

**UNIVERSITAT JAUME I**

**Escola Superior de Tecnologia i Ciències Experimentals**



**UNIVERSITAT  
JAUME·I**

**ENGINYERIA AGROALIMENTÀRIA  
I DEL MEDI RURAL**

**Utilització de sensors d'humitat del sòl per optimitzar  
la programació del reg de cítrics**

Estudiant/a: Laia Mercè Milian Martínez

Tutor/a: Leonor Hernández

Convocatòria: Juliol

## ÍNDEX GENERAL

1. INTRODUCCIÓ	8
1.1. ANTECEDENTS	8
1.3. EL REGADIU A LA COMUNITAT VALENCIANA	11
1.4. CULTIU	13
1.5. PROGRAMACIÓ DEL REG MITJANÇANT EL BALANÇ HÍDRIC	13
1.5.1. Evapotranspiració (ET) i evapotranspiració de referència (ET <sub>0</sub> )	14
1.5.2. Càlcul de les necessitats hídriques	16
1.6. ASPECTES HÍDRICS DEL SÒL I CONCEPTES ASSOCIATS	17
1.7. TÈCNiques DE MESURA DE LA HUMITAT AL SÒL	21
1.7.1. Mètodes directes	21
1.7.2. Mètodes indirectes	22
2. OBJECTIUS I PLA DE TREBALL	28
2.1. OBJECTIUS	28
2.2. PLA DE TREBALL	29
3. MATERIAL I MÈTODES	31
3.1. EQUIPAMENT	31
3.1.1. Sensors d'humitat	31
3.1.2. Comptadors	31
3.1.3. Estacions agrometeorològiques	32
3.2. CÀLCUL DE LES NECESSITATS DE REG PEL MÈTODE DEL BALANÇ HÍDRIC	33
3.3. MÈTODE PER DETERMINAR LES NECESSITATS DE REG. PARLOC	34
3.4. MARC DE PLANTACIÓ	37
3.5. DIÀMETRE DE COPA I PERCENTATGE D'ÀREA OMBREJADA	38
3.6. CABAL MITJÀ PER PLANTA	39
3.7. COEFICIENT DE CULTIU	40
3.8. PÈRDUES ESTIMADES	40
3.9. SENSORS D'HUMITAT EN EL SÒL	42
3.9.1. Sensors 10HS	42
3.9.2. Característiques tècniques	44
3.9.3. Especificacions tècniques del sensor 10HS	45
3.9.4. Tendències model	46
3.9.5. Ús dels sensors	49
4. RESULTATS	50
4.1. Finques participants	51
4.2. Resultats obtinguts en la FINCA A	53
4.2.1. Context agronòmic	53
4.2.2. Estudi dels perfils de humitat	54

4.2.3. Confecció del PARLoc _____	57
4.2.4. Resultats del seguiment _____	58
4.3. Resultats obtinguts en la FINCA B _____	59
4.3.1. Context agronòmic _____	59
4.3.2. Estudi del perfil de humitat _____	60
4.3.3. Confecció del PARLoc _____	64
4.3.4. Resultats del seguiment _____	65
4.4. Resultats obtinguts en la FINCA C _____	66
4.4.1. Context agronòmic _____	66
4.4.2. Estudi dels perfils de humitat _____	67
4.4.3. Confecció del PARLoc _____	71
4.4.4. Resultats del seguiment _____	72
4.5. Resultats obtinguts en la FINCA D _____	73
4.5.1. Context agronòmic _____	73
4.5.2. Estudi dels perfils de humitat _____	74
4.5.3. Confecció del PARLoc _____	79
4.5.4. Resultats del seguiment _____	80
4.6. Resultats obtinguts en la FINCA E _____	81
4.6.1. Context agronòmic _____	81
4.6.2. Estudi del perfil de humitat _____	82
4.6.3. Confecció del PARLoc _____	86
4.6.4. Resultats del seguiment _____	87
5.DISCUSIONS _____	89
5.1. Finca A _____	89
5.2. Finca B _____	89
5.3. Finca C _____	90
5.4. Finca D _____	90
5.5. Finca E _____	90
6. CONCLUSIONS _____	92
7. BIBLIOGRAFIA _____	95

