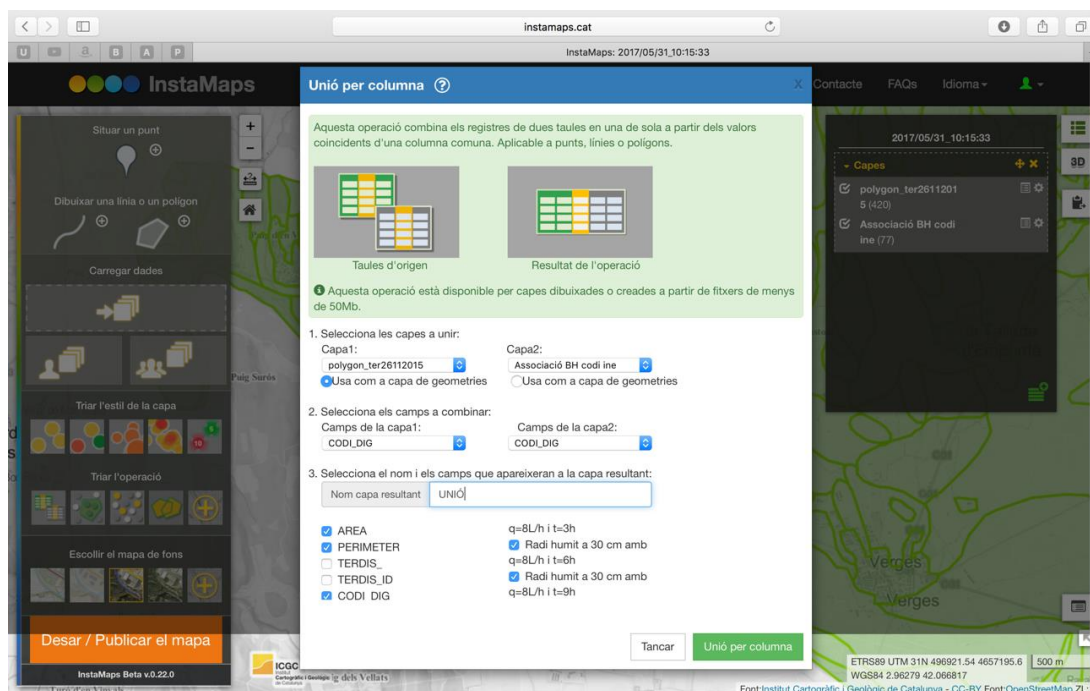


Figura 25. Captura de pantalla d'InstaMaps durant la unió de capes per columna.

- Finalment mitjançant l'activació i desactivació de la visibilitat de les capes ja es poden realitzar les consultes desitjades (Figura 26).

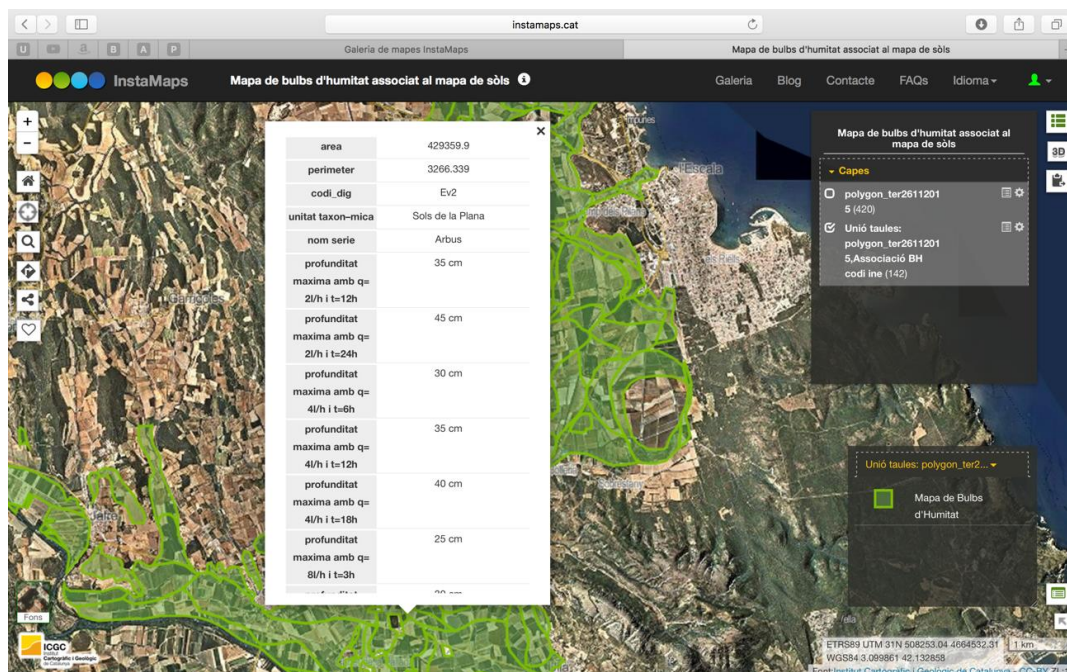


Figura 26. Captura de pantalla realitzada durant la consulta de dades de bulb d'humitat.

3.8. Desenvolupament d'una aplicació de consulta ràpida per plataforma Android

Paral·lelament al mapa de bulbs d'humitat associat a un Mapa de Sòls s'elabora una aplicació per plataforma Android per proporcionar una consulta ràpida als usuaris.

L'aplicació serà simple i constarà de: una pantalla principal on es mostrarà un mapa de la zona, una segona pantalla lateral amb 2 desplegable on es seleccionarà la unitat taxonòmica i la sèrie i finalment, una imatge que mostrarà resposta amb els valors del bulb d'humitat en funció del cabal dels emissors i els temps d'aplicació.

Va dirigida a tots aquells usuaris que vulguin implementar un sistema de reg localitzat a la seva parcel·la o bé que vulguin modificar algun paràmetre del sistema de reg ja existent. Pretén ser utilitzada com a suport a l'hora de seleccionar els cabals dels emissors i temps de reg.

El disseny comença amb l'elecció del programa. S'utilitza Android Studio ja que és un programa obert, bastant simple i sobre el qual a internet hi ha molta informació.

En primer lloc cal crear el projecte i definir la versió d' Android per la qual es vol que l'aplicació estigui disponible. S'ha escollit Android 4.0 ja que d'aquesta manera l'aplicació serà compatible amb un 97% dels dispositius.

Seguidament es creen les 3 activitats (classes) principals a partir de SDK (Figura 27):

1. *MainActivity*: és l'activitat principal i a la primera que entra l'aplicació. Gestiona les altres activitats existents. S'hi afegeix una *TabletActivity* que permet desplaçar a banda i banda i veure diferents pantalles, estil *slider*.
2. *ImageFragment*: classe que permet mostrar el mapa de situació. Conté un *ImageView* que és el que permet mostrar una imatge en pantalla.

3. *InfoFragment*: classe que mostra informació del projecte. Conté 2 *spinners* (menús desplegable que permetran realitzar la selecció d'un ítem) i un *ImageView* (mostrarà el resultat). Per tal que no es mostri directament el resultat quan nomé s'ha seleccionat l'ítem d'un *spinner* s'utilitza *OnItemSelectedListener*, que permet esperar fins que es seleccioni un ítem i una vegada seleccionat mostra la informació del següent en funció de la primera. Finalment s'utilitza un altre *OnItemSelectedListener* per esperar a que es seleccioni un ítem en el segon *spinner*. Un cop seleccionat un ítem per cada *spinner* es crea un *switch* que permet llegir les combinacions dels *spinners*. En funció de quines siguin aquestes s'afegirà a l'*ImageView* de sota una imatge o una altra.

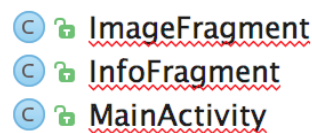


Figura 27. Captura de pantalla de l'Android Studio on es poden apreciar les 3 activitats de l'aplicació.

Paral·lelament a la creació de l'aplicació cal anar provant-la des d'un *smartphone* o el propi emulador del programa (Figura 28) per trobar els possibles errors.

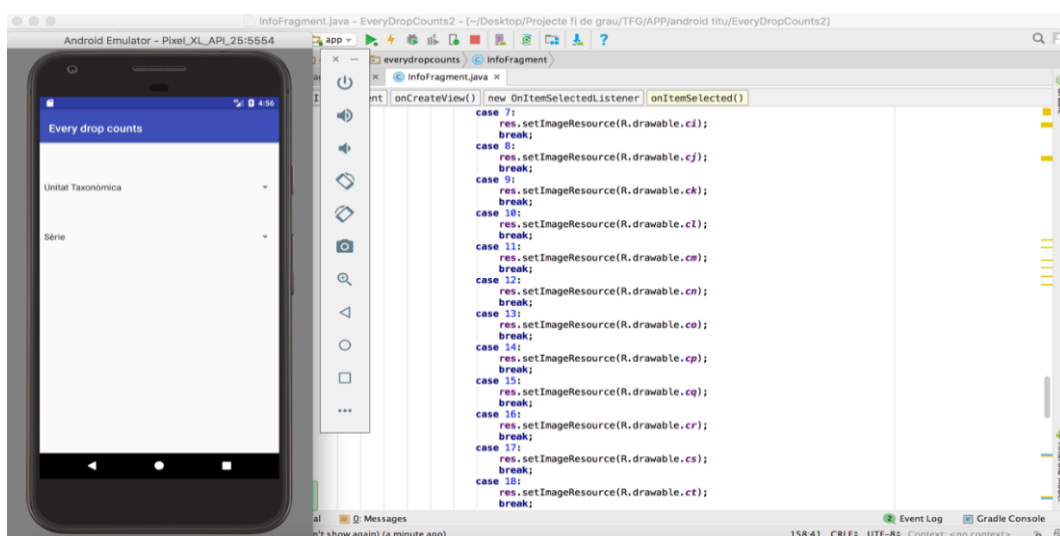


Figura 28. Captura de pantalla de l'Android Studio durant la realització d'una prova de funcionament de l'aplicació utilitzant l'emulador del programa.

Finalment l'aplicació es pot penjar a la plataforma Google Play ja que permet fer-ho de forma econòmica (uns 25€) i permet que l'aplicació estigui a l'abast de tots els usuaris interessats.

4. RESULTATS I DISCUSSIÓ

4.1. Bulbs d'humitat

A la Taula 8 es mostren els resultats de les variables profunditat i radi mullats obtingudes a partir de la sortida gràfica del codi Drip-Irrigator per diferents casos simulats.

Taula 8. Bulbs d'humitat obtinguts per les diferents sèries de sòl a partir de les simulacions realitzades amb el Drip-Irrigator.

UNITAT TAXONÒMICA	SÈRIE	CABAL (L/h)	TEMPS DE REG (h)	PROFUN-DITAT MÀXIMA (2%) (cm)	RADI HUMIT A 20 CM DE PROFUNDITAT (cm)	RADI HUMIT A 30 CM DE PROFUNDITAT (cm)
SÒLS DEL MONTGRÍ	LA CUA	2	12	35	30	20
			24	45	45	35
		4	6	30	25	10
			12	35	30	20
		8	18	40	40	30
			3	25	15	0
			6	30	25	10
			9	35	30	15
SÒLS DE LA SERRA DE VENTALLÓ	JAFRE	2	12	30	20	5
			24	35	30	20
		4	6	25	15	0
			12	30	20	5
		8	18	35	25	15
			3	20	10	0
			6	25	15	0
			9	30	20	5
SÒLS DE LA PLANA	ALBONS	2	12	45	40	35
			24	55	55	50
		4	6	35	30	20
			12	45	40	35
		8	18	50	50	45
			3	30	20	10
			6	35	30	20
			9	40	30	40
SÒLS DE LA PLANA	ARBÚS	2	12	35	35	25
			24	45	45	40
		4	6	30	25	15
			12	35	35	25
		8	18	40	40	35
			3	25	15	0
			6	30	25	15
			9	35	35	20

Taula 8 (continuació). Bulbs d'humitat obtinguts per les diferents sèries de sòl a partir de les simulacions realitzades amb el Drip-Irrigator.

