

Informe tècnic OSTA

E2: Informe tècnic de les observacions i dels resultats obtinguts en parcel·les experimentals escollides.

Dr. Pere Quintana Seguí
Observatori de l'Ebre (URL – CSIC)

21 d'abril de 2020

Coordinador

Socis



Resum

Aquest document presenta la implementació tècnica de l'acció pilot "Observatori de la Sequera de la Terra Alta" del projecte LIFE CLINOMICS. L'objectiu de l'acció és crear un sistema d'informació sobre la sequera a la vinya de la Terra Alta, oferint informació sobre la sequera meteorològica i agronòmica, incloent recomanacions de reg de suport. La originalitat principal del sistema creat és que es basa en observacions remotes (SMOS) i *in-situ* de la humitat del sòl. S'ha creat una xarxa de sensors de la humitat del sòl en finques representatives, de reg i de secà. Aquestes dades s'utilitzen per a monitoritzar la humitat del sòl i per a calibrar un model de balanç hídric setmanal, que ens permet simular de manera satisfactòria el reg (i generar recomanacions) i estendre les sèries d'humitat del sòl cap al passat, per així poder generar sèries prou llargues per a calcular índexs de sequera de la humitat del sòl. S'ha dissenyat un butlletí de sequera que es publicarà amb periodicitat setmanal i es distribuirà mitjançant la web de l'Observatori de l'Ebre i un canal de Telegram. Aquest butlletí presenta de manera clara i concisa l'estat hídric de les finques i les recomanacions de reg. El projecte s'ha executat en 6 mesos, temps insuficient per a assolir tots els objectius al nivell desitjat, és per aquesta raó que el sistema creat es seguirà refinant al llarg de tot l'any 2020, permetent així rebre el retorn dels usuaris. Aquest projecte és un pla pilot amb vocació de ser estès a més comarques i a més cultius.

Taula de continguts

Resum	2
Taula de continguts	3
Introducció	5
Àrea d'estudi i selecció de finques	7
Dades meteorològiques	9
Precipitació	11
Temperatura	14
.....	15
Dades d'humitat del sòl	15
Dades de teledetecció	15
Instrumentació d'observació in-situ	16
Dades in-situ	18
Simulació de la humitat del sòl i del reg	20
Model de balanç hídric	20
Determinació dels paràmetres	22
Simulació en secà	24
Reconstrucció del passat	26
Simulació del reg	28
Presentació de la informació als usuaris	31
Butlletins de sequera	31
Descripció del butlletí de sequera	35
Situació general	35
Sequera meteorològica	35
Sequera agronòmica	36
Recomanacions de reg	36

Informació tècnica	37
Pàgina web	37
Canal de Telegram	38
Tipus d'usuaris dels butlletins	39
Conclusions i perspectives.....	41
Agraïments	43
Bibliografia.....	43

Introducció

Aquest document descriu tots els aspectes tècnics dels desenvolupament del projecte "Observatori de la Sequera de la Terra Alta" (OSTA). El document descriu l'estratègia d'observació realitzada, presenta les dades recollides, mostra el model que s'ha creat per analitzar les dades i generar els productes per als usuaris, descriu els principals resultats i, finalment, descriu els butlletins que s'han elaborat per a fer arribar la informació i les recomanacions de reg als usuaris finals.

L'OSTA és una acció pilot del projecte LIFE CLINOMICS, un projecte d'adaptació al canvi climàtic, que ha tingut les Terres de l'Ebre com una de les seves àrees d'estudi. Degut a la importància del sector agrícola a la zona i degut a la rellevància del reg com a eina d'adaptació al canvi climàtic dels cultius tradicionalment de secà, es va decidir aplicar la prova pilot al reg de la Terra Alta, concretament, en el cultiu de la vinya.

Durant les dues darreres dècades s'ha introduït progressivament el reg a zones de la Terra Alta, el qual s'ha utilitzat principalment per a regar cultius tradicionalment de secà, com ara la vinya. Aquest ha permès evitar les males collites, permetent una producció més estable, ajudant a garantir la viabilitat econòmica del cultiu i frenant la despoblació de la comarca. En aquest context, creiem que un sistema d'informació objectiva sobre la sequera i el reg pot contribuir a una millora de la gestió de la vinya i a un ús més eficient de l'aigua.

En aquest context, l'objectiu d'aquest projecte és establir una xarxa d'observació i un sistema de monitorització de la sequera, incloent recomanacions de reg de suport, per a la vinya de la Terra Alta.

En aquest projecte, entenem el reg de suport com els regs mínims per garantir el benestar de la planta, és a dir, evitar que aquesta pugui ser malmesa o tingui produccions massa baixes en períodes especialment secs. Es proposa regar el mínim necessari per evitar l'estrès. En el cas que els usuaris vulguin utilitzar el reg per a modificar la qualitat o la quantitat de la producció, hauran d'adaptar les recomanacions a les seves necessitats.

Aquesta estratègia té molt de sentit en un context de canvi climàtic. El reg de suport és una eina d'adaptació que ha de permetre mantenir cultius en un context d'aridesa creixent. Però, precisament degut a aquesta aridesa creixent, s'ha de fer un ús molt prudent de l'aigua, degut a la previsible disminució dels recursos hídrics.

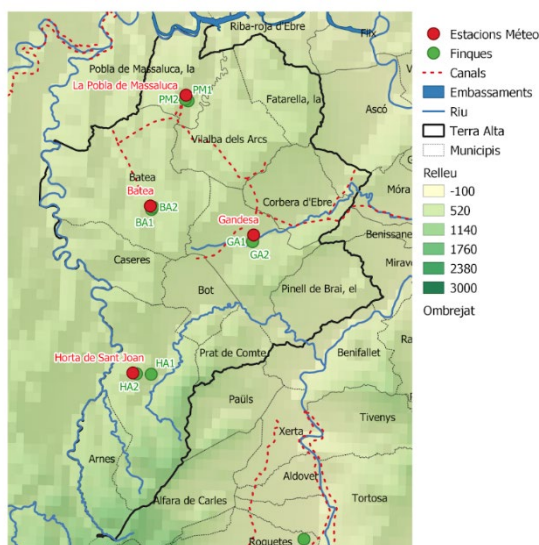
En unes condicions ideals, la monitorització de l'estat hídric dels cultius es faria a nivell de planta o de parcel·la, però degut als costos d'instal·lar sensors a totes les parcel·les, que no poden assumir ni les administracions ni els propis pagesos, s'ha optat per una estratègia basada en la selecció d'unes finques de referència, representatives de les diferents àrees agro-climàtiques de la Terra Alta. Així doncs, la informació i les recomanacions resultants són generals per a una àrea determinada i, després, cada agricultor les haurà d'adaptar a la realitat concreta de cadascuna de les seves parcel·les.

Els treballs d'aquest projecte es van iniciar l'estiu de 2019. El projecte havia de finalitzar el 31/12/2019, però per acord de les parts implicades (OE, COPATE i Escola Agrària de Gandesa) s'ha decidit continuar les activitats durant tot l'any 2020 per així aconseguir tenir un cicle agronòmic complet. Amb les dades de l'estiu i tardor del 2019 no n'hi ha prou per demostrar la utilitat dels resultats.

Àrea d'estudi i selecció de finques

L'àrea d'estudi d'aquest projecte és la Comarca de la Terra Alta, a les Terres de l'Ebre. En aquesta zona es disposa d'un sistema de reg que distribueix al nord i a l'est de la comarca aigua que es bombeja des de l'embassament de Ribarroja, a la confluència entre el riu Matarranya i l'Ebre.

Aquesta comarca presenta un relleu marcat. La majoria de municipis es troben entre els 300 i els 600 m. d'altitud en relació al nivell del mar, als Ports les cotes superen els 1000 m. El clima hi és típicament Mediterrani amb una mica d'influència continental al nord. La precipitació és més abundant al sud i menys abundant al nord, precisament on s'ha desplegat el sistema de reg.



Il·lustració 1: Àrea d'estudi. Les estacions meteorològiques s'han marcat en roig, les finques

De manera conjunta amb el COPATE i l'Escola Agrària de Gadesa, es va decidir utilitzar les estacions meteorològiques de la Poble de Massalua, Batea, Gadesa i Horta de Sant Joan com a estacions de referència. A la Poble de Massalua, l'estació és de l'Agència Estatal de Meteorologia (AEMET), a les altres tres poblacions les estacions són del Servei Meteorològic de Catalunya (SMC). Com es pot veure a la Il·lustració 1, les quatre estacions cobreixen bé el territori.

L'ús d'estacions meteorològiques existents té dos avantatges. El primer és que és més econòmic, el segon és que les estacions són fiables i tenen un manteniment professional, el tercer és que això permet aprofitar l'històric de dades ja existent per a caracteritzar la sequera. Amb estacions noves no tindríem prou dades per a aconseguir la perspectiva històrica que l'estudi de la sequera requereix. Seríem incapaços de determinar si un període en concret és sec o humit en relació a la variabilitat climàtica passada.