## ÍNDIX DE FIGURES

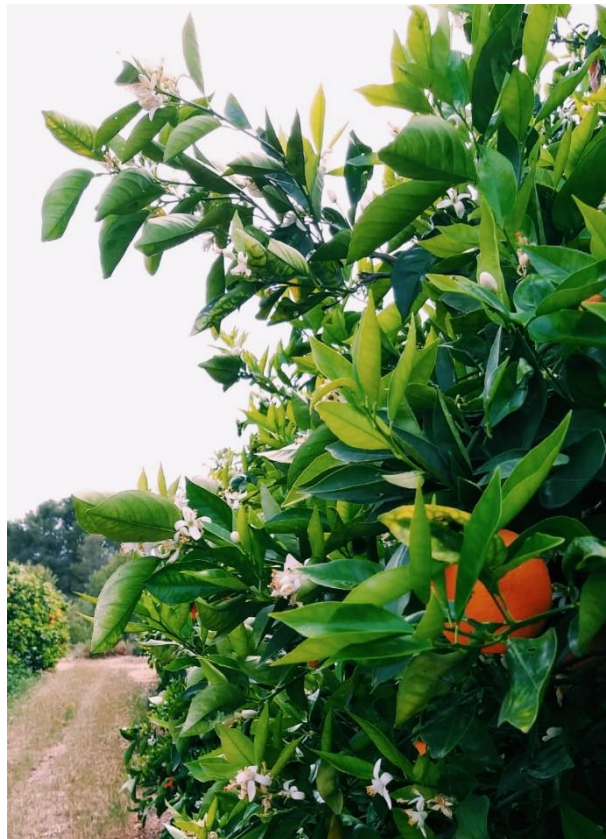
Figura 1. Notícia de la presentació del projecte (SCP, 2018)	8
Figura 2. Balanç hídric (Watts, 2011)	14
Figura 3. Variació de la $K_c$ en funció del seu estat fenològic (FAO, 2019)	17
Figura 4. Bulb de sòl arenós	18
Figura 5. Bulb de sòl argilós	18
Figura 6. Porció de sòl amb els diferents tipus d'aigües i amb la representació del perfil d'humitat	20
Figura 7. Capacitat de camp i punt de marciment permanent (Isern, 2014)	20
Figura 8. Tensiòmetre (Agrologica, 2012)	22
Figura 9. Watermark (Mercado Libre, 2019)	23
Figura 10. Sonda de neutrons (Ulloa, 2019)	24
Figura 11. Sensor FDR 10HS (Devices, 2016)	25
Figura 12. Sonda FDR (Red Agrícola, 2017)	26
Figura 13. Diagrama de flux del pla de treball	29
Figura 14. Tipus exemple de cabalímetre magnètic emprat	32
Figura 15. Estació agrometeorològica	33
Figura 16. Exemple de PARLoc (IVIA, s.d.)	36
Figura 17. Marc de plantació (Saó, 2015)	37
Figura 18. Maneres més comunes de disposar els arbres en una plantació (cirerer)	38
Figura 19. Fórmules per al càlcul de l'àrea ombrejada (Agrocalbido, 2015)	38
Figura 20. Volum de mesura idealitzat del sensor METER 10HS (GROUP, 2017-2019)	44
Figura 21. Sensors col·locats a diferents profunditats	46
Figura 22. Gràfica del Software A.	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 23. Gràfica del Software B.	48
Figura 24. Mapa de la ubicació aproximada de les finques controlades.	51
Figura 25. Model de gràfica de volum d'aigua de reg en les parcel·les i reg de referència.	52
Figura 26. Evolució anual de la humitat volumètrica en els sensors de la finca A.	55
Figura 27. Evolució en maig i juny de la humitat volumètrica en els sensors de la finca A.	56
Figura 28. PARLoc anual de la finca A.	57
Figura 29. Volums acumulats en les parcel·les de la finca A, i reg de referència.	59
Figura 30. Evolució anual de la humitat volumètrica en els sensors de la finca B.	62