UNITAT TAXONÒMICA	SÈRIE	CABAL (L/h)	TEMPS DE REG (h)	PROFUNDITAT MÀXIMA (2%)(cm)	RADI HUMIT A 20 CM DE PROFUNDITAT (cm)	RADI HUMIT A 30 CM DE PROFUNDITAT (cm)
SÒLS DE LA PLANA	ARMEN-TERA	2	12	40	30	20
			24	45	40	35
		4	6	30	20	10
			12	40	30	20
		8	18	40	35	30
			3	25	25	0
		8	6	30	20	10
			9	35	25	15
SÒLS DE LA PLANA	BELL-CAIRE	2	12	45	40	30
			24	55	50	40
		4	6	35	30	20
			12	45	40	30
		8	18	50	45	40
			3	30	20	5
		8	6	35	30	20
			9	40	35	25
SÒLS DE LA PLANA	CINC CLAUDS	2	12	45	65	40
			24	55	85	55
		4	6	40	50	25
			12	45	65	40
		8	18	50	80	50
			3	35	35	15
		8	6	40	50	25
			9	45	60	35
SÒLS DE LA PLANA	CLOSES	2	12	30	20	10
			24	40	35	25
		4	6	25	15	0
			12	35	25	15
		8	18	40	30	20
			3	20	5	0
		8	6	25	15	0
			9	35	30	15
SÒLS DE LA PLANA	COMUNS	2	12	40	40	30
			24	50	50	40
		4	6	35	30	15
			12	40	40	30
		8	18	45	45	35
			3	30	20	30
		8	6	35	30	15
			9	40	35	25

Taula 8 (continuació). Bulbs d'humitat obtinguts per les diferents sèries de sòl a partir de les simulacions realitzades amb el Drip-Irrigator.

UNITAT TAXONÒMICA	SÈRIE	CABAL (L/h)	TEMPS DE REG (h)	PROFUNDITAT MÀXIMA (2%) (cm)	RADI HUMIT A 20 CM DE PROFUNDITAT (cm)	RADI HUMIT A 30 CM DE PROFUNDITAT (cm)
SÒLS DE LA PLANA	GUSA	2	12	35	25	20
			24	45	35	30
		4	6	30	20	10
			12	35	25	20
		8	18	40	30	25
			3	25	15	0
			6	30	20	10
			9	35	25	15
SÒLS DE LA PLANA	MADRAL	2	12	35	25	15
			24	40	35	25
		4	6	30	20	5
			12	35	25	15
		8	18	35	30	20
			3	25	10	0
			6	30	20	5
			9	30	20	10
SÒLS DE LA PLANA	MAS BADIA	2	12	55	45	40
			24	75	60	55
		4	6	45	35	30
			12	55	45	40
		8	18	65	55	55
			3	35	25	15
			6	45	35	30
			9	50	40	35
SÒLS DE LA PLANA	ELS MOLINOTS	2	12	55	45	40
			24	75	60	55
		4	6	45	35	30
			12	55	45	40
		8	18	65	55	50
			3	35	25	15
			6	45	35	30
			9	50	40	35
SÒLS DE LA PLANA	MONTIRÓ	2	12	40	35	25
			24	50	45	35
		4	6	30	25	10
			12	40	35	25
		8	18	45	40	30
			3	25	15	0
			6	30	25	10
			9	35	30	20

Taula 8 (continuació). Bulbs d'humitat obtinguts per les diferents sèries de sòl a partir de les simulacions realitzades amb el Drip-Irrigator.

UNITAT TAXONÒMICA	SÈRIE	CABAL (L/h)	TEMPS DE REG (h)	PROFUN-DITAT MÀXIMA (2%) (cm)	RADI HUMIT A 20 CM DE PROFUNDITAT (cm)	RADI HUMIT A 30 CM DE PROFUNDITAT (cm)
SÒLS DE LA PLANA	PALO-MERES	2	12	40	30	20
			24	50	40	35
		4	6	35	25	10
			12	40	30	20
		8	18	45	35	30
			3	30	15	5
SÒLS DE LA PLANA	LA PINEDA	2	6	35	25	15
			12	45	35	30
		4	18	50	45	35
			3	25	20	0
		8	6	35	25	15
			9	40	30	25
SÒLS DE LA PLANA	RASOS	2	12	35	30	20
			24	45	40	30
		4	6	30	20	10
			12	35	30	20
		8	18	40	35	25
			3	25	15	0
SÒLS DE LA PLANA	ELS SAIONS	2	6	30	20	10
			12	40	30	20
		4	18	45	35	25
			3	25	15	0
		8	6	30	20	10
			9	35	25	15
SÒLS DE LA PLANA	SANT JOAN	2	12	30	25	15
			24	40	35	25
		4	6	25	15	0
			12	30	25	15
		8	18	35	30	20
			3	20	10	0
		6	25	15	0	
		9	30	20	10	

Taula 8 (continuació). Bulbs d'humitat obtinguts per les diferents sèries de sòl a partir de les simulacions realitzades amb el Drip-Irrigator.

UNITAT TAXONÒMICA	SÈRIE	CABAL (L/h)	TEMPS DE REG (h)	PROFUNDITAT MÀXIMA (2%) (cm)	RADI HUMIT A 20 CM DE PROFUNDITAT (cm)	RADI HUMIT A 30 CM DE PROFUNDITAT (cm)
SÒLS DE LA PLANA	SORRES	2	12	55	45	35
			24	75	55	50
		4	6	45	35	25
			12	55	45	35
		8	18	65	50	45
			3	35	25	15
		8	6	45	35	25
			9	50	40	30
SÒLS DE LA PLANA	VERGES	2	12	40	40	30
			24	50	50	45
		4	6	35	30	15
			12	40	40	30
		8	18	45	45	35
			3	30	20	5
		8	6	35	30	15
			9	40	35	25
SÒLS DE LA PLANA	LES VERNEDES	2	12	40	35	25
			24	45	50	40
		4	6	35	25	15
			12	40	35	25
		8	18	45	45	35
			3	25	20	0
		8	6	35	25	15
			9	35	30	20
SÒLS DE LA PLANA	VILADEMAT	2	12	55	35	35
			24	70	50	50
		4	6	40	25	20
			12	55	35	35
		8	18	60	45	40
			3	30	20	10
		8	6	40	30	20
			9	45	35	30
SÒLS DE LA PLANA	VILAMACOLUM	2	12	50	50	45
			24	55	65	60
		4	6	45	35	30
			12	45	45	35
		8	18	50	60	55
			3	35	25	15
		8	6	45	35	30
			9	45	45	35

4.2. Mapa dels bulbs d'humitat en QGIS

En la Figura 29, Figura 30 i Figura 31 es mostren tres captures de pantalla extretes del programa QGIS en les quals es mostra la mateixa zona consultada mitjançant diferents combinacions de capes de fons per a la localització visibles.

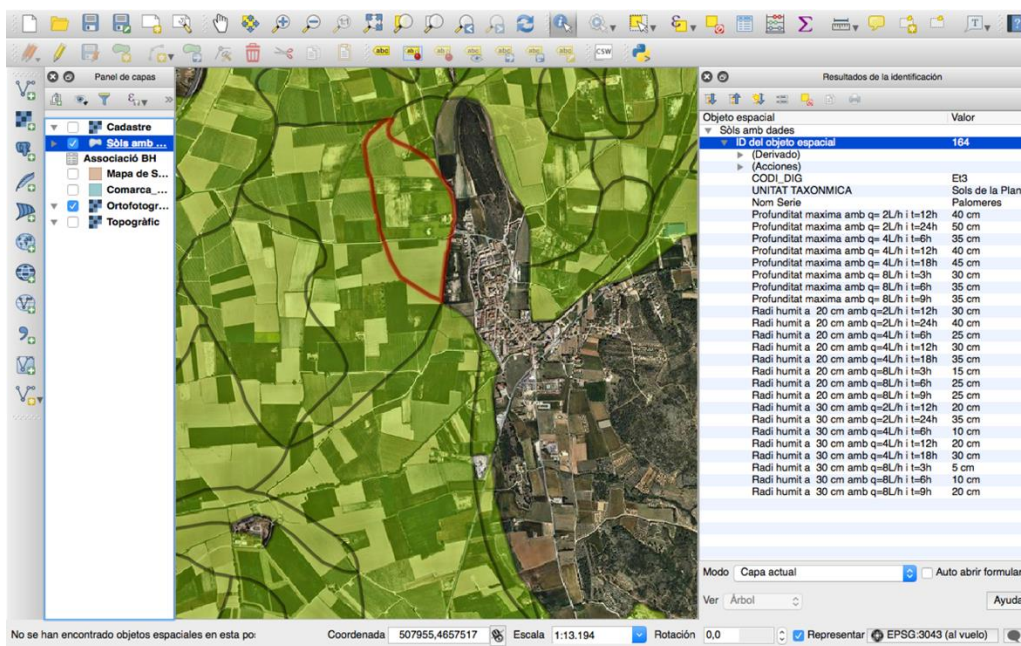


Figura 29. Consulta del bulb d'humitat d'un sòl de la sèrie Palomeres amb les capes Sòls amb dades i Ortofotogràfica activades.

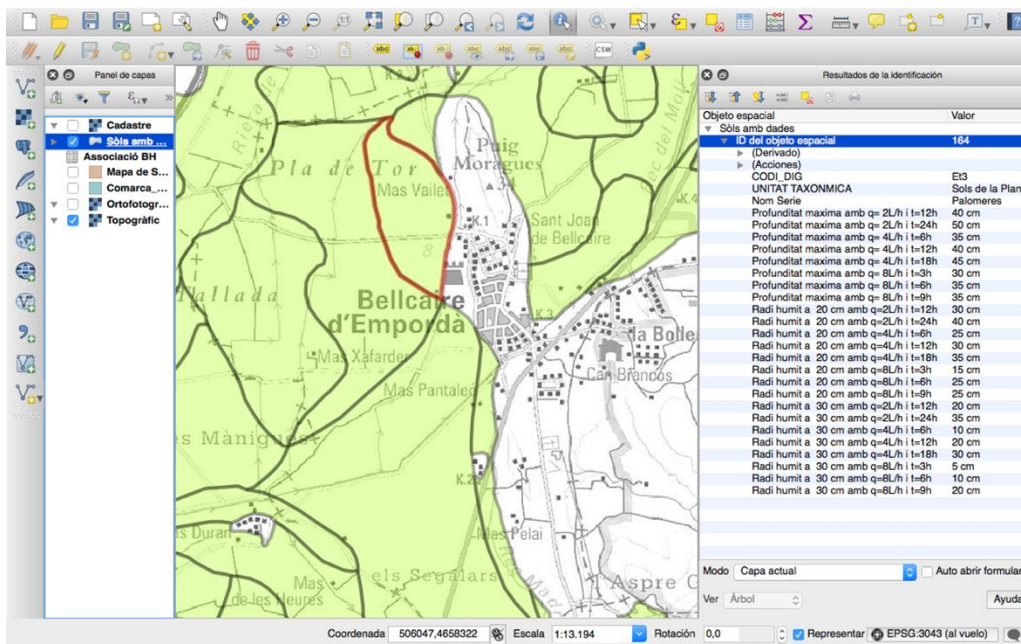


Figura 30. Consulta del bulb d'humitat d'un sòl de la sèrie Palomeres amb les capes Sòls amb dades i Topogràfica activades.

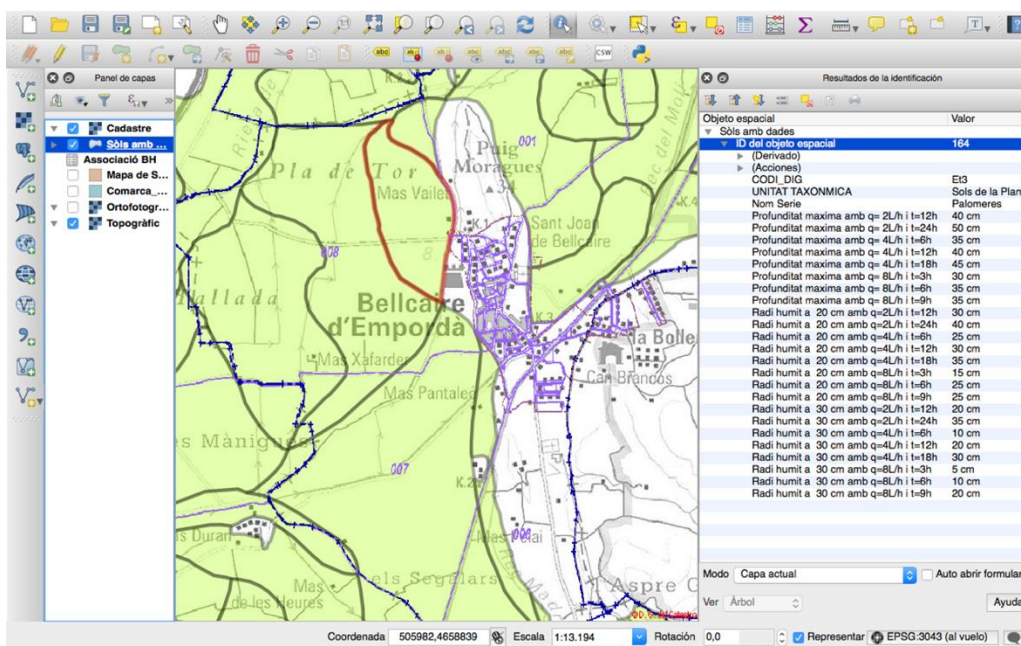


Figura 31. Consulta del bulb d'humitat d'un sòl de la sèrie Palomeres amb les capes Sòls amb dades, Topogràfica i Cadastral activades.