Un cop seleccionades les estacions meteorològiques es va decidir triar dos finques a cadascuna de les quatre poblacions, que complissin les següents condicions.

1. Ser representatives de les condicions agroclimàtiques del municipi.
2. Ser a prop de les estacions meteorològiques.

A les poblacions amb reg, es va triar una finca de secà i una de regadiu.

En el cas de Gandesa, on l'Escola Agrària hi té la seva finca, es va decidir posar els sensors en una mateixa parcel·la, ja que allí podem controlar quines fileres de ceps es reguen i quines no. En el cas d'Horta de Sant Joan, on no hi ha regadiu, ambdues finques són de secà.

L'Escola Agrària de Gandesa va fer una primera selecció de finques. Després, aquestes es van visitar conjuntament i es va fer la selecció final. El resultat de la selecció de finques es troba a la següent taula.

Taula 1: Localització de les parcel·les que s'han utilitzat per l'estudi. Els noms dels propietaris s'han posat amb inicials, per respectar la seva privadesa.

Codi	Municipi	Data d'instal·lació	Nom	Regadiu	Longitud	Latitud	Altitud
GA1	Gandesa	06/06/2019	EAG	No	41.0603	0.4291	331.7
GA2	Gandesa	06/06/2019	EAG	Sí	41.0603	0.4291	330.7
HA1	Horta de Sant Joan	28/06/2019	MC	No	40.9506	0.3251	466.6
HA2	Horta de Sant Joan	28/06/2019	JA	No	40.9507	0.3095	480.9
PM1	Pobla de Massaluca	25/06 /2019	JP	Sí	41.1726	0.3557	342.0
PM2	Pobla de Massaluca	25/06/2019	FD	No	41.1738	0.3525	342.7
BA1	Batea	26/06/2019	DV	Sí	41.0839	0.3201	375.5
BA2	Batea	26/06/2019	AV	No	41.0858	0.3214	367.5

Com es veu a la Il·lustració 1, les finques són molt properes a les estacions meteorològiques, pel que els errors deguts a la distància entre l'estació i les finques són petits.

Dades meteorològiques

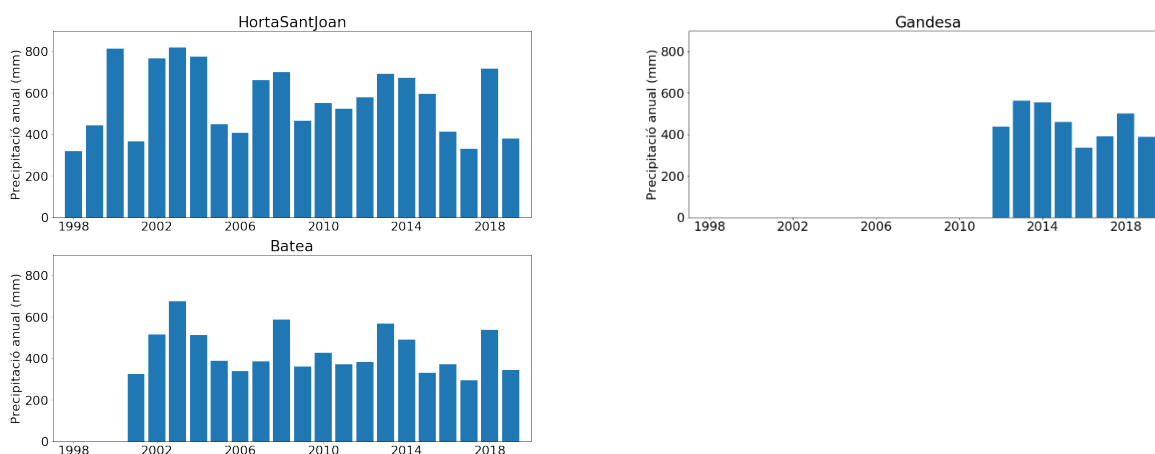
Per a l'estudi s'han seleccionat quatre estacions meteorològiques, tres del SMC (Gandesa, Batea i Horta de Sant Joan) i una de l'AEMET (la Pobla de Massaluca).

Taula 2: Llistat d'estacions meteorològiques utilitzades en el projecte.

<i>Població</i>	<i>Estació</i>	<i>Codi</i>	<i>Latitud</i>	<i>Longitud</i>	<i>Altitud</i>	<i>Data d'inici de la sèrie</i>	<i>Institució</i>
<i>Gandesa</i>	Gandesa	XP	41,06581	0,43006	349	30.11.2011	SMC
<i>Batea</i>	Batea	WD	41,08671	0,31884	382	30.11.2011	SMC
<i>Horta de Sant Joan</i>	Horta de Sant Joan	D8	40,95134	0,30565	515	28.01.1998	SMC
<i>La Pobla de Massalua</i>	La Pobla de Massalua	9947X	41.17722	0.35333	370	06.08.2009	AEMET

Les dades de les estacions es poden baixar via els respectius portals de dades obertes, tant de l'AEMET com del SMC. Així, s'ha creat un sistema automàtic de baixada de dades diàries. Cada dia el programa baixa les dades del dia anterior. Actualment, s'estan baixant la precipitació diària, la temperatura màxima, la temperatura mínima i la temperatura mitjana. Això permet obtenir la precipitació i l'evapotranspiració de referència (pel mètode de Hargreaves).

El sistema es va posar en marxa durant l'estiu de 2019. Malauradament, però, l'estació de l'AEMET a la Poble de Massaluga, ha estat aturada durant alguns períodes llargs de 2019. De moment, durant el gener de 2020 l'estació ha estat funcionant correctament.

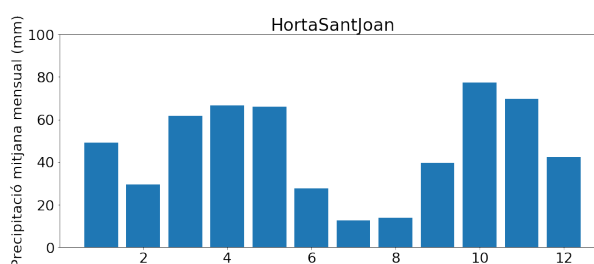


Il·lustració 2: Sèries de precipitació anual a les estacions del SMC.

De cara a obtenir les dades històriques, s'ha fet una petició al SMC per les dades de les seves estacions, que s'han obtingut sense problemes. Les dades de l'AEMET s'han intentat obtenir via el seu portal de dades obertes, però les dades històriques d'aquesta estació no hi eren. S'ha de contactar l'AEMET per esbrinar com és que les dades de l'estació de la Poble de Massaluga no són al portal, cosa que es farà el més aviat possible.

Precipitació

La Il·lustració 2 mostra les sèries de precipitació anual a les tres

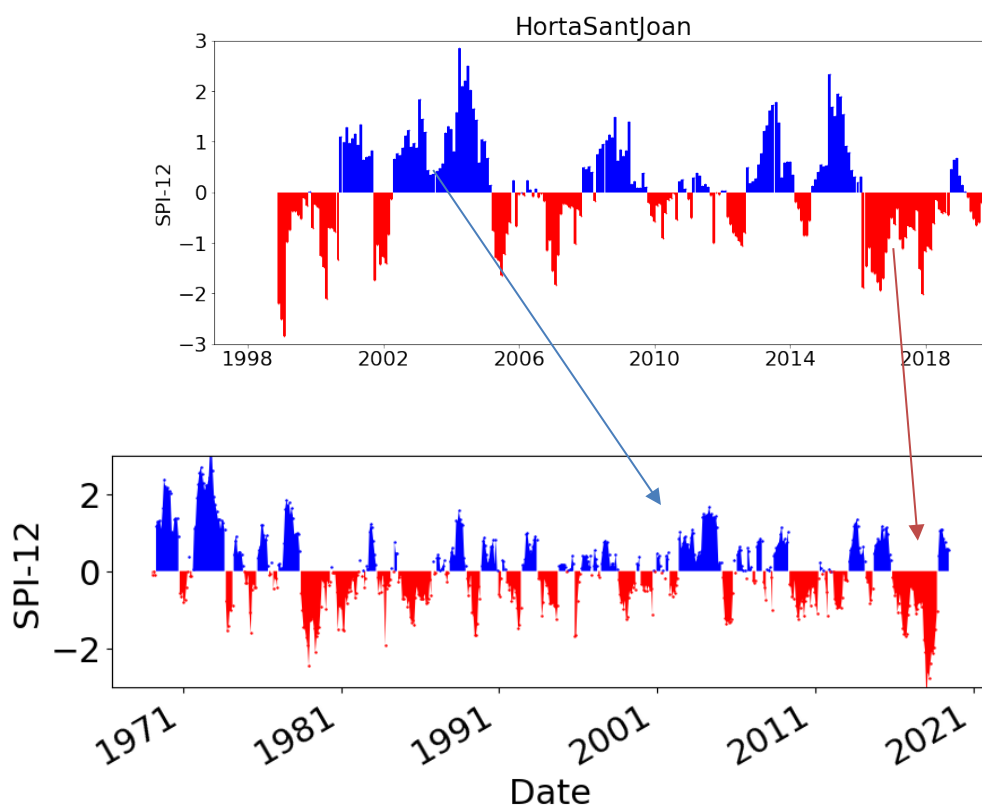


Il·lustració 3: : Cicle anual de la precipitació a l'escala mensual, a Horta de Sant Joan.

estacions del SMC. L'estació d'Horta de Sant Joan és la que té la sèrie de precipitació més llarga, essent el primer any complet l'any 1998. A Batea les dades comencen l'any 2001 i a Gandesa l'any 2012. A la figura també s'hi veu que Horta de Sant Joan és l'estació més humida (565 mm/a), seguida de Gandesa (454 mm/a) i Batea (432 mm/a). Així doncs, Horta de Sant Joan és significativament més humit (també és, dels municipis estudiats, l'únic que no té reg desplegat).