<i>Figura 31. Evolució en maig i juny de la humitat volumètrica en els sensors de la finca B.</i>	63
<i>Figura 32. PARLoc anual en la Finca B.</i>	64
<i>Figura 33. Volums acumulats en las parcel·les de l finca B, i reg de referència.</i>	66
<i>Figura 34. Evolució anual de la humitat volumètrica en els sensors de la finca C.</i>	69
<i>Figura 35. Evolució en setembre i octubre de la humitat volumètrica en els sensors de la finca C.</i>	70
<i>Figura 36. PARLoc anual de la Finca C.</i>	71
<i>Figura 37. Volums acumulats en las parcel·les de l finca C, i reg de referència.</i>	73
<i>Figura 38. Evolució anual de la humitat volumètrica en els sensors de la finca D.</i>	76
<i>Figura 39. . Evolució en maig i juny de la humitat volumètrica en els sensors de la finca D.</i>	77
<i>Figura 40. PARLoc anual en Finca D.</i>	79
<i>Figura 41. Volums acumulats en las parcel·les de l finca D, i reg de referència.</i>	81
<i>Figura 42. Evolució anual de la humitat volumètrica en els sensors de la finca E.</i>	83
<i>Figura 43. Evolució en maig i juny de la humitat volumètrica en els sensors de la finca E.</i>	84
<i>Figura 44. PARLoc anual en la finca E</i>	86
<i>Figura 45. Volums acumulats en las parcel·les de l finca E, i reg de referència.</i>	87

## ÍNDIX DE TAULES

<i>Taula 1. Evolució de la superfície regada (en has) per tipus de reg (ESYRCE, 2017)</i>	12
<i>Taula 2. Classificació del aigua del subsòl</i>	19
<i>Taula 3. Coeficients de cultiu dels cítrics (Agustí, 2003)</i>	40
<i>Taula 4. Especificacions dels sensors 10HS. (Group, 2017-2019)</i>	46
<i>Taula 5. Característiques de les parcel·les de la finca A.</i>	53
<i>Taula 6. Dades de la gràfica de seguiment en la finca A.</i>	58
<i>Taula 7. Característiques de les parcel·les de la finca B.</i>	60
<i>Taula 8. Dades de la gràfica de seguiment en la finca B.</i>	65
<i>Taula 9. Característiques de les parcel·les de la finca C.</i>	67
<i>Taula 10. Dades de la gràfica de seguiment en la finca C.</i>	72
<i>Taula 11. Característiques de les parcel·les de la finca D.</i>	74
<i>Taula 12. Dades de la gràfica de seguiment en la finca D.</i>	80
<i>Taula 13. Característiques de les parcel·les de la finca E.</i>	82
<i>Taula 14. Dades de la gràfica de seguiment en la finca E.</i>	87
<i>Taula 15. Percentatge d'estalvi Finca A.</i>	89
<i>Taula 16. Percentatge d'estalvi Finca B.</i>	89
<i>Taula 17. Percentatge d'estalvi Finca C.</i>	90
<i>Taula 18. Percentatge d'estalvi Finca D.</i>	90
<i>Taula 19. Percentatge d'estalvi Finca E.</i>	90
<i>Taula 20. Percentatge d'estalvi de cada finca.</i>	93

# INTRODUCCIÓ



# 1. INTRODUCCIÓ

## 1.1. ANTECEDENTS

Aquest treball de fi de grau s'emmarca dins del projecte "*Citrus farmers-water savers*", també conegut com "*Cítrics Sostenibles*", finançat per The Coca Cola® Foundation (Atlanta, USA) i liderat per Coca-Cola® Iberia.

Aquesta iniciativa té com a objectiu la implementació de pràctiques sostenibles de fertilització i reg, dissenyades per a reduir el consum d'aigua i els impactes ambientals associats a la producció de cítrics a la Comunitat Valenciana.

Prop del 80% de la demanda actual d'aigua es destina a fins agrícoles, i es preveu que pels efectes del canvi climàtic, en un termini de 15 anys hi haurà un descens entre el 5 i el 10% dels recursos hídrics. Aquest projecte té la finalitat d'incrementar l'estalvi d'aigua i fertilitzants en el cultiu del cítrics. La previsió d'estalvi d'aigua en el marc del projecte és de 344 milions de litres d'aigua amb la renovació de prop de 1000 kilòmetres de sistemes de reg i la instal·lació de sensors de humitat.