4.3. Mapa dels bulbs d'humitat en InstaMaps

En la Figura 32, Figura 33 i Figura 34 es mostren tres captures de pantalla extretes d'InstaMaps.

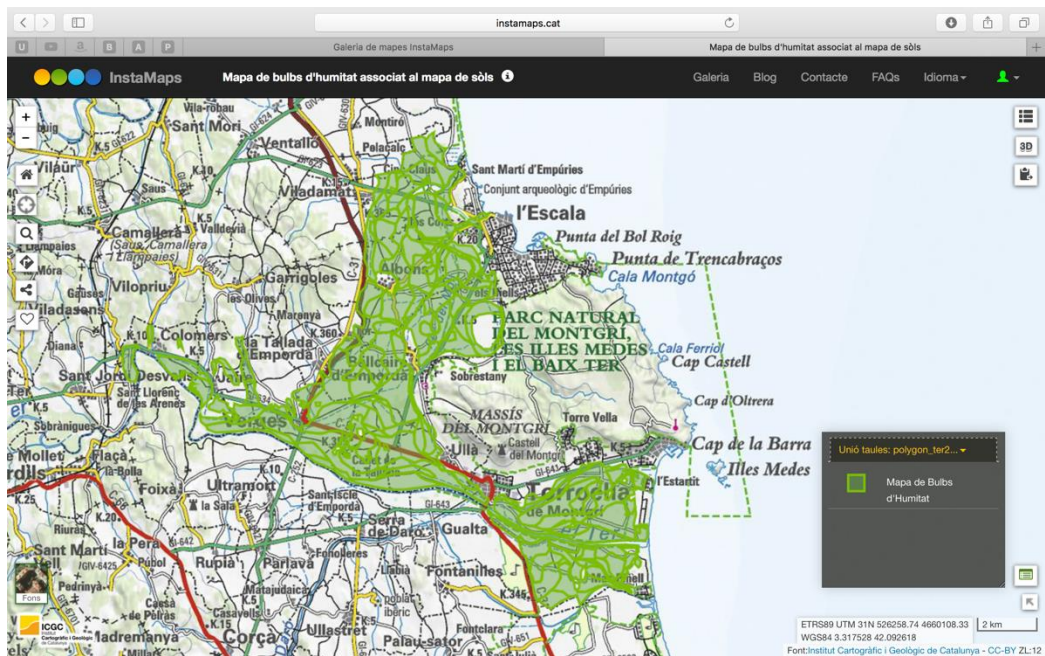


Figura 32. Captura de pantalla d'InstaMaps on es pot apreciar el mapa de bulbs d'humitat sobre una capa topogràfica.

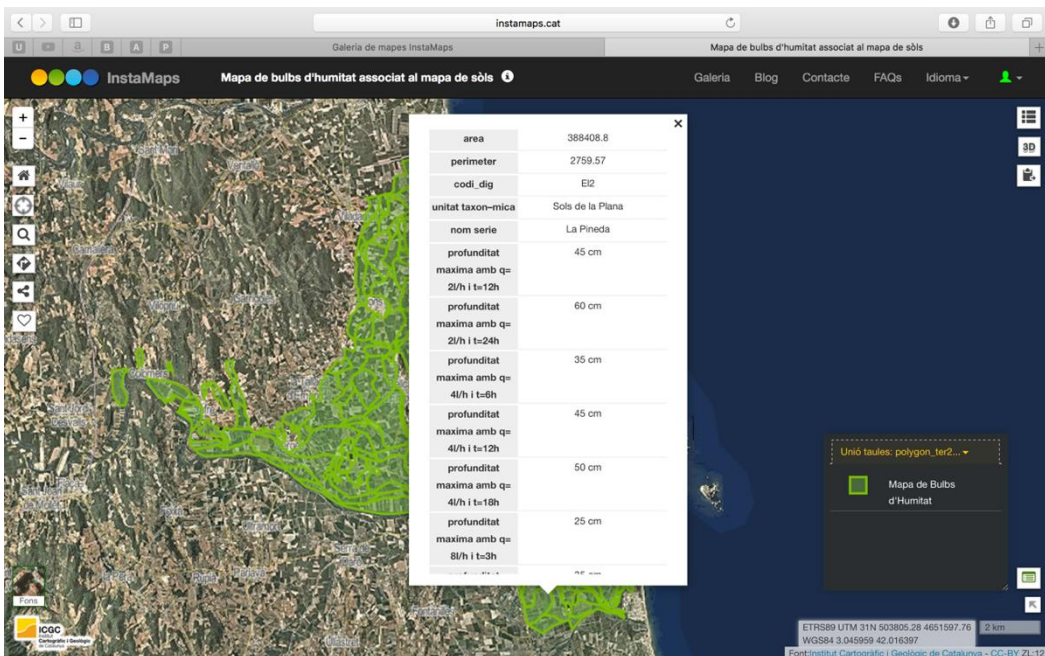


Figura 33. Captura de pantalla d'InstaMaps durant la consulta de dades del bulb d'humitat amb una capa híbrida de fons.

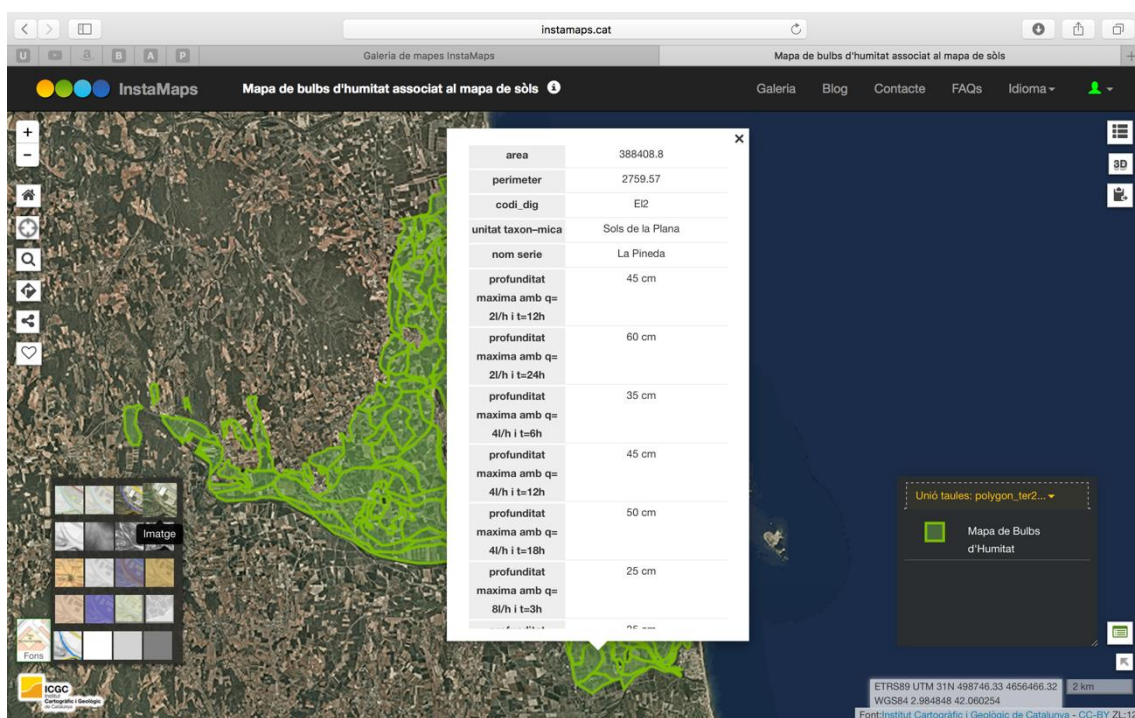


Figura 34. Captura de pantalla d'InstaMaps durant la consulta de dades del bulb d'humitat amb una capa ortofotogràfica de fons.

4.4. Aplicació Android

En la Figura 35, Figura 36, Figura 37 i Figura 38 es mostren quatre captures de pantalla realitzades des d'un *smartphone*.

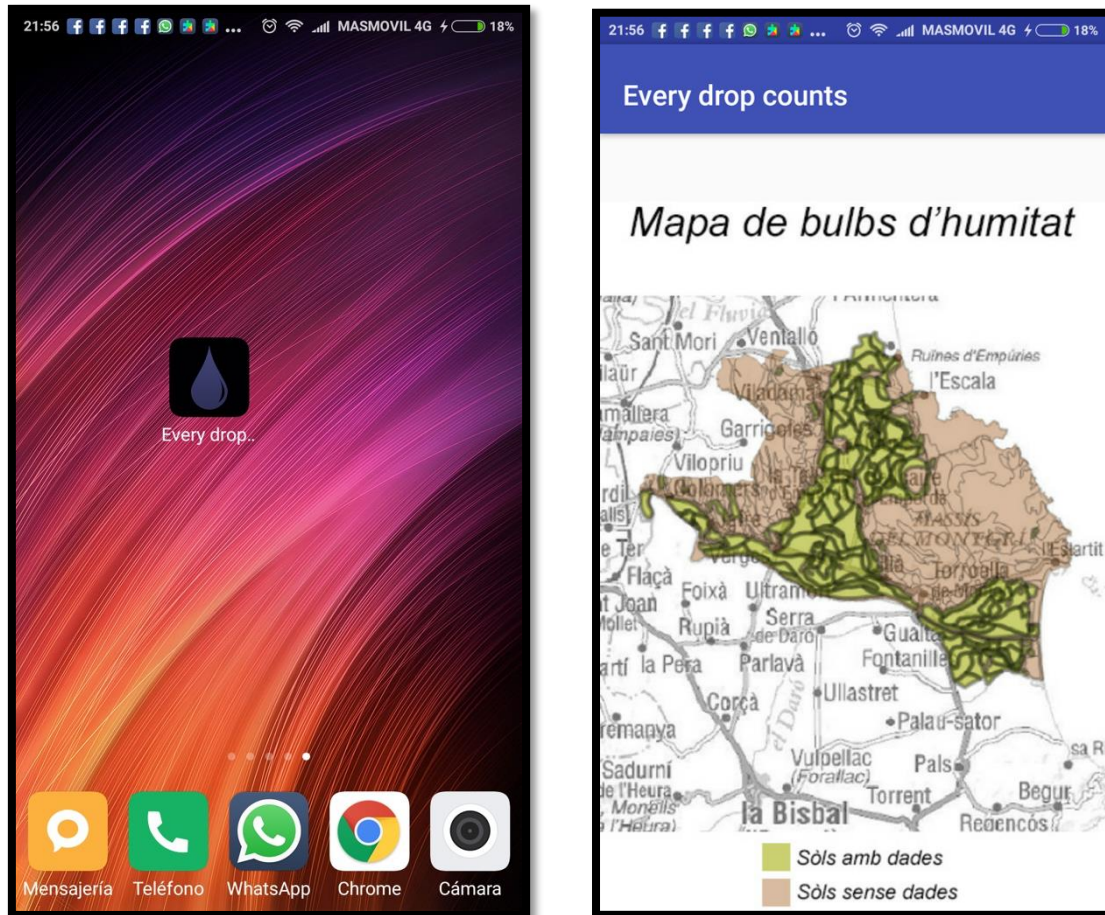


Figura 35 i Figura 36. Es pot apreciar la icona de l'aplicació dins l'entorn Android i la pantalla inicial de l'aplicació respectivament.