En quant a la variabilitat interanual, veiem que aquesta és força alta (típic de climes Mediterranis), amb precipitacions anuals que, per exemple, van aproximadament dels 200 fins als 800 mm a Horta de Sant Joan.

Si mirem el cicle anual de les dades (només mirem la sèrie d'Horta que és la més llarga) a la Il·lustració 3, veurem que aquest és típicament Mediterrani, amb dos maxims anuals, un l'abril i l'altre l'octubre, essent els mesos de juny, juliol i agost els més secs i l'octubre i el novembre els més humits.



Il·lustració 4: Sèries de l'indicador de sequera SPI-12 a Horta de Sant Joan i a Roquetes.

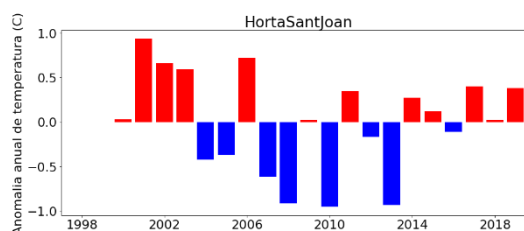
Per conèixer com d'humits o secs han estat els diferents períodes de la sèrie d'Horta, podem mirar la Il·lustració 4 que mostra l'indicador de sequera standarditzat SPI (McKee et al., 1993) a l'escala de 12 mesos (SPI-12). Per elaborar aquestes figures, calculem per cada mes la precipitació dels 12 mesos precedents i la comparem estadísticament amb la sèrie històrica. Així, podem veure quins períodes són relativament més secs i quins són relativament més humits. La figura mostra un

període sec força llarg de l'any 2016 al 2019 i un període força humit entre l'any 2001 i l'any 2004.

A mode de comparació, a la Il·lustració 4 hi hem representat també el mateix indicador de sequera, però aquest cop per l'Observatori de l'Ebre. Veiem que hi ha una gran coincidència entre els períodes secs i humits mencionats anteriorment, pel que podem dir que, malgrat les diferències, els grans períodes secs i humits són força coincidents. Ara bé, aquesta comparació s'ha de fer amb molta cautela, perquè estem comparant indicadors calculats sobre períodes diferents.

Temperatura

La temperatura és una variable molt rellevant perquè és el factor que més domina la demanda atmosfèrica i, per tant, l'evapotranspiració de la vegetació. A més temperatura més necessita transpirar la vegetació i, per tant, més aigua és necessària per garantir-ne el benestar.



Il·lustració 5: Anomalies de temperatura anual a Horta de Sant Joan.

A la Il·lustració 5 hi veiem que el període més fresc de la sèrie és entre els anys 2007 i 2010 i que el principi i el final de la sèrie tendeix a ser càlid. Quan coincideixen períodes secs amb períodes càlids (per exemple, l'any 2002), podem esperar que la humitat del sòl sigui especialment baixa i que, per tant, la vegetació pateixi especialment. Això ho veurem més endavant quan analitzem la humitat del sòl simulada.

Dades d'humitat del sòl

La humitat del sòl és una variable fonamental a l'hora d'estudiar la sequera perquè és el resultat de fer el balanç hídric. L'equació del balanç hídric és la següent:

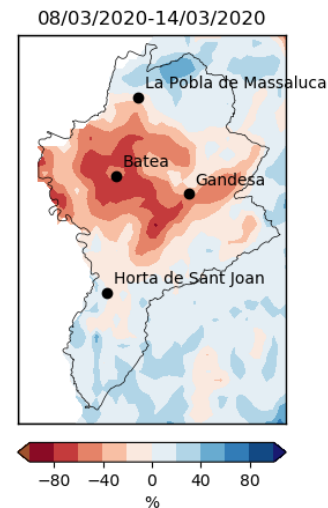
$$\Delta S = P - E - R - D$$

On ΔS és la variació de la humitat del sòl, P és la precipitació, E és l'evapotranspiració, R l'escolament i D el drenatge.

Històricament els sistemes de seguiment de la sequera s'han basat en indicadors basats en la precipitació i l'evapotranspiració degut a la manca d'observacions d'humitat del sòl. Avui en dia, gràcies a l'aparició de sistemes fiables, i relativament econòmics per mesurar la humitat del sòl in-situ, podem començar a observar aquesta variable directament. És més, el gran progrés de la teledetecció de les darreres dècades ens permet també d'explotar dades capturades des de sensors embarcats en satèl·lits.

Dades de teledetecció

La banda L de les microones és especialment útil per a observar la humitat del sòl, minimitzant la interferència atmosfèrica (els núvols són transparents a aquestes freqüències). El satèl·lit SMOS, llançat l'any 2009, és la primera missió que observa la Terra en banda L. És un sistema passiu que obté imatges d'humitat del sòl superficial



Il·lustració 6: Anomalia de la humitat del sòl superficial per una setmana donada. Dades SMOS desagregades a 1 km.

(de 0 a 5 cm de profunditat) de baixa resolució (~30 km). Ara bé, aquesta resolució es pot millorar tot combinant la informació del sensor SMOS amb d'altres tipus d'informació. L'algorisme DISPATCH (Merlin et al, 2013) utilitza dades MODIS de temperatura de la superfície de la Terra (LST) i de l'índex de vegetació NDVI, per millorar la resolució de les dades SMOS. El resultat és un producte d'humitat del sòl a 1 km. L'empresa barcelonina isardSAT produeix aquestes dades de manera operacional amb una repetibilitat temporal d'1 setmana. Així doncs, aquestes dades ens permeten tenir una visió de l'evolució de la humitat del sòl a la Terra Alta, amb una resolució suficient per veure la variabilitat interna a la comarca, però no suficient per veure la humitat del sòl a nivell de parcel·la o per distingir el reg per goter. Aquesta informació ens és molt útil per veure, de manera general, quina és la situació a la comarca, tal com es pot veure a la Il·lustració 6.

Instrumentació d'observació in-situ

Tal com hem mencionat a la secció "Àrea d'estudi i selecció de finques", per aquest projecte s'han seleccionat vuit finques on s'hi han instal·lat sistemes de mesura de la humitat del sòl. Tres d'aquestes finques són regades, la resta són de secà.

La humitat del sòl s'ha d'observar a diferents profunditats, per tal de tenir informació sobre la dinàmica de l'aigua al sòl. Per a aquest projecte s'han instal·lat sensors a les profunditats descrites a la Taula 3: Profunditats a les que s'han instal·lat els sensors.. El sensor més superficial ens permetrà fer una comparació amb les dades de satèl·lit, els següents dos sensors ens permetran fer un seguiment de la zona del sòl d'on la planta extreu l'aigua i, finalment, els dos darrers sensors ens permetran estimar el drenatge i tenir una idea de l'evolució a més llarg termini.

Taula 3: Profunditats a les que s'han instal·lat els sensors.

Profunditat (cm)	
5	Sol superficial, per comparació amb el satèl·lit.
10	Zona de les arrels.
25	Límit de la zona de les arrels.
50	Sòl profund.
70	Sòl profund.

Els sensors que s'han triat són el model Teros 10 de METER Group. Aquests sensors són fàcils d'instal·lar, són resistents i tenen una precisió de 0.03 m³/m³. Aquests sensors estan connectats a un enregistrator de dades (*data logger*) ZL6 que s'alimenten mitjançant una placa solar i són capaços d'enviar les dades mitjançant la xarxa de telefonia mòbil mitjançant el servei al núvol de METER (Zentra Cloud), des d'on podem explorar les dades i recuperar-les de manera manual o automàtica.

Les instal·lacions es van fer de manera similar a tots els punts. Es va realitzar un pou de 10 cm de diàmetre i de 70 cm de profunditat. A la paret d'aquest s'hi van anar clavant els sensors, a mesura que s'omplia de terra el forat. Els cables es van recollir tots, es van fer passar per un tub de plàstic corrugat i es van connectar l'enregistrator de dades, que anava clavat en un pal d'acer, més alt que la vinya, per tal que aquesta no tapi les plaques solars. El mètode d'instal·lació és el recomanat per l'empresa distribuïdora: Lab-Ferrer.



Il·lustració 7: Data logger ZL6 i sensor Teros 10, tal com es van instal·lar en una de les finques

A cadascuna de les finques s’hi van recollir mostres de terra, que es van portar a analitzar al laboratori per tal d’obtenir les propietats texturals del sòl.