El projecte està coordinat per l'Institut Universitari de Plaguicides i Aigües (IUPA) de l'UJI, amb la col·laboració del Institut de Recerca de Tecnologia Agroalimentària (IRTA) i l'empresa ambiental Inèdit (Figura 1).

## Presentació: Projecte «Citrus farmers, water savers»

L'UJI i Coca-cola presenten un projecte conjunt sobre la millora i sostenibilitat en la producció de cítrics

Última modificació: 23/10/2017 | Font: SCP



La Universitat Jaume I i Coca-cola presenten el pròxim **25 d'octubre de 2017**, a Castelló, el projecte *Citrus farmers, water savers*. Aquesta iniciativa té com a objectiu la implementació de pràctiques sostenibles de fertilització i reg dissenyades per a reduir el consum d'aigua i els impactes ambientals associats a la producció de cítrics a la Comunitat Valenciana.

L'Institut Universitari de Plaguicides i Aigües (IUPA) de l'UJI coordina aquest projecte en el qual col·laboren el Institut de Recerca de Tecnologia Agroalimentària (IRTA), dependent de la Generalitat de Catalunya, amb seu a Lleida; i l'empresa ambiental Inèdit, pertanyent al Parc de Recerca de la Universitat Autònoma de Barcelona. El projecte està finançat per The Coca-cola Foundation (Atlanta, USA) i liderat per Coca-cola Iberia.



Figura 1. Notícia de la presentació del projecte (SCP, 2018)



La idea essencial del projecte consisteix a seleccionar 750 hectàrees de cítrics repartides en finques de les províncies de Tarragona, Castelló, València, Alacant i Murcia, i finançar millores en els sistemes de regadiu que permetin major eficiència i, per tant, condueixin a l'estalvi d'aigua. Aquestes millores consisteixen en alguns casos a reemplaçar vells degotadors per uns altres més moderns (antidrenants i autocompensants) per a millorar la uniformitat i evitar pèrdues i en altres casos en la instal·lació de sondes d'humitat que permetin conèixer amb major precisió l'estat hídric del sòl i dosar millor l'aigua de reg.

En cada finca es conserva un sector en les condicions prèvies en la qual no es modifiquen les condicions de reg (parcel·les blanc) i es compara el seu comportament amb els sectors en els quals s'han realitzat modificacions (parcel·les replenish o nou).

Setmanalment els tècnics del projecte envien als tècnics de les finques les recomanacions de reg, d'acord a una metodologia que s'explica més endavant.

Durant la campanya 2017-2018 només es van controlar finques en les quals s'havien canviat degotadors, però durant la campanya 2018-2019 s'han inclòs altres finques en les quals s'han instal·lat sensors d'humitat. En aquest treball només s'estudien finques en les quals s'han instal·lat sensors d'humitat.

## 1.2. CONTEXT HISTÒRIC DEL REG DELS CÍTRICS

En Espanya, i concretament a la Comunitat Valenciana, els cítrics es troben en zones de clima mediterrani al litoral, que es caracteritza per presentar unes precipitacions anuals molt irregulars, les quals es concentren sobretot a les estacions de primavera i tardor. Aquestes característiques climàtiques fan que siga imprescindible habilitar un sistema de reg per a satisfer les necessitats hídriques durant les èpoques d'escassa pluja.

El reg com concepte és l'aportació artificial d'aigua, com a suplement de les precipitacions, per a crear unes condicions favorables per a la producció. Es poden distingir dos tipus de reg, el reg fonamental és aquell necessari i essencial per a la producció, i el reg complementari, per aportar més aigua; sense aquest s'obtindria collita, però aquest suplement permet un augment del rendiment i de la qualitat. Els objectius del reg, entre altres, són limitar l'estrès hídric, millorar la productivitat, fer possible el cultiu a regions amb escassetat d'aigua, produir un producte de qualitat, etc.