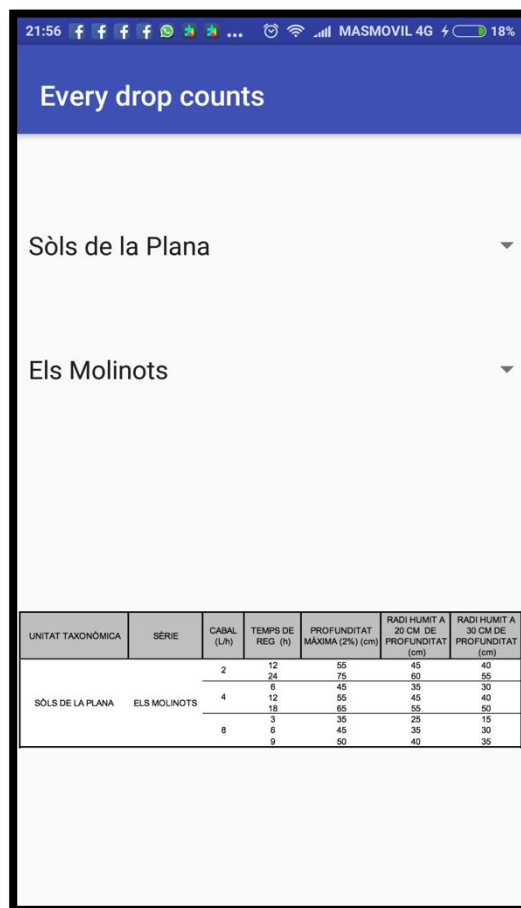
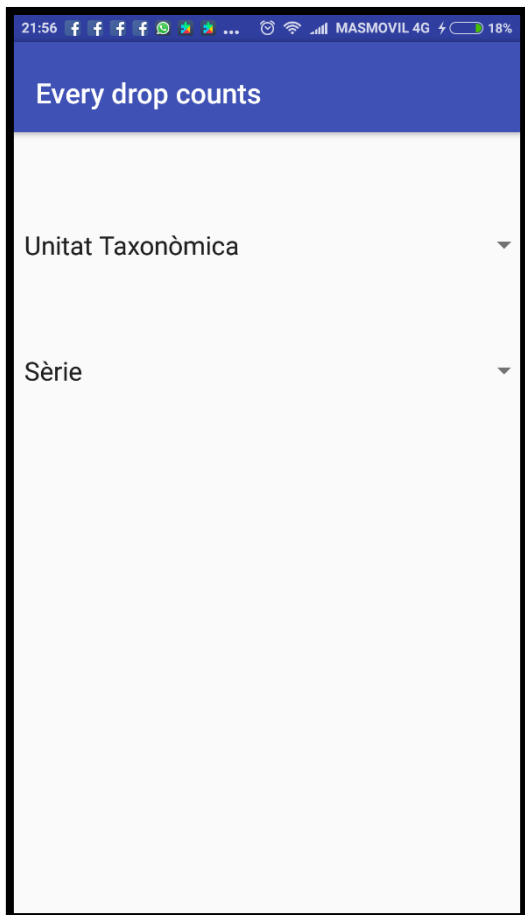


Figura 37 i Figura 38. Segona pantalla de l'aplicació on es pot escollir la unitat taxonòmica i la sèrie del sòl i resultats que mostra l'aplicació un cop seleccionats els paràmetres de localització respectivament.

4.5. Exemple de disseny agronòmic d'una plantació de fruiters a partir de l'aplicació GIS proposada

En aquest apartat es mostra com es desenvoluparia la consulta de dades del bulb d'humitat i de disseny agronòmic per a una plantació de fruiters en una parcel·la concreta.

Així doncs disposant de les dades cadastrals del camp on es vol projectar el sistema de reg, es procedeix a la consulta.

Dades:

- Polígon: 004
- Parcel·la: 85

En primer lloc s'obra el fitxer Mapa Bulbs d'Humitat.qgs i s'activen les capes Sòls amb dades, Cadastre i Topogràfic.

Seguidament es busca el polígon 004 (en lila) i es fa zoom a la zona fins que apareixen també els números de parcel·la. Una vegada es veuen es busca el número 85 (Figura 39).

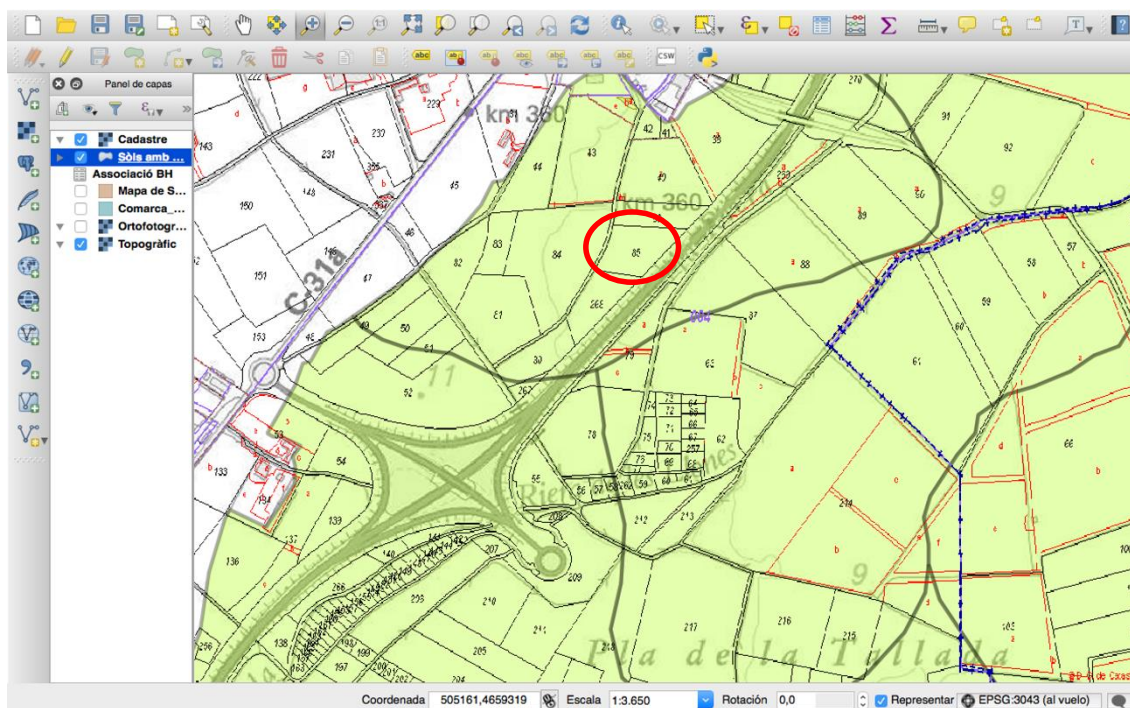


Figura 39. Recerca del polígon i número de parcel·la d'un camp determinat.

En la Figura 39 s'observa que la parcel·la escollida forma part del grup de sòls amb bulb d'humitat associat (es mostra en verd). En cas contrari es mostra sense ombrejat verd.

Es selecciona l'eina d'informació del programa i es clica sobre la parcel·la 85 (Figura 40). Un cop seleccionada el contorn de la unitat cartogràfica a la qual pertany es mostra en vermell. S'activa també la capa del mapa ortofotogràfic per confirmar la localització de la parcel·la.

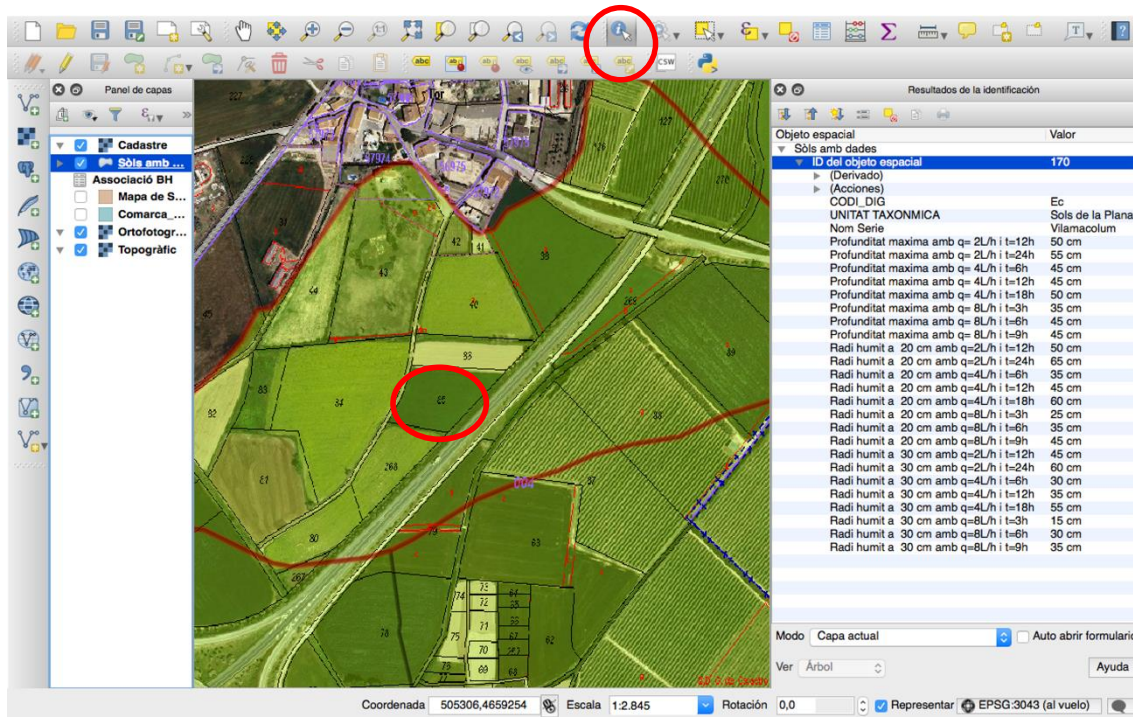


Figura 40. Captura de pantalla del programa QGIS durant la consulta del bulb d'humitat en una parcel·la segons dades cadastrals.

A partir de la taula de dades que s'obra al clicar sobre una parcel·la (esquerra de la Figura 40) s'escullen valors de cabal i temps per procedir amb el disseny agronòmic.

Emissor de 2L/h i temps de reg de 12h:

Amb els valors escollits el bulb d'humitat assoleix, d'acord amb la taula de la Figura 40, una profunditat màxima de 50 cm i un radi mullat a 30 cm de profunditat de 45 cm.

La profunditat p que es vol mullar ha d'estar compresa entre 0,9 i 1,2 la profunditat de les arrels (40 cm):

$$0,90p_r < p < 1,20p_r$$

Per tant si vol mullar 40cm de sòl l'equació es compleix:

$$0,90 \times 40\text{cm} < 40\text{cm} < 1,20 \times 40\text{cm}$$

Seguidament es calcula l'àrea de sòl mullada per un emissor:

$$A_e = \pi \times r^2$$

$$A_e = \pi \times 0,45^2 = 0,636 \text{ m}^2$$

Es busca el percentatge de sòl contingut dins el marc de plantació que mulla l'emissor, es recomana que sigui d'entre el 33% i el 66%.

$$P_m = \frac{A_e}{\text{Marc de plantació}}$$

$$P_m = \frac{0,636}{3,5} = 0,1818 \rightarrow 18,18\%$$

$$N_e = \frac{40\%}{18,18\%} = 2,20 \approx 2 \text{ emissors}$$

Per tal d'aconseguir els percentatges recomanats caldrien 2 emissors per planta.

Es calculen els intervals de reg per saber cada quants dies s'hauria de regar.

$$I = \frac{e \times V_e}{NAR}$$

$$I = \frac{2 \times 24}{24} = 2 \text{ dies}$$

Cal tenir en compte que tots aquests càlculs tenen veracitat a nivell de disseny agronòmic en l'etapa de projecte de la instal·lació en que es pretén dissenyar per el cas desfavorable, que no necessàriament s'ha de donar en l'etapa de maneig del sistema, en que per exemple probablement en molts casos caldrà considerar la precipitació efectiva.

5. CONCLUSIONS

1. La precisió de les eines projectades ve condicionada per:
 - a. Les característiques del Mapa de Sòls:
 - a. L'escala del document de partida (E.1:25.000).
 - b. La representativitat del valors de càlcul atribuïts als paràmetres del sòl extrets del Mapa.
 - c. La concreció en la definició d'algunes unitats cartogràfiques complexes formades per series diferents, que s'ha resolt associant a la unitat cartogràfica el bulb d'humitat de la sèrie mes desfavorable, entenent com a tal el de menor radi humit, però que suposa un grau d'incertesa.
 - b. La variabilitat en les propietats hidràuliques del sòl tant en superfície com en profunditat (per exemple presència de cremadors en alguns punts) que presenten els sòls d'origen al·luvial, que constitueixen la majoria de sòls de l'estudi
 - c. El contingut volumètric d'aigua adoptat en el càlcul i fixat en el valor corresponent al 25% de l'aigua útil
2. De les 55 sèries de sòl contemplades al Mapa de Sòls del Baix Ter 24 s'han considerat d'interès pel regadiu per les seves característiques edafològiques.
3. Els resultats obtinguts en relació als bulbs d'humitat han mostrat els rang de valors:
 - a. Profunditat màxima: 20 cm – 75 cm
 - b. Radi humit a 20 cm: 10 cm – 85cm
 - c. Radi humit a 30 cm: 0 cm – 60 cm

4. En relació a les aplicacions desenvolupades:
 - a. Els sistemes d'informació geogràfics s'han mostrat molt útils per vincular les parcel·les agrícoles georeferenciades amb els resultats dels bulbs d'humitat. Per contra presenten l'inconvenient que l'usuari ha de disposar del programari necessari i tenir coneixements avançats.
 - b. InstaMaps facilita les consultes de les variables de disseny agronòmic ja que utilitza un entorn amigable, de fàcil maneig i amb possibilitats de distribució per l'entorn web i xarxes socials.
 - c. L'aplicació Android, en l'estat de desenvolupament actual, també mostra fàcilment les dades necessàries pel disseny en funció del tipus de sòl, però presenta l'inconvenient que no permet la georeferenciació dels sòls i de les parcel·les.