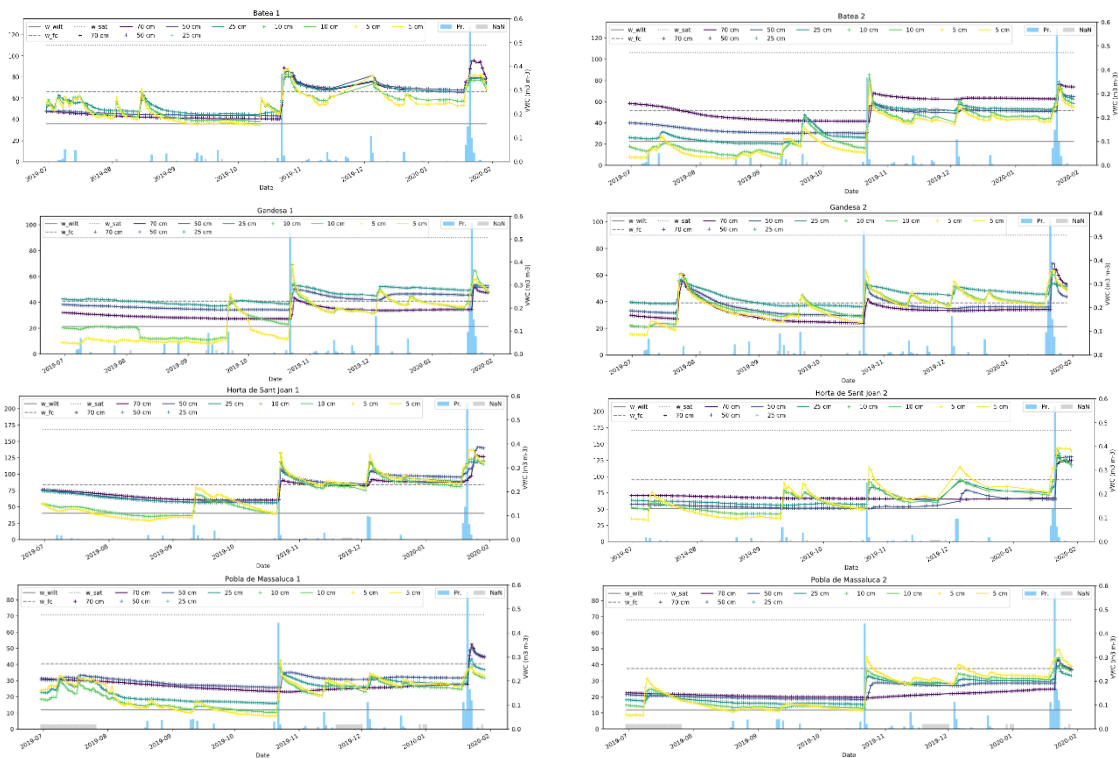
Taula 4: Propietats texturals dels sòls (%).

<i>Estació</i>	<i>Arena</i>	<i>Argila</i>
<i>HA1</i>	43.5	16.6
<i>HA2</i>	44.7	22.3
<i>PM1</i>	39.0	22.6
<i>PM2</i>	40.1	16.1
<i>BA1</i>	33.5	26.8
<i>BA2</i>	32.4	19.2
<i>GA1</i>	32	36
<i>GA2</i>	32	36
<i>OE1</i>	48.9	12.9

Dades in-situ

A la Il·lustració 7 s’hi mostren les dades d’humitat del sòl diària recollides pels sensors a cadascun dels punts d’observació (línies de colors). En alguns moments hi manquen dades (no hi ha les creuetes corresponents). Això és degut a un error a l’API del Zentra Cloud. Hem contactat l’empresa METER, a través del distribuïdor Lab-Ferrer, i estem pendents que el problema es resolgui. Les dades no s’han perdut, estan efectivament emmagatzemades al núvol i es podran recuperar manualment si no es

resol el *bug* informàtic. De moment, fem una interpolació temporal, que no sempre és satisfactòria, però ens ha permès avançar malgrat el problema.



Il·lustració 8: Sèries temporals d'humitat del sòl i precipitació als punts d'observació.

A les figures també hi hem superposat la precipitació diària recollida per les estacions meteorològiques corresponents. En alguns casos hi manquen dades. Aquests dies s'han marcat amb una barra grisa. Això es veu molt bé a la Poble de Massaluça, on l'estació no ha estat operativa durant llargs períodes de temps.

El primer que veiem observant les figures és la ràpida resposta de la humitat del sòl als esdeveniments de precipitació. També veiem molt bé la diferència entre les

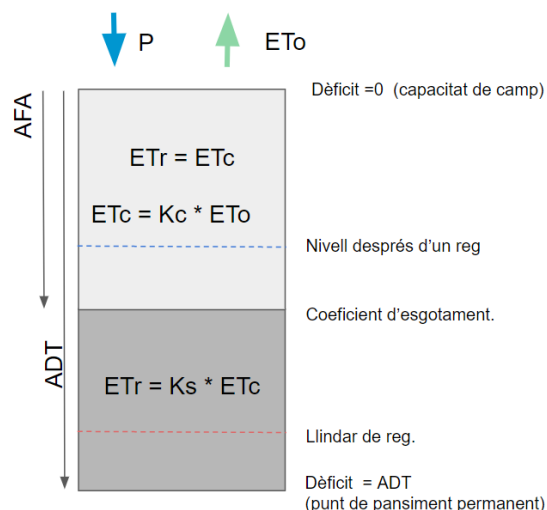
finques regades i les de secà. El cas de Batea és molt clar. Batea 1 és regada i Batea 2 és de secà. Batea 2 és molt més sec a l'estiu i Batea 1 mostra augments de la humitat del sòl que no corresponen a cap precipitació. El mateix passa a la Pobla de Massalua. A Gandesa 2 veiem un gran esdeveniment de reg el juliol de 2019. Es tracta d'un trencament d'una conducció d'aigua i la consegüent inundació. A Horta de Sant Joan, on les dues finques són de secà, hi veiem diferent resposta a un mateix esdeveniment de precipitació. Això ens mostra la limitació que té el fet d'utilitzar un pluviòmetre que no està situat a la mateixa finca.

Simulació de la humitat del sòl i del reg

Les sèries d'humitat del sòl observada tenen molt de valor per conèixer la dinàmica de la humitat del sòl, però són molt curtes per fer una anàlisi de la sequera. Això es pot resoldre fent un model que sigui capaç de reproduir el comportament de la humitat del sòl observada. Un cop fet això, podrem utilitzar el model per estendre la sèrie, tot utilitzant les dades meteorològiques observades. Aquest model també ens permetrà estimar les recomanacions de reg.

Hem decidit implementar un model molt simple, però al mateix temps robust i eficaç. Hem decidit implementar un mode de balanç hídric, utilitzant els principis del manual FAO-56 de l'Organització Mundial per l'Alimentació i l'Agricultura (FAO, 2006).

Model de balanç hídric



El model que hem implementat fa un balanç hídric setmanal.

Per comprendre'l, primer hem de definir dos conceptes importants. Un és l'ADT (aigua disponible total), que és l'aigua que la planta pot extreure del sòl ($ADT = w_{fc} - w_p$, on w_p és el punt de pansiment permanent i w_{fc} és la capacitat de camp). El segon concepte és l'AFA (aigua fàcilment accessible), que és la porció de l'ADT que la planta pot extreure sense massa esforç. El coeficient d'esgotament (p) determina l'AFA.

Per una setmana donada definim un dèficit (D) d'humitat del sòl (w). Si la humitat del sòl és igual o superior a la capacitat de camp (w_{fc}) el dèficit és zero ($D=0$). Amb això suposem que quan la humitat del sòl és superior a la capacitat de camp, aquesta baixa en una setmana a la capacitat de camp, mitjançant el drenatge.

Llavors estimem l'evapotranspiració en funció de D :

$$ETr = Ks * Kc * ETo$$

on ETr és l'evapotranspiració real, Ks és el coeficient d'estrès, Kc és el coeficient del cultiu i ETo és l'evapotranspiració de referència. Quan $D < AFA$ llavors $Ks=1$, és a dir, no hi ha estrès. En el cas que $D > AFA$, llavors Ks disminueix linealment fins a esgotar l'ADT. Així doncs, quan $D=ADT$ llavors $ETr=0$, és a dir, hem arribat al punt de pansiment permanent.

Els coeficients de cultiu els hem extret del manual ACA i IRTA (2008) els quals depenen dels graus-dia acumulats, estant aquesta relació calibrada per Catalunya. Es podria donar el cas que la calibració no sigui del tot bona per la Terra Alta, però els resultats mostren que no és el cas.

En el cas que la humitat del sòl sigui superior a la capacitat de camp, es trencarà l'equilibri entre la gravetat i la capil·laritat i, per tant, es generarà un drenatge. En aquest cas:

$$D = \frac{(w - w_{fc})}{C_{drain}}$$

On C_{drain} és una constant que determina el temps en que la humitat del sòl retorna a la capacitat de camp.