Tradicionalment, la tècnica de reg més utilitzada era el reg a manta, que consisteix en delimitar la parcel·la i fer córrer l'aigua per gravetat. Per a que aquest mètode siga el més eficient possible, es deuen tindre en compte els desnivells i l'orientació de la parcel·la, fent que arribe la mateixa quantitat d'aigua a tota la superfície. Una vegada inundada la parcel·la, l'aigua es filtra al sòl a dos nivells, el primer en superfície, que és aprofitat pels arbres i les plantes, i un altre nivell més en profunditat, que es aprofitat per la pròpia terra. Però aquesta tècnica de reg no és eficaç, ja que el volum d'aigua aprofitat és molt baix (Agustí, 2003).

A mitjans dels anys 30, es va donar a conèixer el reg per aspersió. Es tracta d'una tècnica que aplica l'aigua en forma de pluja utilitzant dispositius d'emissió d'aigua anomenats aspersors, els quals generen gotes d'aigua d'un tamany semblant a les gotes de pluja gràcies a la pressió donada per un sistema de bombeig. L'objectiu d'aquesta tècnica de reg és que la superfície regada siga el més uniforme possible. Presenta nombrosos avantatges, ja que serveix per a tot tipus de sòls, es poden utilitzar gran varietat d'aspersors (poden ser mòbils o fixes), és eficient, es poden aplicar al mateix temps tractaments fitosanitaris (fertirrigació) i permet realitzar regs de baixes dosis i ràpids. Però per contra, requereix fortes inversions econòmiques, el que va fa que es limita el seu ús. A més, en regions ventoses provoca dificultats, ja que no es distribueix de manera uniforme, el contacte directe de l'aigua sobre les fulles pot causar malalties fúngiques, i l'aigua salubre pot produir risc de cremades o fer malbé l'estètica dels fruits.

Va ser doncs, amb la arribada del reg localitzat, exactament el reg per goteig, el qual es va instaurar fins l'actualitat, com a tècnica de reg més utilitzada en els cítrics. Aquest tipus de reg té com objectiu proporcionar aigua directament al peu de la planta. Açò pot aconseguir-se per mitjà de l'exsudació (a través d'un material porós o unes canonades perforades), per micro-aspersió (difusors o micro-aspersors) o per goteig en el que l'aigua arriba per pressió als emissors. Els avantatges que presenta aquest tipus de reg són: la combinació del reg amb fitosanitaris (fertirrigació), millor relació entre la producció i el volum d'aigua utilitzat (eficiència en l'ús de l'aigua), no hi ha contacte directe amb la planta per la qual cosa disminueix el perill de malalties fúngiques, i preserva l'estructura del sòl. Però també hi presenta desavantatges, tals com una important inversió econòmica, desenvolupament d'un sistema radicular superficial i possibles obturacions dels emissors a causa de l'acumulació de bicarbonat càlcic (Talón, 2000).

Aquest últim sistema de reg és el més eficient amb un aprofitament de l'aigua d'un 80%, mentre que el reg per aspersió presenta un aprofitament del 60-70%. Per últim, la tècnica menys eficient és el reg a manta que es troba entre un 55%. (Bellido, 2018)

### 1.3. EL REGADIU A LA COMUNITAT VALENCIANA

Els cultius de regadiu són unes de les grans especialitats agrícoles de la Comunitat Valenciana tant a nivell productiu com comercial.

D'acord amb la ESYRCE, a la Comunitat Valenciana la implantació del sistema de reg localitzat va aconseguir una superfície de 202.065 hectàrees regades en 2017, el que representa el 69,65% de la superfície total regada com es pot observar en Taula 1; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Per una altra part, el reg per gravetat, amb 86.325 hectàrees regades el 2017, representa el 29,75% de la superfície total regada. Els regs per aspersió i automotriu són poc significatius.

Cal destacar el fort augment de la superfície de reg localitzat en els últims 10 anys (+24,13%) i el descens de la de reg per gravetat (-32,73%).

Des 2015-2017, la superfície de reg localitzat s'ha incrementat un 3,66% i la superfície regada per gravetat ha disminuït un 4,98%.