5. Les aplicacions desenvolupades s'han mostrat d'interès per a la millora del disseny agronòmic del reg localitzat en el Baix Ter. Això no obstant es recomanen observacions directes a camp per tal de complementar els resultats obtinguts

6. SUGGERIMENTS PER FUTURES LÍNIES DE TREBALL

Com a continuïtat en la línia del treball es proposa:

- Ampliar els resultats a altres situacions agronòmiques: volums aplicats i profunditats radiculars.
- Analitzar la variació del radi i profunditat mullada en funció del cabal dels emissors, volum d'aplicació i tipus de sòl.
- Comparar els resultats obtinguts amb els procedents de l'aplicació d'altres models com les equacions de Schwartzmass i Zur (1986).
- Evolucionar l'aplicació Android:
 - Incorporant-hi funcions de geolocalització.
 - Fent-la apte per a altres plataformes (multiplataforma).

7. BIBLIOGRAFIA

ACA. (2013). *Eficiència en el reg agrícola*. Generalitat de Catalunya. Recuperat de https://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca?_nfpb=true&_pageLabel=P1400026681236618303483&_nfls=false i consultat 22/02/17

Aljibury, F.K., A.W. Marsh and J. Huntamerj, J., (1974). *Water use with drip irrigation*. In Proc 2nd International Drip Irrigation Congress, California, USA. 341-345.

Android Studio (sense any). *Guía del usuario*. Recuperat de <https://developer.android.com/studio/index.html> i consultat el 10/03/17.

Arbat, G., Puig-Bargués, J., Duran-Ros, M., Barragán, J., Ramírez de Cartagena, F. (2013). *Drip-Irrigation: Computer software to simulate soil wetting patterns under surface drip irrigation*. *Computers and Electronics in Agriculture*, 98, 183-192.

Bucks, D. A., Nakayama, F. S. i Warrick, A. W. (1980). *Principles, practices and potentialities of trickle (drip) irrigation*. *Advances in Irrigation*, 1, 219-298.

Cook, F. J., Thorburn, P. J., Fitch, P., Bristow, K. L. (2003). *WetUp: a software tool to display approximate wetting patterns from drippers*. *Irrig. Sci.* 22 (3–4), 129-134.

Cuello, J., Vittone, J. (2013). *Las aplicaciones*. Recuperat de <http://appdesignbook.com/es/contenidos/las-aplicaciones/> i consultat 5/03/17.

Doorembos, J., Pruitt, W.O. (1977). *Crop water requirements*. Irrigation and Drainage. Paper 24. FAO of the United Nations. Roma (Itàlia), 144 pp.

FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar* [Document PDF]. Recuperat de <http://www.fao.org/3/a-x0490s/x0490s02.pdf> i consultat 27/04/17.

Gencat (2015). *Quanta aigua gastem?*. Recuperat de http://mediambient.gencat.cat/ca/05_ambits_dactuacio/educacio_i_sostenibilitat/educacio_per_a_la_sostenibilitat/suport_educatiu/ambits_tematics/aigua/informacio/quanta_aigua_gastem/ i consultat 30/04/17.

Girona, J. (2013). *Coeficients de cultiu*. En: *Dossier tècnic 61: Requeriments hídrics dels cultius llenyosos (I)*. Recuperat de https://www.ruralcat.net/c/document_library/get_file?uuid=67c4ff0b-ff40-4c41-ba9f-00cb40d20408&groupId=10136 i consultat 30/03/17.

Hinnell, A. C., Lazarovitch, N., Furman, A., Poulton, M., Warrick, A. W., (2010). *Neuro-Drip: estimation of subsurface wetting patterns for drip irrigation using neural networks*. *Irrig. Sci.* 28 (6), 535–544.

Hoare, E. R., Garzoli, K. V., Blackwell, J. (1974). *Plant water requirements as related to trickle irrigation*. Proc. 2nd. Int. Drip Irrigation. Congress. California, USA: 323-328.

Howell, T. A., Aljibury, F. K., Gitlin, A. M., Wu, I. P., Warrick, A. W. y Raats, P. A. C. (1983). *Design and operation of trickle (drip) systems*. Jensen, M.E (Ed.). *Design and Operation of Farm Irrigation Systems*. 663-717. Fort Collins, Colorado.

IEC. (2008). *Mapes de sòls*. Recuperat de <http://www.iec.cat/mapasols/Ca/Informacio.asp?Grup=B&Opcio=6> i consultat 20/03/17.

INE. (2008). *Estadísticas e indicadores del agua* [Document PDF]. Recuperat de <http://www.ine.es/revistas/cifraine/0108.pdf> i consultat 30/04/17

Keller, J. (1978). *Trickle irrigation*. In *Irrigation* (Ch. 7). National Engineering Handbook USDA-SCS.

Keller, J. (2002). *Evolución del riego localizado: usos tradicionales y no tradicionales*. En: Reunión Internacional sobre Avances en Riego Localizado. (1ra Edición). Puerto de la Cruz. Tenerife: INIA.

Keller, J., Karmeli, D. (1974). *Trickle irrigation design*. Rain Bird Corp. Glendora, California USA.

Margarit, J., Muñoz, P., Usón, A., Boixadera, J. (1993). *Mapa de sòls detallat E 1:25.000 del Marge Esquerre del Baix Ter*. Secció de Sòls i Fertilizants Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca.

MAPAMA. (2015). *Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. Informe sobre regadíos en España*. Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente [Documento PDF]. Recuperat de http://www.mapama.gob.es/es/estadistica/temas/novedades/regadios2015_tcm7-404816.pdf i consultat 14/02/17

Pizarro, F. (1990). *Riegos localizados de alta frecuencia (2n ed.)*. Mundi Prensa. Madrid

Puig-Bargués, J. (2003). *Utilización de aguas residuales en sistemas de riego localizado: Embozamiento y filtración*. Tesis doctoral. Universitat de Lleida.

Philip, J. R. (1984). *Travel times from buried and Surface infiltration point sources*. Water Resources research.

Rodrigo-López, J., Hernández-Abreu, J. M., Pérez-Regalado, A. i González-Hernández, J. F. (1992). *Riego Localizado*. Mundi-Prensa. Madrid.

Saxton, K. E., Rawls, W. J., Romberger, J. S., Papendick, R. I. (1986). *Estimating generalized soil-water characteristics from texture*. Soil Sci. Soc. Am. J. 50 (4), 1031–1036.

Schaap, M. G., Leij, F.J., van Genuchten, M.T. (2001). *ROSETTA: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions*. J. Hydrol. 251 (3–4), 163–176.

Schwartzman, M., Zur, B. (1986). *Emitter spacing and geometry of wetted soil volume*. Journal of irrigation and Drainage Engineering.

Šimůnek, J., van Genuchten, M. T., Sejna, M. (2006). *HYDRUS, software package for simulating the two- and three-dimensional movement of water, heat and solute transport in variably-saturated media. Technical Manual v. 1.* PC Progress, Prague, Czech Republic.

Thorburn, P. J., Cook, F. J., Bristow, K. L. (2003). *Soil dependent wetting from trickle emitters: implication for design and management.* Irrig. Sci. 22 (3–4), 121–127.

Universidad de Salamanca. (2008). *Sistema Transfronterizo de Información Geográfica.* Recuperat de <http://www.stig.usal.es/quehacemos.php> i consultat 21/03/17.

van Genuchten, M. T. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44(5), 892-898.

Vermeiren, L., Jobling, G. A. Trickle irrigation. FAO. *Irrigation and Drainage*, 36. Roma, 203 pp.

Warrick, A. W. (2003). *Soil Water Dynamics.* Oxford University Press. New York.

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Agroalimentària

Títol: Sistema d'informació geogràfica i aplicació per a mòbil com a eines pel disseny agronòmic en reg localitzat al Baix Ter

Document: Annexos

Alumne: Gerard Cordeiro i Santanach

Tutor: Francesc Ramírez de Cartagena i Bisbe i Miquel Duran i Ros

Departament: d'Enginyeria Química, Agrària i Tecnologia Agroalimentària

Àrea: Enginyeria Hidràulica, Enginyeria Agroforestal

Convocatòria (mes/any): Juny / 2017

Aquesta pàgina s'ha deixat en blanc de manera intencionada

Índex Annexos

Annex I: Dades mitjanes d'ET _o La Tallada d'Empordà (1990-2015).....	1
Annex II: Anàlisi de dades d'ET _o mitjançant el mètode de Weibull.....	5
Annex III: Paràmetres i càlculs dels sòls estudiats aptes pel reg.....	19
Annex IV: Càlcul dels bulbs d'humitat.....	22

Annex I: Dades mitjanes d'ET. La Tallada d'Empordà (1990-2015)

Índex Annex I

Dades mitjanes d'ET. La Tallada d'Empordà (1990-2015).....	3
--	---

Dades mitjanes d'ET. La Tallada d'Empordà (1990-2015)

Es parteix de les dades recollides per l'estació meteorològica situada a La Tallada d'Empordà entre els anys 1990 i 2015. Es fa una selecció dels valors d'ET_o i s'aplica la mitjana aritmètica pels mesos de juny, juliol i agost (Taula 1).

Taula 1. Valors mitjans període 1990-2015.

Any	Mes	Mitjana ET _o (mm/dia)
1990	Juny	3,43
	Juliol	4,49
	Agost	3,77
1991	Juny	3,38
	Juliol	4,2
	Agost	3,85
1992	Juny	2,6
	Juliol	3,26
	Agost	3,18
1993	Juny	3,48
	Juliol	4,12
	Agost	3,59
1994	Juny	4,68
	Juliol	4,51
	Agost	4,16
1995	Juny	3,43
	Juliol	4,24
	Agost	3,42
1996	Juny	4,36
	Juliol	4,4
	Agost	3,31
1997	Juny	3,12
	Juliol	3,91
	Agost	3,52
1998	Juny	3,8
	Juliol	4,58
	Agost	3,76
1999	Juny	3,92
	Juliol	4,26
	Agost	3,69
2000	Juny	4,02
	Juliol	3,95
	Agost	3,89
2001	Juny	4,56
	Juliol	4,01
	Agost	4,04

Taula 2 (continuació). Valors mitjans període 1990-2015.

Any	Mes	Mitjana ETo
2002	Juny	4,14
	Juliol	3,72
	Agost	3,02
2003	Juny	4,79
	Juliol	4,66
	Agost	4,42
2004	Juny	4,44
	Juliol	3,69
	Agost	3,89
2005	Juny	4,32
	Juliol	4,3
	Agost	3,64
2006	Juny	4,43
	Juliol	4,93
	Agost	3,61
2007	Juny	4,35
	Juliol	4,47
	Agost	3,39
2008	Juny	4,36
	Juliol	4,9
	Agost	4,3
2009	Juny	4,82
	Juliol	4,81
	Agost	4,8
2010	Juny	4,52
	Juliol	5,32
	Agost	4,49
2011	Juny	4,15
	Juliol	4,02
	Agost	4,51
2012	Juny	4,73
	Juliol	4,93
	Agost	4,68
2013	Juny	4,62
	Juliol	5
	Agost	4,37
2014	Juny	4,53
	Juliol	4,42
	Agost	3,78
2015	Juny	5,18
	Juliol	5,12
	Agost	4,16

Annex II: Anàlisi de dades d'ET₀ mitjançant el mètode de Weibull

Índex Annex II

II.I Anàlisi de Weibull per les mitjanes mensuals d'ET _o de juny.....	7
II.II Anàlisi de Weibull per les mitjanes mensuals d'ET _o de juliol.....	13
II.III Anàlisi de Weibull per les mitjanes mensuals d'ET _o agost.....	15
II.IV Anàlisi de Weibull per els valors diaris d'ET _o de juliol.....	17

II.I Anàlisi de Weibull per les mitjanes mensuals d'ET₀ de juny

L'anàlisi de Weibull s'inicia amb l'elaboració d'una taula (Taula 3) organitzada en columnes. En la primera s'hi col·loquen els anys del qual es té dades (Any), a la columna contigua les dades que es volen analitzar (I) i s'enumeraren iniciant el compte en 1 (i). A continuació es s'ordenen les dades (I) de major a menor i en resulta X valor. Cal també calcular la F empírica i es realitza de la següent manera: $i / (i+1)$. Finalment es calculen x i y que per tal de graficar un núvol de punts (Figura 1) i buscar-ne la recta d'ajust. X es calcula aplicant el logaritme neperià de X valor, és a dir $\text{LN}(X \text{ valor})$ i y es calcula amb el $\text{LN}(-\text{LN}(1-F \text{ empírica}))$.

Taula 3. Primera fase de l'anàlisi de Weibull per les dades dels mesos de Juny.