Un cop estimats l'evapotranspiració i el drenatge, es pot fer el balanç hídric:

$$w = w_o + P - D - ET_r$$

on w és la humitat del sòl final, P la precipitació, D el drenatge i ET_r l'evapotranspiració real.

Determinació dels paràmetres

El model és força sensible a diversos paràmetres del model, que es descriuen a la Taula 5. Els paràmetres lligats a les propietats del sòl s'estimen inicialment a partir de la textura, però després s'ajusten lleugerament en funció de les observacions. És el cas de la capacitat de camp, que es pot determinar mirant la recessió de la humitat del sòl després d'un fort esdeveniment de precipitació en hivern (quan l'evapotranspiració és dèbil). De manera molt semblant determinem la constant del drenatge.

El coeficient d'esgotament i la profunditat del sòl s'han d'ajustar en funció de l'acord entre observacions i simulació (calibració). Degut al baix nombre de punts simulats,

aquest ajust s'ha fet de manera manual. En el cas d'estendre l'estudi a més punts d'observació, s'introduiria un sistema d'ajustament automàtic.

Taula 5: Paràmetres del model.

	<i>Descripció</i>	<i>Mètode de calibració</i>
w_{fc}	Capacitat de camp.	Inicialment es determina a partir de la textura, després s'ha ajustat observant la recessió després d'un fort esdeveniment de precipitació.
w_{wilt}	Punt de pansiment permanent.	Inicialment es determina a partir de la textura, després s'ajusta lleugerament en funció de l'acord entre simulació i observacions.
w_{sat}	Punt de saturació (porositat).	Es determina a partir de la textura.
p	Coefficient d'esgotament.	S'ajusta en funció de l'acord entre observacions i simulació.
C_{drain}	Constant del drenatge.	Es determina observant la recessió després d'un fort esdeveniment de precipitació.
Z	Profunditat del	S'ajusta en funció de l'acord entre



sòl.

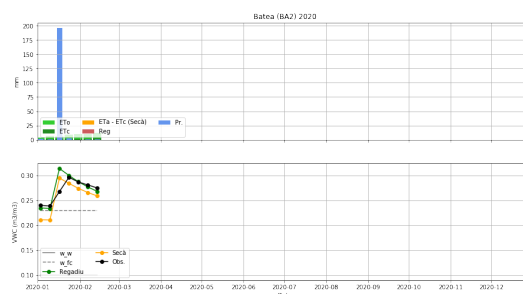
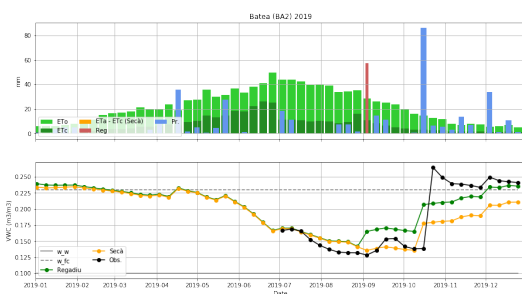
observacions i simulació.

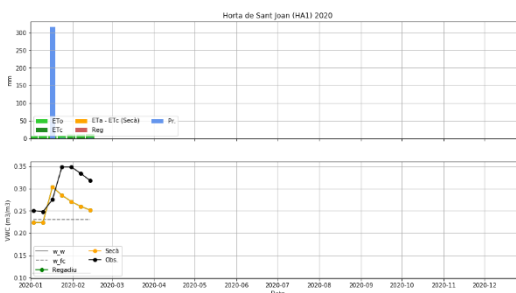
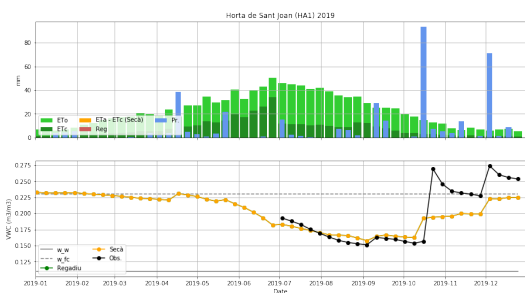
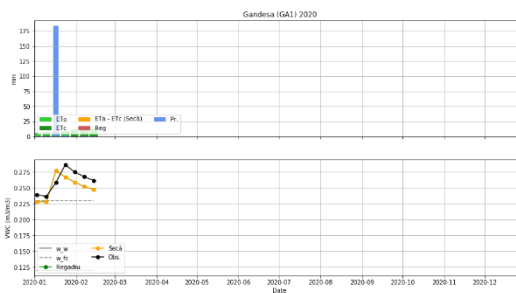
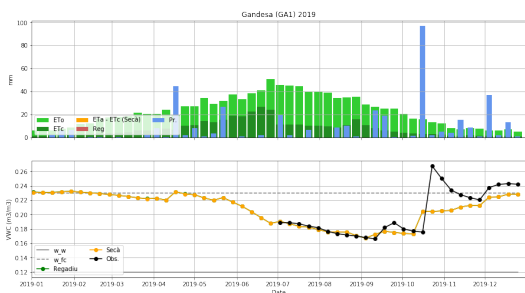
Simulació en secà

El model descrit a l'apartat anterior és molt simple, i només té en compte una capa del sòl. La zona de les arrels. Per tal de comparar el model a les observacions, s'ha fet la mitjana ponderada de les humitats de les 3 primeres capes (3, 10 i 25 cm).

A la Il·lustració 8 s'hi mostren els resultats de les simulacions a Batea, Gandesa i Horta. El model no s'ha pogut ajustar a la Pobla de Massaluca degut als períodes en que no hi ha hagut dades a l'estació meteorològica, fet que impedeix obtenir els coeficients de cultiu en funció dels graus-dia acumulats. Si l'any 2020 l'estació no falla, podrem ajustar-ne el model sense problemes.

A la Il·lustració 8 veiem dos panells per cadascun dels punts estudiats. En el primer s'hi mostra l'evapotranspiració de referència (ET_o), l'evapotranspiració del cultiu (ET_c) i la precipitació. També s'hi mostra el reg (ho comentarem a la secció següent).





Il·lustració 9: Dades observades i simulació a Batea, Gardesa i Horta de Sant Joan pels anys 2019 i 2020.

L'evapotranspiració de referència es calcula a partir de dades observades (temperatura) mitjançant el mètode de Hargreaves. L'evapotranspiració del cultiu es calcula a partir dels graus-dia acumulats, els coeficients del cultiu i l'evapotranspiració de referència.

Al segon panell de la Il·lustració 8 s'hi mostra l'evolució de la humitat del sòl simulada en secà (groc), simulada en reg (verd) i l'observada (negre). Aquí ens fixarem només en la comparació entre la humitat del sòl en secà i l'observada.

En tots els casos veiem que el model reproduïx força bé l'evolució de la humitat del sòl entre els mesos de juliol i octubre. A finals d'octubre hi ha uns forts esdeveniments de precipitació, que causen importants diferències entre model i

observacions. En els tres casos, després de l'esdeveniment de precipitació més important, la humitat del sòl del model augmenta molt menys que l'observació. Creiem que aquesta diferència es deu a:

1. La subestimació de la precipitació per part del pluviòmetre quan hi ha precipitacions intenses.
2. El transport lateral que transporta aigua des de les zones de relleu que envolten les finques fins les finques.

La humitat del sòl simulada respon a la precipitació observada. Si aquesta és subestimada, la pujada d'humitat del sòl simulada serà inferior a l'observada. És ben sabut que els pluviòmetres automàtics de balancí subestimen les precipitacions intenses.

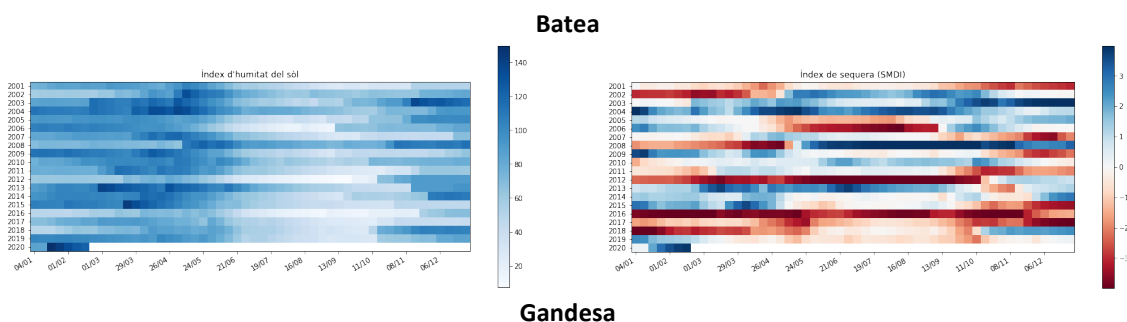
Totes les finques tenen un cert pendent i són en zones on hi ha convergència. És a dir, les zones de cultiu estan situades en zones on hi ha aportacions extra d'aigua degudes a l'escorrentia superficial o subsuperficial. Aquest fenomen no pot ser simulat pel nostre model que només és en una dimensió.