Any	I	i	X valor	F empírica	x	y
1990	3,4323	1	5,1843	0,0370	1,6456	0,0000
1991	3,3800	2	4,8177	0,0741	1,5723	-2,5645
1992	2,5957	3	4,7877	0,1111	1,5660	-2,1389
1993	3,4817	4	4,7310	0,1481	1,5541	-1,8304
1994	4,6833	5	4,6833	0,1852	1,5440	-1,5857
1995	3,4323	6	4,6230	0,2222	1,5310	-1,3811
1996	4,3627	7	4,5600	0,2593	1,5173	-1,2036
1997	3,1153	8	4,5293	0,2963	1,5106	-1,0458
1998	3,7980	9	4,5217	0,3333	1,5089	-0,9027
1999	3,9203	10	4,4420	0,3704	1,4911	-0,7708
2000	4,0233	11	4,4267	0,4074	1,4876	-0,6477
2001	4,5600	12	4,3627	0,4444	1,4731	-0,5314
2002	4,1377	13	4,3603	0,4815	1,4725	-0,4204
2003	4,7877	14	4,3500	0,5185	1,4702	-0,3135
2004	4,4420	15	4,3237	0,5556	1,4641	-0,2096
2005	4,3237	16	4,1520	0,5926	1,4236	-0,1077
2006	4,4267	17	4,1377	0,6296	1,4201	-0,0068
2007	4,3500	18	4,0233	0,6667	1,3921	0,0940
2008	4,3603	19	3,9203	0,7037	1,3662	0,1959
2009	4,8177	20	3,7980	0,7407	1,3345	0,3001
2010	4,5217	21	3,4817	0,7778	1,2475	0,4082

Any	l	i	X valor	F empírica	x	y
2011	4,1520	22	3,4323	0,8148	1,2332	0,5226
2012	4,7310	23	3,4323	0,8519	1,2332	0,6469
2013	4,6230	24	3,3800	0,8889	1,2179	0,7872
2014	4,5293	25	3,1153	0,9259	1,1363	0,9565
2015	5,1843	26	2,5957	0,9630	0,9538	1,1927

De la primera fase de l'anàlisi de Weibull se'n obtenen x i y entre d'altres valors, però seran els esmentats els que s'utilitzaran per procedir. Es realitza una dispersió de punts i es busca la recta d'ajust (Figura 1). Paral·lelament es busca R^2 per saber el nivell d'ajust amb que es treballa.

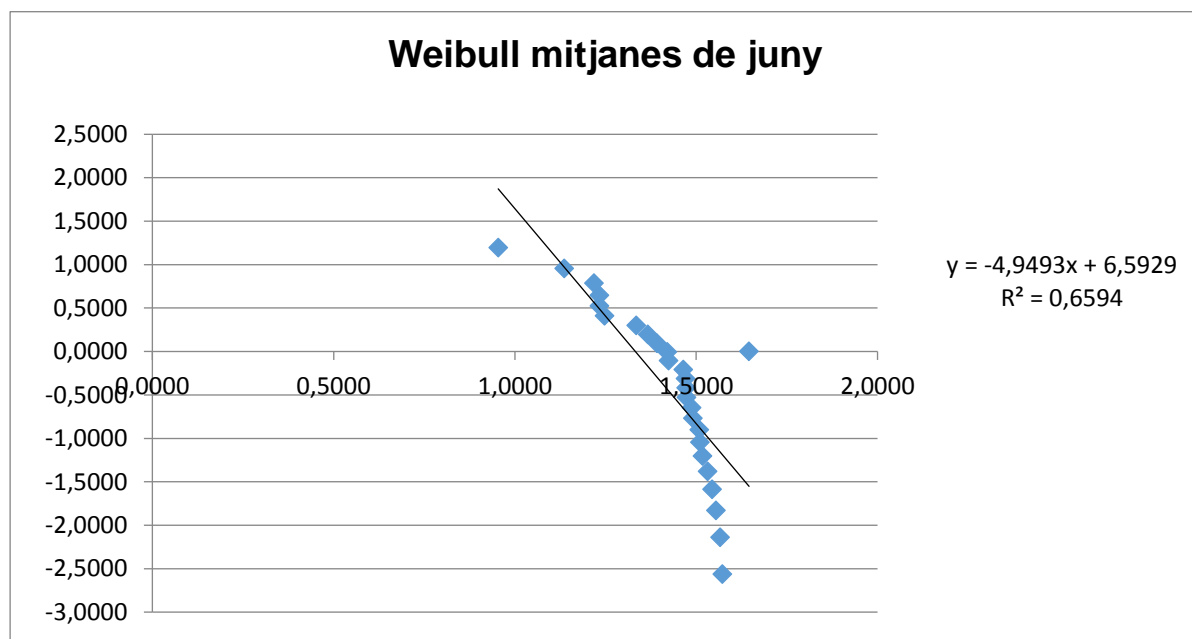


Figura 1. Representació gràfica de les dades xy obtingudes en la Taula 2. Es dibuixa una línia de tendència lineal i s'obté l'equació de la recta.

La segona fase de l'anàlisi procedeix amb l'obtenció dels valors de l'equació de distribució de Weibull (1).

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta} \quad (1)$$

Aplicant logaritmes a l'equació anterior (1) s'obté l'equació d'una recta (2), de manera que és equiparable a la recta d'ajust que apareix en la Figura 1.

$$LN(-LN(1 - F)) = \beta x - \beta LN\alpha \quad (2)$$

Realitzant la igualació comentada s'obtenen els paràmetres de l'equació de Weibull (1). Es mostren a la Taula 4.

Taula 4. Paràmetres de l'equació de Weibull pel grup de dades analitzades.

β	-4,9493
α	3,7889
$\beta \cdot \text{Ln}\alpha$	-6,5929
R^2	0,6594

Amb els valor obtinguts es pot definir l'equació de distribució de Weibull pel grup de dades analitzades com:

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{3,7889}\right)^{-4,9493}}$$

Substituint la x de l'equació anterior pels valors de X Valor que es mostren a la Taula 3 s'obté la freqüència real (F real a partir d'ara).

$$F(5,1843) = 1 - e^{-\left(\frac{5,1843}{3,7889}\right)^{-4,9493}} = 0,1909$$

Realitzant la substitució de totes les dades de X Valor a la fórmula anterior s'obtenen les F reals.

Seguidament s'aplica la prova Z de Kolmogorov-Smirnov que consisteix en realitzar la resta dels valors de F real i F empírica en valor absolut i buscar el valor superior.

A la Taula 5 es mostra el resultat del procediment descrit anteriorment.

Taula 5. Valors obtinguts per realitzar la prova z de Kolmogorov-Smirnov per les dades de Juny. Nivell de significança emprat: 0,05.

x	F real	F empírica	Prob. Dif. Abs
5,1843	0,1909	0,0370	0,1539
4,8177	0,2626	0,0741	0,1885
4,7877	0,2696	0,1111	0,1585
4,7310	0,2834	0,1481	0,1352
4,6833	0,2955	0,1852	0,1104
4,6230	0,3117	0,2222	0,0895
4,5600	0,3295	0,2593	0,0703
4,5293	0,3386	0,2963	0,0423
4,5217	0,3409	0,3333	0,0076
4,4420	0,3657	0,3704	0,0047
4,4267	0,3706	0,4074	0,0368
4,3627	0,3921	0,4444	0,0524
4,3603	0,3929	0,4815	0,0886
4,3500	0,3964	0,5185	0,1221
4,3237	0,4056	0,5556	0,1499
4,1520	0,4705	0,5926	0,1221
4,1377	0,4763	0,6296	0,1534
4,0233	0,5243	0,6667	0,1424
3,9203	0,5703	0,7037	0,1334
3,7980	0,6278	0,7407	0,1130
3,4817	0,7812	0,7778	0,0035
3,4323	0,8043	0,8148	0,0105
3,4323	0,8043	0,8519	0,0476
3,3800	0,8279	0,8889	0,0609
3,1153	0,9283	0,9259	0,0023
2,5957	0,99850	0,9630	0,0355
		Màxima diferència	0,1884

El valor de màxima diferència s'ha de comparar amb el valor definit en la Taula 6, depenent del nivell de significança i el nombre de dades.

Taula 6. Valors màxims permesos per a la realització de la prova Z de Kolmogorov-Smirnov.

n	Test de Kolmogorov-Smirnov							
	Nivel de significación α							
	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.005	0.002	0.001
1	0.90000	0.95000	0.97500	0.99000	0.99500	0.99750	0.99900	0.99950
2	0.68337	0.77639	0.84189	0.90000	0.92929	0.95000	0.96838	0.97764
3	0.56481	0.63604	0.70760	0.78456	0.82900	0.86428	0.90000	0.92065
4	0.49265	0.56522	0.62394	0.68887	0.73424	0.77639	0.82217	0.85047
5	0.44698	0.50945	0.56328	0.62718	0.66853	0.70543	0.75000	0.78137
6	0.41037	0.46799	0.51926	0.57741	0.61661	0.65287	0.69571	0.72479
7	0.38148	0.43607	0.48342	0.53844	0.57581	0.60975	0.65071	0.67930
8	0.35831	0.40962	0.45427	0.50654	0.54179	0.57429	0.61368	0.64098
9	0.33910	0.38746	0.43001	0.47960	0.51332	0.54443	0.58210	0.60846
10	0.32260	0.36866	0.40925	0.45562	0.48893	0.51872	0.55500	0.58042
11	0.30829	0.35242	0.39122	0.43670	0.46770	0.49539	0.53135	0.55588
12	0.29577	0.33815	0.37543	0.41918	0.44905	0.47672	0.51047	0.53422
13	0.28470	0.32549	0.36143	0.40362	0.43247	0.45921	0.49189	0.51490
14	0.27481	0.31417	0.34890	0.38970	0.41762	0.44352	0.47520	0.49753
15	0.26589	0.30397	0.33750	0.37713	0.40420	0.42934	0.45611	0.48182
16	0.25778	0.29472	0.32733	0.36571	0.39201	0.41644	0.44637	0.46750
17	0.25039	0.28627	0.31796	0.35528	0.38086	0.40464	0.43380	0.45540
18	0.24360	0.27851	0.30936	0.34569	0.37062	0.39380	0.42224	0.44234
19	0.23735	0.27136	0.30143	0.33685	0.36117	0.38379	0.41156	0.43119
20	0.23156	0.26473	0.29408	0.32866	0.35241	0.37451	0.40165	0.42085
21	0.22517	0.25858	0.28724	0.32104	0.34426	0.36588	0.39243	0.41122
22	0.22115	0.25283	0.28087	0.31394	0.33666	0.35782	0.38382	0.40223
23	0.21646	0.24746	0.27491	0.30728	0.32954	0.35027	0.37575	0.39380
24	0.21205	0.24242	0.26931	0.30104	0.32286	0.34318	0.36787	0.38588
25	0.20790	0.23768	0.26404	0.29518	0.31657	0.33651	0.36104	0.37743
26	0.20399	0.23320	0.25908	0.28962	0.30963	0.33022	0.35431	0.37139
27	0.20030	0.22898	0.25438	0.28438	0.30502	0.32425	0.34794	0.36473
28	0.19680	0.22497	0.24993	0.27942	0.29971	0.31862	0.34190	0.35842
29	0.19348	0.22117	0.24571	0.27471	0.29466	0.31327	0.33617	0.35242
30	0.19032	0.21756	0.24170	0.27023	0.28986	0.30818	0.33072	0.34672
31	0.18732	0.21412	0.23788	0.26596	0.28529	0.30333	0.32553	0.34129
32	0.18445	0.21085	0.23424	0.26189	0.28094	0.29870	0.32058	0.33611
33	0.18171	0.20771	0.23076	0.25801	0.27577	0.29428	0.31584	0.33115
34	0.17909	0.21472	0.22743	0.25429	0.27271	0.29005	0.31131	0.32641
35	0.17659	0.20185	0.22425	0.25073	0.26897	0.28600	0.30597	0.32187
36	0.17418	0.19910	0.22119	0.24732	0.26532	0.28211	0.30281	0.31751
37	0.17188	0.19646	0.21826	0.24404	0.26180	0.27838	0.29882	0.31333
38	0.16966	0.19392	0.21544	0.24089	0.25843	0.27483	0.29498	0.30931
39	0.16753	0.19148	0.21273	0.23785	0.25518	0.27135	0.29125	0.30544
40	0.16547	0.18913	0.21012	0.23494	0.25205	0.26803	0.28772	0.30171
41	0.16349	0.18687	0.20760	0.23213	0.24904	0.26482	0.28429	0.29811
42	0.16158	0.18468	0.20517	0.22941	0.24613	0.26173	0.28097	0.29465
43	0.15974	0.18257	0.20283	0.22679	0.24332	0.25875	0.27778	0.29130
44	0.15795	0.18051	0.20056	0.22426	0.24060	0.25587	0.27468	0.28806
45	0.15623	0.17856	0.19837	0.22181	0.23798	0.25308	0.27169	0.28493
46	0.15457	0.17665	0.19625	0.21944	0.23544	0.25038	0.26880	0.28190
47	0.15295	0.17481	0.19420	0.21715	0.23298	0.24776	0.26600	0.27896
48	0.15139	0.17301	0.19221	0.21493	0.23059	0.24523	0.26328	0.27611
49	0.14987	0.17128	0.19028	0.21281	0.22832	0.24281	0.26069	0.27339
50	0.14840	0.16959	0.18841	0.21068	0.22604	0.24039	0.25809	0.27067
n>50	1.07	1.22	1.36	1.52	1.63	1.73	1.85	1.95
	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}

En quant a n cal restar 1 al nombre de dades amb que s'ha treballat i el nivell de significança es defineix de 0,05. Així doncs amb $n=26-1=25$ i nivell de significança=0,05 la diferència màxima tolerable és de 0,26404.

Comparant aquesta amb la diferència màxima obtinguda en la Taula 5 es pot veure que no es sobre passa el valor ($0,26404 > 0,1884$) i per tant l'anàlisi és correcte.

Finalment per tal de saber quin percentatge de variacions probabilístiques explica el model es realitza una dispersió gràfica dels valors de F real i F empírica i es dibuixa una recta d'ajust amb el nivell d'ajust R^2 (Figura 2).

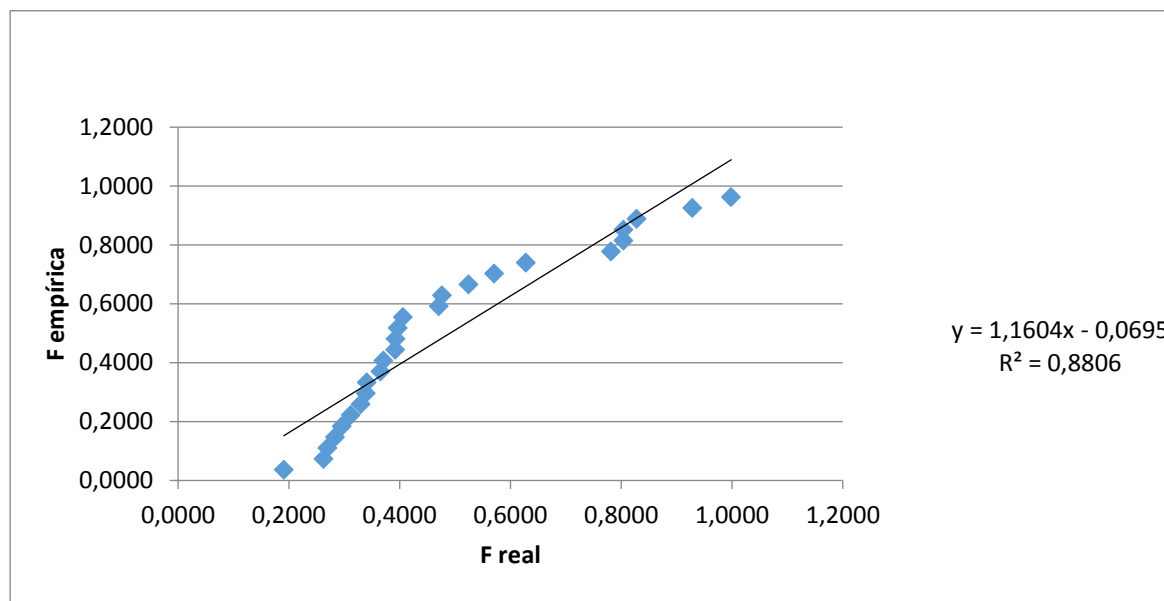


Figura 2. Representació gràfica de les dades de F real i F empírica obtingudes en la Taula 3. Es dibuixa una línia de tendència lineal i s'obté l'equació de la recta i el nivell d'ajust.

Com es pot veure el model explica un 88,06% de les variacions probabilístiques, valor pres com a acceptable.

Per acabar amb l'anàlisi de Weibull i trobar el valor desitjat cal utilitzar els valor de l'equació de distribució de Weibull deduïts a partir de la recta d'ajuts de la Figura 1 i buscar quin és el valor de ET_0 que no es superarà amb una probabilitat del 90%.

Es substitueix a l'equació (1) $F(x)$ per 0,9 i s'aïlla X:

$$x = e^{\frac{(\ln(-\ln(F)) + \beta \ln \alpha)}{\beta}}$$

$$x = e^{\frac{-2,2504 - 6,5929}{-4,9493}} = 5,97 \frac{mm}{dia}$$

El valor de 5,97 mm/dia es correspon amb el valor d' ET_0 que no es superarà en un 90% dels casos com a mitjana segons les dades estudiades.

II.II Anàlisi de Weibull per les mitjanes mensuals d'ET_o de juliol

Es segueix el procediment descrit en el primer apartat. Es mostren només les figures i resultats obtinguts.

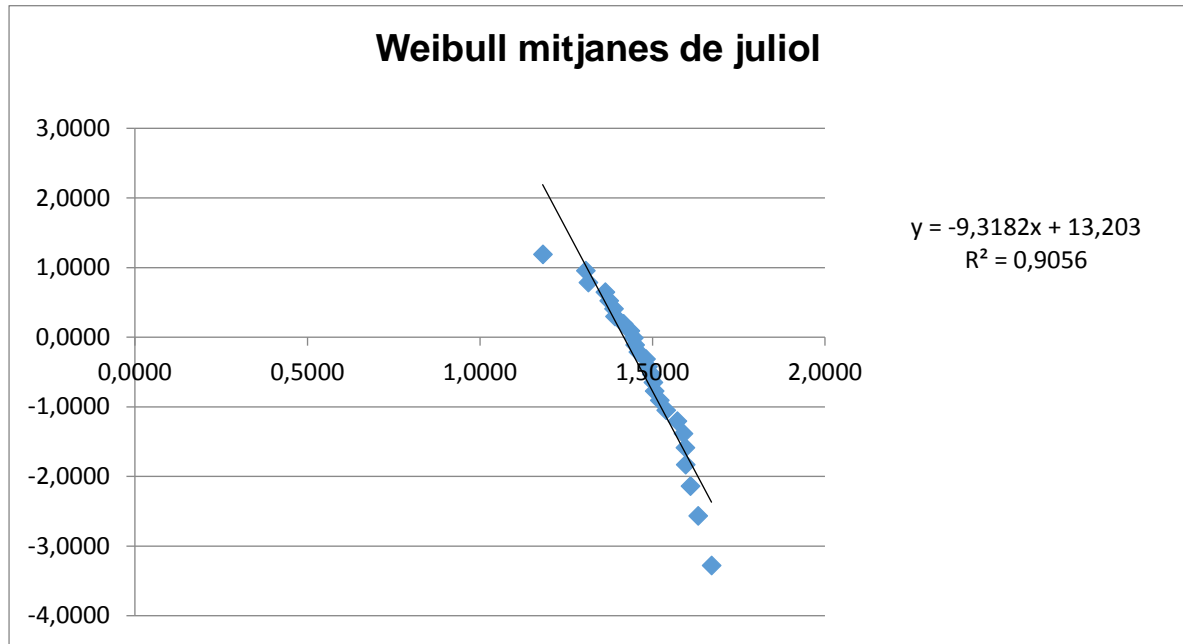


Figura 3. Representació gràfica de les dades xy obtingudes. Es dibuixa una línia de tendència lineal i s'obté l'equació de la recta.

Taula 7. Paràmetres de l'equació de Weibull pel grup de dades analitzades.

β	-9,3182
α	4,1243
$\beta \cdot \text{Ln}\alpha$	-13,203
R^2	0,9056

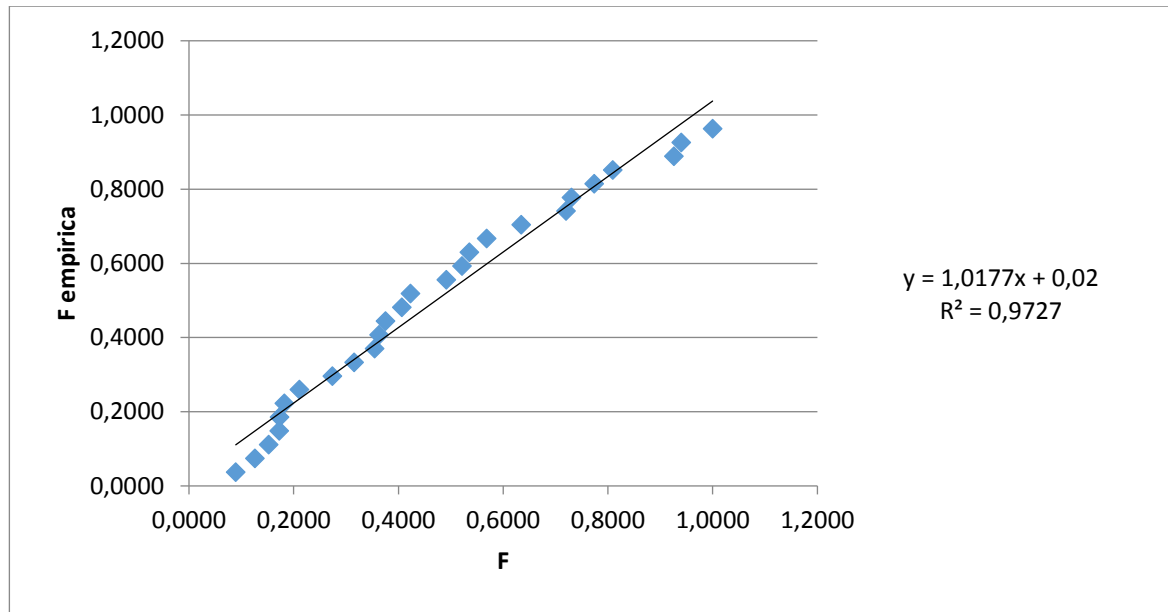


Figura 4. Representació gràfica de les dades de F real i F empírica obtingudes. Es dibuixa una línia de tendència lineal i s'obté l'equació de la recta i el nivell d'ajust.

$$x = e^{\frac{-2,2504 - 13,203}{-9,3182}} = 5,25 \frac{mm}{dia}$$

II.III Anàlisi de Weibull per les mitjanes mensuals d'ET. agost

Es segueix el procediment descrit en el primer apartat. Es mostren només les figures i resultats obtinguts.

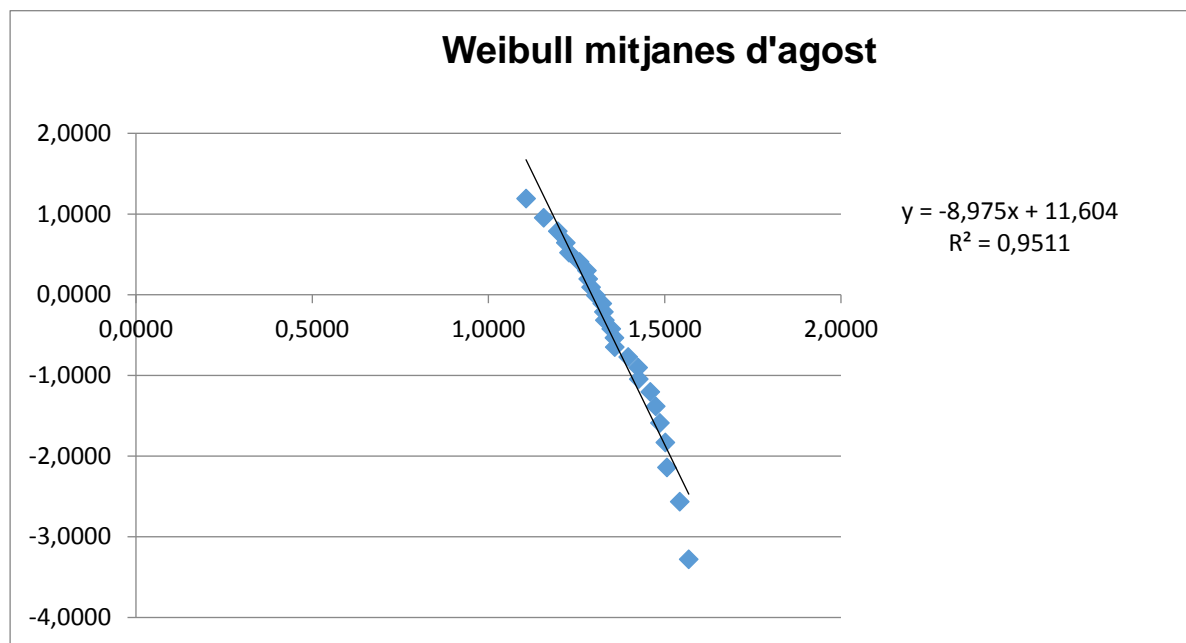


Figura 5. Representació gràfica de les dades xy obtingudes. Es dibuixa una línia de tendència lineal i s'obté l'equació de la recta.