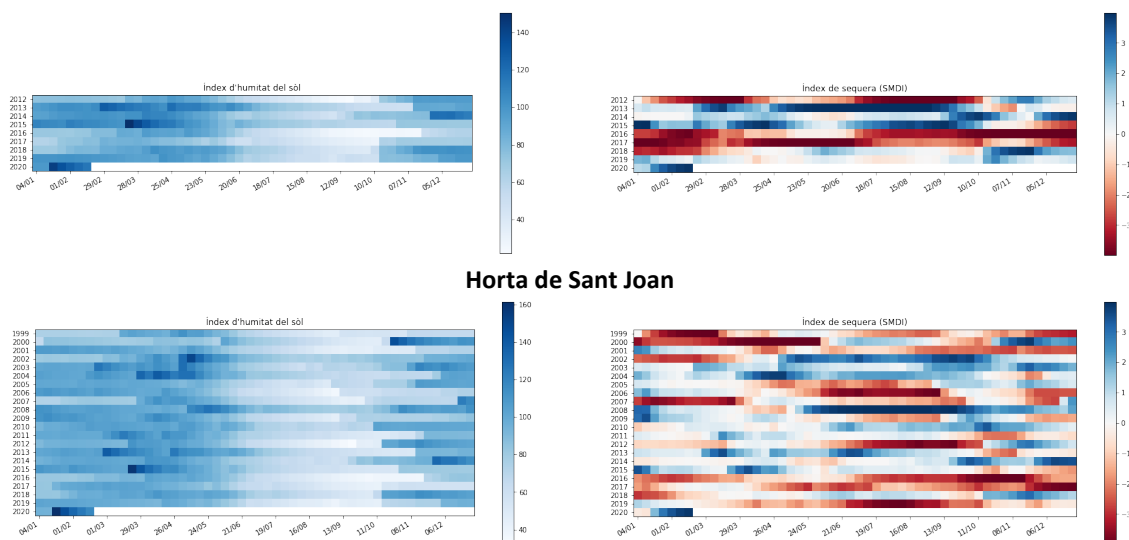
Reconstrucció del passat

A la Il·lustració 9 hi hem representat els resultats de la reconstrucció de la humitat del sòl passada. És a dir, hem fet córrer el model, alimentant-lo amb les observacions recollides per l'estació meteorològica corresponent durant el període observat. A la columna de l'esquerra s'hi mostra l'evolució de l'índex d'humitat del sòl. Aquest val 0 quan la humitat del sòl és al punt de pansiment permanent i val 100 quan la humitat del sòl és a la capacitat de camp. Les gràfiques mostren molt bé els períodes més

humits, que són la primavera i la tardor, essent l'estiu (de juny a octubre) el període més sec, tal com s'esperava.

Una segona pregunta mes interessant és quins períodes són anormalment secs i quins són anormalment humits. Per a respondre aquesta pregunta hem decidit utilitzar l'índex de sequera SMDI (*Soil Moisture Deficit Index*; Narasimhan i Srinivasan, 2005). Aquest índex compara els valors setmanals d'humitat del sòl amb els de la resta de la climatologia (desestacionalitzant al nivell setmanal) i afegeix una certa memòria, per tenir en compte els efectes de memòria que té la vegetació. Les gràfiques de l'índex SMDI són a la segona columna de la Il·lustració 9. En el cas de Gandesa hem de tenir en compte que el període simulat és curt i, per tant, els índexs de sequera no són tan fiables. L'anàlisi de les figures mostra que els períodes secs i humits s'assemblen força entre Batea i Horta, però, al mateix temps, veiem que hi ha certes diferències notables en alguns anys. Així doncs, té sentit estudiar la sequera a nivell municipal, ja alguns períodes secs a Horta, poden ser humits a Gandesa, i viceversa.





Il·lustració 10: Reconstrucció de la humitat del sòl i de les sèries de sequera agrícola.

Simulació del reg

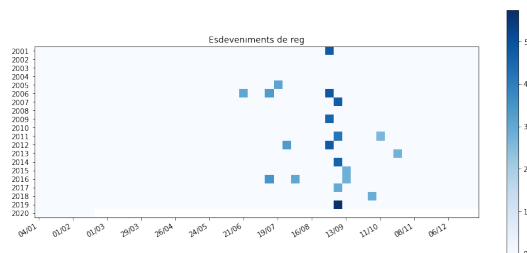
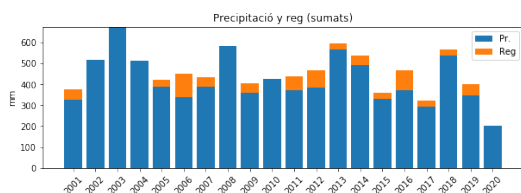
El següent pas és simular el reg. És a dir, introduïm al model un algoritme que decideix regar quan les condicions així ho exigeixen. Seguint el criteri establert en aquest projecte i exposat a la introducció, el nostre objectiu és que la vegetació no pateixi més del necessari, per tant, hem decidit que el model regarà quan s'hagi esgotat l'aigua fàcilment accessible (AFA), és a dir quan $D = AFA$. En el nostre cas concret, això serà quan el dèficit serà equivalent al 70% de l'ADT (punt d'esgotament al 30%). La següent qüestió és quina humitat del sòl volem tenir després del reg. El nivell ha de ser suficient per aportar suficient aigua, però no ha de ser excessiu, per evitar problemes de malalties degudes a un excés d'humitat. D'alguna manera, hem d'aconseguir la quantitat equivalent d'un esdeveniment plujós mediterrani, sense modificar massa el règim d'humitat del sòl al qual està adaptada la vinya. Així doncs,

després de fer proves i escoltar els consells dels experts de l'Escola Agrària de Gandesa, s'ha decidit regar fins a assolir un dèficit del 50% de l'ADT. En altres paraules, regarem quan el sòl tingui un dèficit del 70% i el deixarem en un dèficit del 50%. Creiem que aquesta estratègia és simple i robusta.

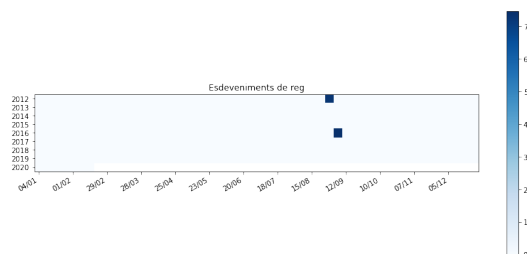
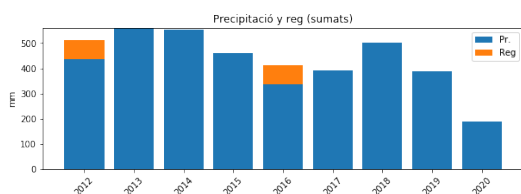
Seguint els consells de l'Escola Agrària de Gandesa, hem decidit no recomanar regs al voltant de la verema, ja que el reg pot interferir amb l'activitat del pagès durant aquelles dates. El model estima la data de la verema a partir dels graus-dia acumulats i evita regar quan estem 300 graus-dia acumulats abans d'aquesta data o 150 graus-dia acumulats després d'aquesta data.

Actualment, hi ha estratègies de reg deficitari, que són molt més afinades. Però aquestes requereixen un control molt més exhaustiu de l'estat del cep en cadascuna de les fases del cicle fenològic, exigint instrumentació a nivell de cada parcel·la, cosa que no estem en condicions de fer en aquest projecte. Cal tenir present que un mal ús de les tècniques de reg deficitari pot causar pèrdues econòmiques, degut a menor quantitat i qualitat de la collita.

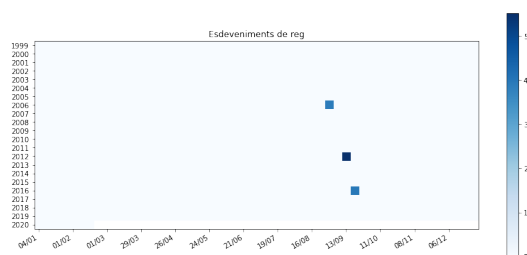
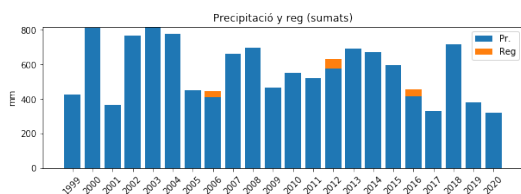
Batea



Gandesa



Horta de Sant Joan



Il·lustració 11: Reg simulat pel model.

A la Il·lustració 8 veiem que l'any 2019 el model només considera necessari regar a Batea, on genera un esdeveniment de reg d'uns 60 mm/setmana a principis de setembre. Si mirem la Il·lustració 10 veurem les quantitats regades totals per cada any i els esdeveniments de reg setmanals. A Batea el model decideix regar pràcticament tots els anys, un o dos cops. A Horta de Sant Joan, en canvi, el model només decideix regar un cop en tot el període de 20 anys. És a dir, a Horta de Sant Joan el reg pràcticament no és necessari, segons els criteris utilitzats en aquest

estudi. A Gandesa la sèrie és més curta, però veiem que alguns regs són necessaris, però no tots els anys.