Taula 8. Paràmetres de l'equació de Weibull pel grup de dades analitzades.

β	-8,975
α	3,6434
$\beta \cdot \text{Ln}\alpha$	-11,604
R^2	0,9511

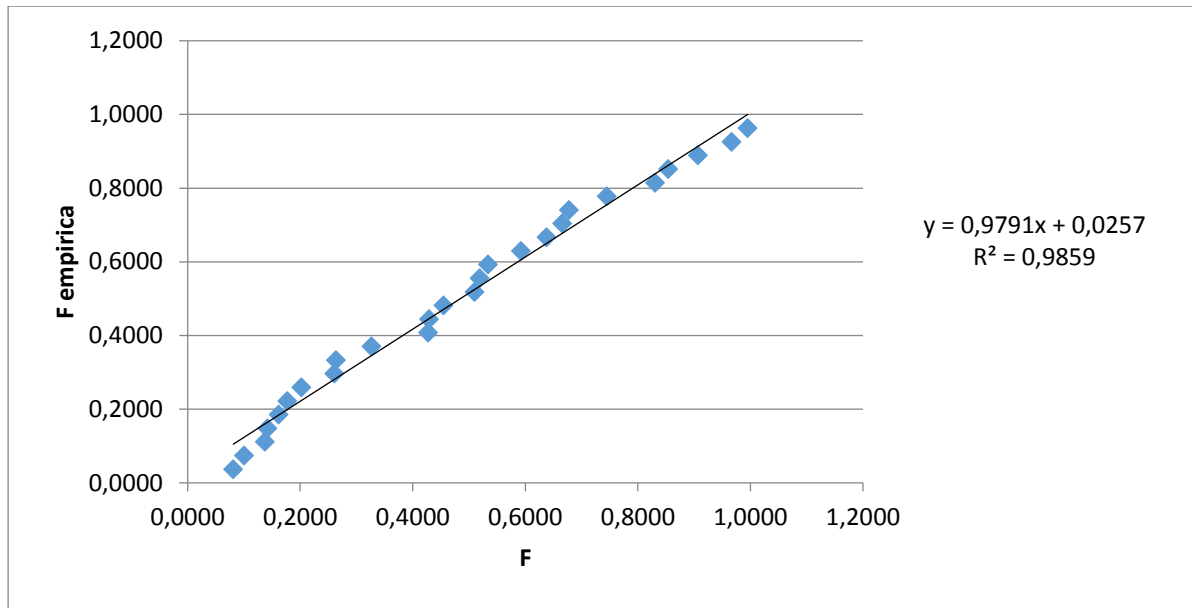


Figura 6. Representació gràfica de les dades de F real i F empírica obtingudes. Es dibuixa una línia de tendència lineal i s'obté l'equació de la recta i el nivell d'ajust.

$$x = e^{\frac{-2,2504 - 11,604}{-8,975}} = 4,86 \frac{mm}{dia}$$

II.IV Anàlisi de Weibull per els valors diaris d'ET_o de juliol

Es segueix el procediment descrit en el primer apartat però es varia el grup de dades analitzades. S'utilitzen tots els valors diaris d'ET_o de la sèrie 1990-2015. Es mostren només les figures i resultats obtinguts.

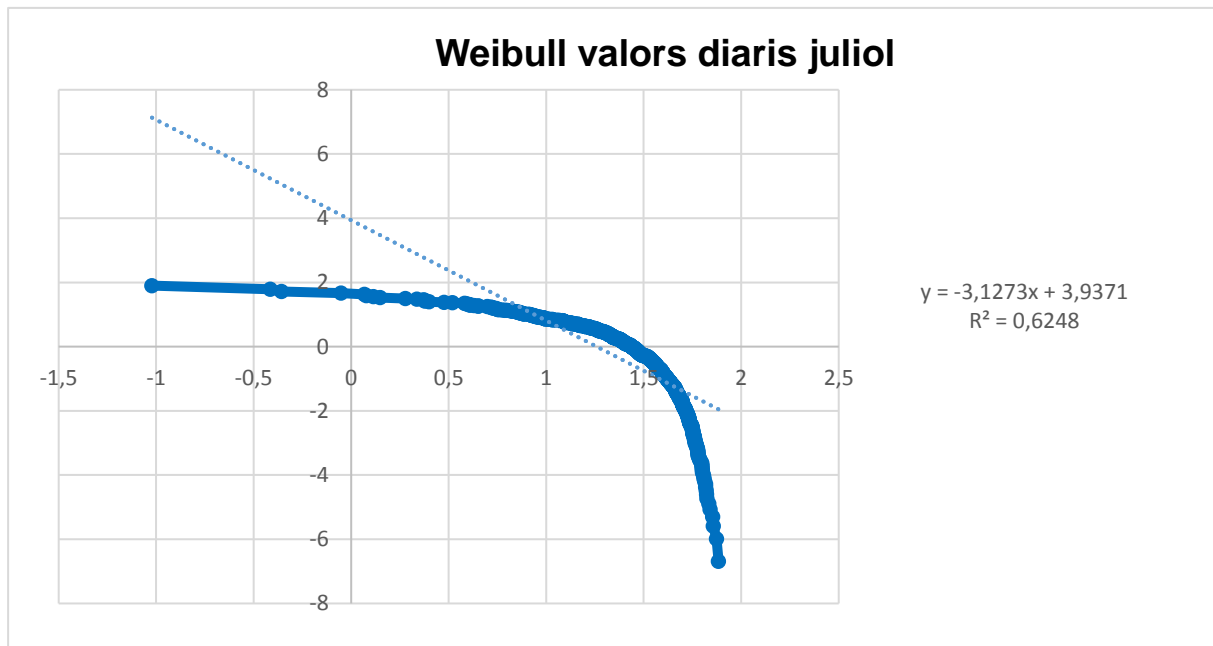


Figura 7. Representació gràfica de les dades xy obtingudes. Es dibuixa una línia de tendència lineal i s'obté l'equació de la recta.

Taula 9. Paràmetres de l'equació de Weibull pel grup de dades analitzades.

β	-3,1273
α	3,5217
$\beta \cdot \text{Ln}\alpha$	-3,9371
R^2	0,6247

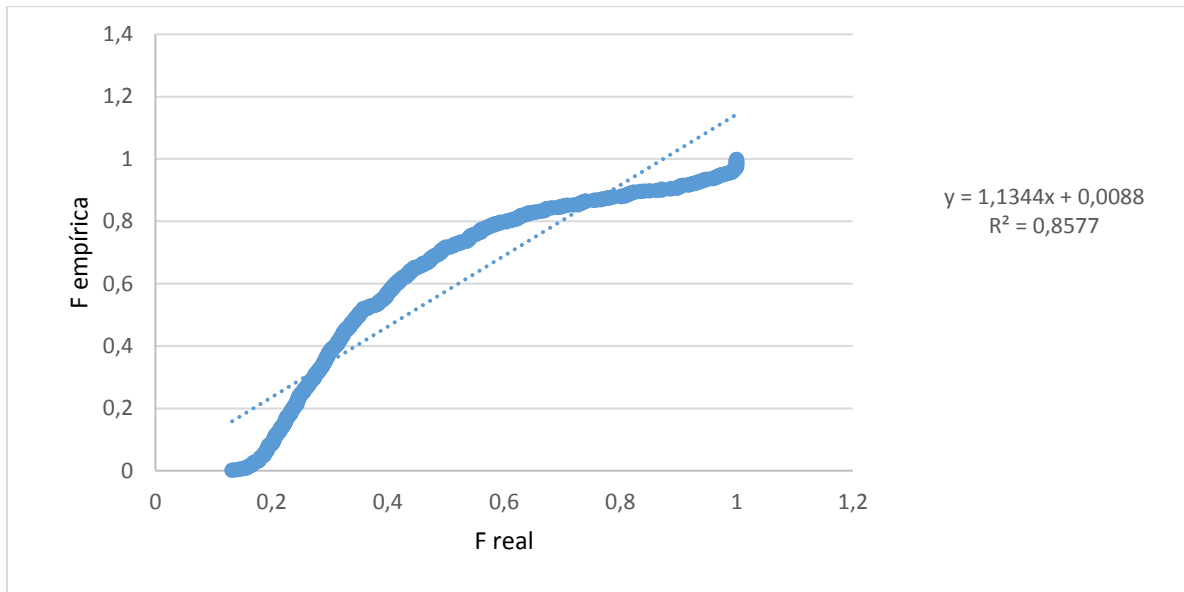


Figura 8. Representació gràfica de les dades de F real i F empírica obtingudes. Es dibuixa una línia de tendència lineal i s'obté l'equació de la recta i el nivell d'ajust.

Annex III: Paràmetres i càlculs dels sòls estudiats aptes pel reg

Índex Annex III

Paràmetres i càlculs dels sòls estudiats aptes pel reg.....21

Annex IV: Càlcul dels bulbs d'humitat

Índex Annex IV

Contingut volumètric inicial, final i increment.....	24
--	----

RESUM

Els sistemes de reg localitzat han suposat un gran avenç en les tècniques de regadiu. En els últims anys la instal·lació d'aquests sistemes ha augmentat en detriment dels mètodes tradicionals. Actualment a Espanya és el sistema de reg més utilitzat pel que fa a superfície, però no a Catalunya.

Amb els sistemes de reg localitzat es pot aconseguir una major eficiència en l'ús de l'aigua i l'energia enfront els altres sistemes (en excepció del reg per gravetat que no té consum energètic). Per això, cal realitzar un bon disseny agronòmic per tal d'aportar a la planta l'aigua que estrictament necessita. Paral·lelament cal un bon maneig de les instal·lacions, ja que sinó les eficiències poden ser pitjors que en els sistemes tradicionals.

En el present treball s'han elaborat dues eines de format digital (Sistemes d'informació geogràfica i aplicació Android) per ajudar en el disseny agronòmic de reg localitzat en la zona del Baix Ter.

En primer lloc, mitjançant el mètode de Weibull, s'ha realitzat un anàlisi probabilístic dels valors d'evapotranspiració de referència (ET_0), dada base pel càlcul de les necessitats d'aigua de reg. Es realitza l'anàlisi per diferents grups de dades (mitjanes mensuals i valors diaris). Es procedeix amb el valor d' $ET_0 = 5,25 \text{ mm dia}^{-1}$, corresponent a una probabilitat de no excedència del 90%.

A partir del document MAPA DE SÒLS DETALLAT DEL MARGE ESQUERRA DEL BAIX TER (ALT I BAIX EMPORDÀ) cedit per el Servei de Sòls i Gestió Mediambiental de la Producció Agrària del Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació de la Generalitat de Catalunya, s'han seleccionat els sòls aptes per a regadiu segons l'ús i vegetació descrit.

Utilitzant el model Rosetta i la informació corresponent recollida en el document citat, s'han calculat els paràmetres de l'equació de van Genuchten per cada sòl per tal de poder realitzar les simulacions pertinents en el codi Drip-Irrigator.

Seguidament, utilitzant el valor d' $ET_0 = 5,25 \text{ mm dia}^{-1}$, s'han calculat les Necessitats d'Aigua de Reg ($NAR = 24 \text{ L dia i planta}^{-1}$) per determinar els temps d'aplicació en funció del cabal dels emissors escollits (2 L h^{-1} , 4 L h^{-1} i 8 L h^{-1}). Per augmentar la casuística s'ha simulat també amb $2NAR$ i $3NAR$.

Utilitzant el codi Drip-Irrigator s'han realitzat les simulacions d'humitejament del sòl per tal d'obtenir els bulbs d'humitats generats en cada un d'aquests.

Una vegada obtinguts els bulbs d'humitat, mitjançant el programa QGIS, s'han associat a al mapa de sòls de la zona del Baix Ter en format digital. Per unir les capes s'han utilitzat les unitats cartogràfiques d'ambdós. Per facilitar la localització de les parcel·les per part dels usuaris s'han inserit diferents capes: topogràfica, ortogràfica i cadastral.

També es presenten les dades dels bulbs d'humitat amb la plataforma de visualització de mapes d'InstaMaps de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, per tal de permetre un accés més fàcil, i sense necessitat d'utilització de programes específics.

Paral·lelament s'ha elaborat una aplicació Android utilitzant el software Android Studio que permet la consulta dels bulbs d'humitat per les diferents sèries de sòl analitzades. Per realitzar la consulta caldrà descarregar-se l'aplicació des de la plataforma Google Play i informar-se de la unitat taxonòmica i sèrie a la qual pertany el sòl sobre el qual es vol realitzar la consulta.

Finalment s'ha realitzat a nivell d'exemple el disseny agronòmic d'una plantació de fruiters a partir de l'aplicació GIS i les dades cadastrals d'una parcel·la concreta.