Si mirem la columna esquerra de la mateixa figura hi veurem els regs totals anuals, sumats a la precipitació anual. El resultat més interessant és que hi ha poca correlació entre la precipitació anual i la necessitat de reg. El que mostra això és que, en els indrets on la precipitació és prou baixa per requerir el reg, el més important és la distribució anual de la precipitació, enlloc de la quantitat total. Evidentment, als llocs més humits (Horta i Gandesa), cal regar menys.

Presentació de la informació als usuaris

La peça més important d'aquest projecte és el mètode que es seguirà per fer arribar la informació als usuaris finals. Tot el que s'ha descrit fins ara no servirà per a res, si no som capaços de fer arribar la informació als usuaris de manera efectiva, per tal que aquests puguin adaptar les seves pràctiques.

S'ha decidit que la informació es presentarà als usuaris mitjançant butlletins setmanals, que es publicaran cada dilluns a primera hora, a la pàgina web de l'Observatori de l'Ebre i es distribuiran també mitjançant l'aplicació de missatgeria instantània Telegram, per a un accés més còmode mitjançant el mòbil.

El butlletí es genera automàticament i, després de verificació per un expert, serà publicat.

Butlletins de sequera

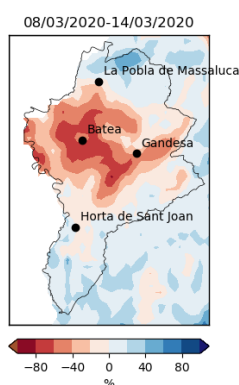
Els butlletins de sequera s'han dissenyat amb el suport de l'Escola Agrària de Gandesa. Aquests han de contenir tota la informació necessària, però presentada de la manera més simple i clara possible. Mostrem a continuació un exemple de butlletí, que comentarem posteriorment.

Butlletí de sequera a la Terra Alta

- Data de publicació: 01/02/2020 00:30
- Darrera data amb observacions: 30/01/2020
- Validesa: 01/02/2020 - 08/02/2020

Mapa d'anomalia de la humitat del sòl

Aquest mapa mostra en blau les zones humides, en roig les zones seques i en blanc les zones on no hi ha dades.





Precipitació recollida

Municipi	Darrera Setmana (24/01-30/01)	Darrer mes complet (Desembre)	Qualificació del darrer mes complet
Batea	2.4	46.9	Extremadament humit
Gandesa	1.5	52.9	Extremadament humit
Horta	1.5	81.9	Extremadament humit

Municipi	Darrer trimestre complet (Octubre-Desembre)	Qualificació del darrer trimestre	Darrer any (Gener-Desembre)	Qualificació del darrer any
Batea	168.9	Normal	344.5	Normal
Gandesa	185.8	Normal	388.6	Normal
Horta	205.9	Normal	379.7	Sec

Tots els valors de la taula es troben en mm (l/m2).



Precipitació prevista

Aquesta taula mostra les probabilitats de precipitació (en %) previstes per l'Agència Estatal de Meteorologia per als propers set dies.

Municipi	ds	dg	dl	dt	de	dj	dv
Batea	0	55	0	0	0	5	0
Gandesa	0	50	0	0	0	0	0
Horta	0	50	0	0	0	5	0

Estat hídric a parcel·les de vinya en secà

Aquesta taula mostra la humitat del sòl i la seva qualificació (si és sec o humit).

Municipi	Humitat del sòl (%)	Qualificació
Batea	100	Extremadament humit
Gandesa	100	Extremadament humit
Horta	100	Extremadament humit

Estat hídric a parcel·les de vinya en regadiu

En aquesta taula descrivim la humitat del sòl que tindria una parcel·la regada seguint les nostres recomanacions de reg (valor simulat).

Municipi	Humitat del sòl (%)	Cal regar?	Reg a aplicar (mm/dia)	Temps de reg (hores/dia)
Batea	100	No	-	-
Gandesa	99	No	-	-
Horta	99	No	-	-

Descripció del butlletí de sequera

Situació general

La primera secció del butlletí és un mapa de la comarca on s'hi mostren en roig les zones més seques del normal per l'època de l'any i en blau les zones més humides del normal. Aquest mapa donarà informació als usuaris de quina és la situació general a la comarca. Les dades provenen del satèl·lit SMOS, desagregat a 1 km de resolució mitjançant dades MODIS. Per tant, no pot veure l'impacte del reg amb goter. Així doncs, és un mapa de la situació en zones naturals i de secà.

Sequera meteorològica

A continuació es presenta la informació pluviomètrica. En primer lloc, s'hi presenta la precipitació de la setmana anterior i la del darrer mes complet. La precipitació del darrer mes es qualifica segons la climatologia de cadascun dels punts. Aquesta qualificació es fa mitjançant l'indicador SPI, però aquest no es presenta numèricament, es presenta amb una frase que indica si el cúmul mensual és elevat o baix. La mateixa operació es fa amb les dades trimestrals i anuals. Així, l'usuari sabrà sempre si es troba en una situació normal o excepcional, de manera objectiva.

Després es presenta una taula amb la probabilitat de precipitació per als propers 7 dies. Això és important, perquè per fer la recomanació de reg no podem integrar en el càlcul la precipitació que farà durant la setmana, degut a la dificultat de preveure cúmuls de precipitació. Per tant, la recomanació de reg es fa sempre considerant una precipitació nul·la. Així doncs, si l'usuari veu que ha de ploure, podrà ajustar la recomanació.

Sequera agronòmica

Un cop analitzada la precipitació, procedim a presentar informació relativa a la humitat del sòl. El que es fa és presentar, de manera molt senzilla, quina és la humitat del sòl a les finques de secà. Això es fa en base a les observacions (el model només s'utilitzaria per estimar el valor de la humitat del sòl en el cas d'un fall en el l'adquisició o transmissió de les dades) i la informació es presenta numèricament com un tant per cent de la l'aigua disponible total (diferència entre capacitat de camp i punt de pansiment permanent). Després, això es qualifica en base a l'índex de sequera SMDI, pel que utilitzem la sèrie d'humitat del sòl reconstruïda amb el model. De nou, l'índex de sequera no es presenta numèricament, es presenta amb una frase (per exemple, "molt sec").

Recomanacions de reg

Llavors presentem quina és la situació a les finques regades. De nou, es presenta la humitat del sòl en les finques regades. En aquest cas no és el valor observat, ja que no podem garantir que el propietari de la finca instrumentada seguirà les nostres recomanacions, és el valor simulat seguint les nostres recomanacions. Llavors, a la mateixa taula s'hi presenta la necessitat de reg. Si cal regat, es diu quina quantitat s'ha d'aplicar, en mm/dia, i, per fer-ho més fàcil d'interpretar, es diu el temps que cal regar considerant 2 goters de 4 l/h per cep, amb un marc de 2.8 m. * 1.20 m., que és la instal·lació típica a la zona. És important remarcar que el model fa la recomanació de reg en base a una simulació que inclou la setmana durant la qual regarem, això es pot fer estimant l'evapotranspiració en base a les previsions de temperatura de l'AEMET, que es poden obtenir programàticament des de la seva pàgina web.

Informació tècnica

A la darrera secció, que no hem mostrat en aquest informe, s’hi presenta tota la “lletra petita”, és a dir, s’hi descriu la informació tècnica necessària per a tots aquells usuaris que vulguin comprendre tècnicament com s’ha elaborat el butlletí.

Pàgina web

Aquests butlletins es publicaran a la pàgina web de l’Observatori de l’Ebre, en una secció anomenada “Observatori de la Sequera de la Terra Alta”. També, l’enllaç al darrer butlletí es posarà a la portada de la pàgina web, per a facilitar-ne l’accés.



Observatori de la sequera a la Terra Alta

L'Observatori de la Sequera a la Terra alta fa un seguiment de l'estat hídric de la **vinya** a la Terra Alta. Cada setmana publica un **butlletí** amb informació sobre la **precipitació** i la **humitat del sol** a finques de secà. Per les finques de regadiu també realitza **recomanacions de reg**. Els butlletins es publiquen cada dilluns pel matí.

L'Observatori de la Sequera a la Terra Alta és una prova pilot del projecte **LIFE CLINOMICS**, realitzada per l'Observatori de l'Ebre amb el suport de l'Escola Agrària de Gandesa, per encàrrec de **Consorci de Polítiques Ambientals de les Terres de l'Ebre (COPATE)**.

Butlletins

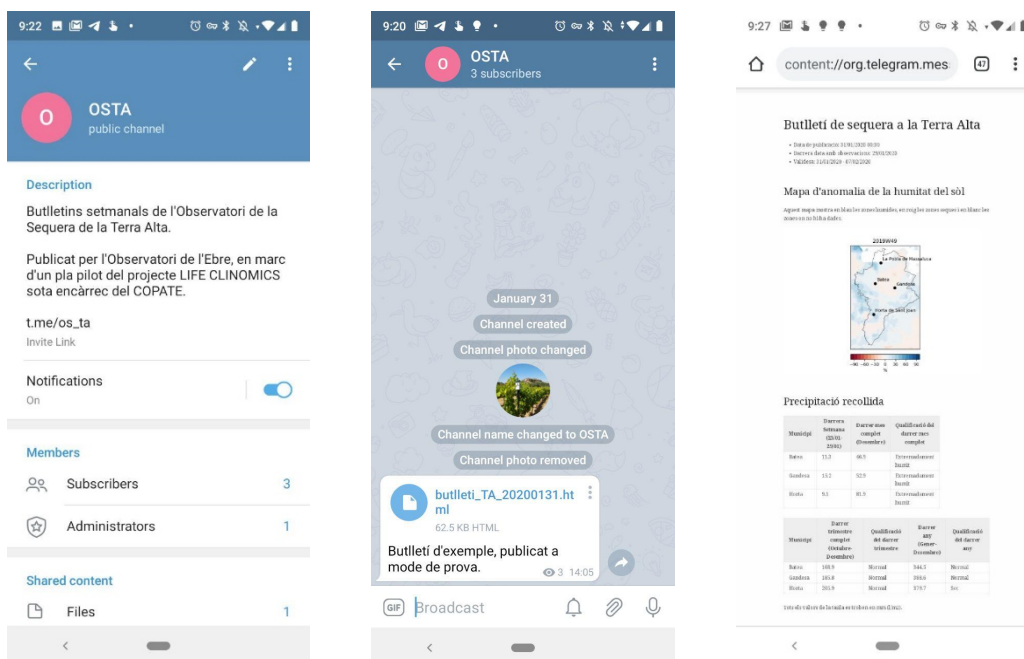
23/03/2020	16/03/2020	09/03/2020	02/03/2020	30/01/2020
------------	------------	------------	------------	------------

Detalls
 📅 Publicat el 21 Febrer 2020
 📅 Darrera actualització el 23 Març 2020

Il·lustració 12: Butlletins de l’Observatori de la Sequera de la Terra Alta publicats a la pàgina web de l’Observatori de l’Ebre.

Canal de Telegram

Molts usuaris preferiran rebre la informació al mòbil, que és l'ordinador connectat a internet que sempre tenen a mà. Hem pensat que una manera senzilla i eficaç és utilitzar l'aplicació de missatgeria instantània Telegram, que és gratuïta. Telegram permet crear "canals". Els canals del Telegram són semblant als grups del WhatsApp, però amb una important restricció, només l'administrador del canal hi pot publicar (és unidireccional). Així doncs, gràcies al canal, els usuaris rebran, cada dilluns matí, un missatge al mòbil amb el butlletí.



Il·lustració 13: Canal de Telegram de l'OSTA. A l'esquerra, la informació del canal, al mig la pantalla que mostra els missatges i a la dreta el butlletí obert al mòbil.

Tipus d'usuaris dels butlletins

Els butlletins estan destinats a tres tipus de públic diferent.

- En primer lloc, l'usuari principal és el pagès, que consultarà el butlletí cada setmana per tenir una idea precisa de quina és la situació hídrica de la vinya. Amb el butlletí tindrà clar si la impressió que té de que el sòl està més humit del normal per l'època de l'any és veritat o no, sabrà quanta aigua de reserva té la planta i, quan sigui l'hora de regar, sabrà si realment cal regar o no i en quina quantitat.
- En segon lloc, el butlletí serà útil a un usuari de tipus institucional. Pensem en cooperatives agrícoles, sindicats agrícoles, institucions públiques implicades en la gestió de l'agricultura. Amb els butlletins els usuaris tindran una idea de quina és la situació agrometeorològica de la vinya i podran preparar-se per prendre mesures de suport als pagesos en cas de que hi hagi símptomes de sequera, especialment en el cas del secà.
- El tercer usuari del butlletí, serà la persona interessada per l'agricultura i la meteorologia, persones que, sense ser forçosament pagesos, tenen interès en la vida del camp i en les conseqüències de la meteorologia sobre l'activitat agrícola. En aquest sentit, el butlletí serà una eina de comunicació i divulgació científica.

Actualment el nombre d'usuaris del butlletí és molt baix, ja que a data d'avui no s'ha pogut fer una presentació pública d'aquest. Estava previst fer un acte a Gandesa el març de 2020, on hi serien presents tots els *stakeholders* més rellevants, però l'acte

va ser suspès degut a la crisi del Covid-19. Un cop tornem a la vida normal, procurarem relançar la difusió del coneixement sobre el butlletí als sectors clau.

Conclusions i perspectives

En aquest projecte s'ha implementat l'acció pilot "Observatori de la Sequera de la Terra Alta", seguint un encàrrec del COPATE, en resposta a les conclusions de les fases prèvies del projecte LIFE CLINOMICS, que han inclòs deliberacions de taules sectorials i territorials.

Amb aquest projecte es cercava crear un sistema d'informació sobre la sequera, que permetés als usuaris tenir informació objectiva que els per millorar la presa de decisions en la gestió de la vinya, de cara a operar de manera més precisa en un context d'increment de l'aridesa. Tenint en compte la presència del reg a la Terra Alta i el fet que aquest reg és una bona eina d'adaptació al canvi climàtic, el sistema realitza també recomanacions de reg de suport, per tal de garantir la viabilitat del cultiu fent un ús eficient de l'aigua, un recurs que es preveu més escàs en el futur.

La innovació d'aquet sistema d'informació agrometeorològica és que es basa en dades d'humitat del sòl observades remotament i in-situ. Aquestes dades, unides a les dades meteorològiques, garanteixen tenir una informació precisa de l'estat hídric del sistema. S'ha implementat un model senzill i robust, seguint les recomanacions de la FAO, que ens ha permès reconstruir les sèries d'humitat del sòl per a tot el període en que hi ha observacions meteorològiques. Això és necessari per tal de poder saber si les la humitat del sòl d'un moment donat és més alta o més baixa del normal. Al mateix temps, el model ens permet fer les recomanacions de reg. Aquest sistema de recomanacions té com a objectiu evitar les situacions d'estrès, essent econòms amb l'ús de l'aigua.

Les dades observades i simulades, s'han sintetitzat en un butlletí de sequera setmanal que presenta de manera senzilla i clara la informació, per tal que els usuaris pugin prendre decisions en base a informació objectiva i fiable. Aquest butlletí es presentarà aviat als usuaris i s'anirà adaptant el seu contingut en funció dels comentaris que rebem d'ells.

Aquest projecte s'ha implementat en un temps molt curt. Els sensors d'humitat del sòl es van instal·lar el mes de juny del 2019 i les primeres dades ens arriben el juliol del mateix any. D'aquesta manera només tenim mig any de dades, que no inclouen ni un mes complet. Tot i la curta durada del projecte, s'ha desplegat la xarxa d'observació, s'ha desenvolupat un model i s'ha creat un sistema automàtic de generació de butlletins.

Amb l'objectiu de mostrar tot el potencial del sistema creat, per poder estendre el sistema a la Poble de Massalua, per poder refinar el model (ajust dels paràmetres) i també per tal de poder adaptar el butlletí al retorn que tinguem dels usuaris, hem decidit que el sistema continuarà funcionant tot l'any 2020. Així doncs, es seguiran recollint dades, publicant els butlletins i refinant els elements que calgui refinar fins al desembre del 2020.

De cara a més llarg termini (2021 i més enllà), seria bo que es creés una estructura que garantis la continuïtat del projecte. Això també permetria millorar alguns elements clau del sistema, com ara el model, que es podria sofisticar més per resoldre algunes de les seves limitacions. També seria interessant innovar en l'ús de les dades de teledetecció, més enllà del ja molt útil mapa de les anomalies de la humitat del sòl a la comarca.

Agraïments

Aquest projecte l'ha realitzat l'Observatori de l'Ebre, però no hauria estat possible sense l'essencial contribució de l'Escola Agrària de Gandesa, a través del seu director Antoni Cutrona i el professor Ivan Busquet, els consells de Robert Savé i Felicidad Herralde, de l'IRTA, la col·laboració amb María José Escorihuela d'isardSAT, la bona disponibilitat de Lab-Ferrer, el distribuïdor dels sensors utilitzats, i la cordial relació amb Josep Aragonès del COPATE.

Bibliografia

ACA i IRTA (2008) Model per a la determinació dels requeriments d'aigua de reg a Catalunya en escenaris canviants.

FAO (2006) Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO. Available at: <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>.

McKee, T. B. et al. (1993) 'The relationship of drought frequency and duration to time scales', in Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, pp. 179–183.

Merlin, O. et al. (2013) 'Self-calibrated evaporation-based disaggregation of SMOS soil moisture: An evaluation study at 3km and 100m resolution in Catalunya, Spain', Remote Sensing of Environment, 130, pp. 25–38. doi: 10.1016/j.rse.2012.11.008.

Narasimhan, B. and Srinivasan, R. (2005) 'Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for

agricultural drought monitoring', *Agricultural and Forest Meteorology*, 133(1–4), pp. 69–88. doi: 10.1016/j.agrformet.2005.07.012.