Any	Gravetat	Localitzat	Pressió	Altres	Total	% Localitzat
2007	121,258	175,184	2.634	8.054	307.400	56,99
2008	145,597	181,042	2.327	6.152	335.117	54,02
2009	139,232	181,893	2.631	3.410	327.166	55,6
2010	122,967	178,691	2.239	727	304.824	58,62
2011	106,143	183,183	1.772	4	291.103	62,93
2012	992	182,461	1.621	4	283.286	64,41
2013	95,045	184,168	1.363	16	280.592	65,64
2014	91,585	192,267	1.845	4	285.701	67,3
2015	90,853	194,928	1.364	0	287.145	67,88
2016	87,585	198,568	1.577	0	287.731	69,01
2017	86,325	202,065	1.737	0	290.126	69,65
<b>% Variació</b>						
2006/17	-32,73	24,13	-40,86	-	-2,46	-
2010/17	-29,8	13,08	-22,42	-	-4,82	-
2015/17	-4,98	3,66	27,35	-	1,04	-

*Taula 1. Evolució de la superfície regada (en has) per tipus de reg (ESYRCE, 2017)*

En 2016 es van utilitzar 1.235 milions de metres cúbics d'aigua a les explotacions agràries de la Comunitat Valenciana, el 51,52% van correspondre a reg per gravetat i el 48,10% a reg localitzat.

El consum estimat d'aigua per a reg de la mitjana dels últims tres anys dels quals es disposa de dades (2013-2016) ascendeix a 4.398 m<sup>3</sup> / hectàrea, un 9,56% inferior a l'estimat en el trienni 2006-2008 (4.864 m<sup>3</sup> / hectàrea).

Aquestes dades confirmen que el consum d'aigua per hectàrea és molt menor utilitzant reg localitzat que reg per gravetat. Així, el consum d'aigua per reg localitzat de la mitjana dels anys 2013-2016 ha estat, aproximadament, la meitat del consum d'aigua per reg per gravetat (-46,40%). En aquest trienni, el consum mitjà d'aigua de reg va ser de 6.967 m<sup>3</sup> / hectàrea en reg per gravetat i de 3.232 m<sup>3</sup> / hectàrea en reg localitzat (Conselleria d'Agricultura, 2018).

## 1.4. CULTIU

Els cítrics són espècies perennes de grans arbres o arbusts que pertanyen a la família de les Rutàcies. Generalment, els cítrics es cultiven en zones compreses entre els paral·lels 40N i 40S, això fa que siguin espècies no resistents al fred, per la qual cosa un excés de fred pot produir efectes negatius en la collita i en els brots joves (Wu, 2018).

Els cítrics són espècies capaces d'economitzar aigua i suportar llargs períodes de sequera gràcies a les seues característiques anatòmiques i fisiològiques. Les arrels dels cítrics presenten una baixa conductivitat hidràulica, degut a l'absència de pèls radiculars i a l'existència d'una endodermis perfectament desenvolupada. A més, les seues fulles tenen abundant cutícula cerosa, que augmenta amb l'edat, arribant a taponar els estomes. En conseqüència, les pèrdues d'aigua a través de les fulles són escasses (Agustí, 2003).

El reg en cítrics redueix la caiguda fisiològica dels fruits i millora el seu calibre, no obstant això, un reg excessiu redueix el contingut de sòlids totals i la seua acidesa per dilució. A més a més, un reg en excés pot produir condicions hipòxiques (baix contingut de O<sub>2</sub>) o anòxiques (sense O<sub>2</sub>), ja que l'aigua desplaça les molècules d'oxigen que es troben al sòl. Durant la maduració, el reg accelera la coloració del fruit però retarda la maduració interna, per la qual cosa aquest aspecte es deurà tindre en compte durant el reg en aquesta fase del cicle dels cítrics (Agustí, 2003).

L'aigua en el cultiu de cítrics és molt important per al seu desenvolupament òptim; és essencial per obtenir collites elevades i de qualitat. El volum d'aigua que necessiten per al seu desenvolupament vegetatiu i la seua producció depèn de l'estat fenològic (creixement vegetatiu, floració, fructificació, etc.) i del tamany del arbre. L'aigua de reg subministrada ha de cobrir les pèrdues per transpiració de les fulles, per evaporació de l'aigua del sòl i per evapotranspiració del cultiu (ET<sub>c</sub>). Aquesta última depèn de factors climàtics com ara la temperatura, la humitat, la radiació solar i el vent; de factors derivats del cultiu, àrea foliar i la regulació estomàtica d'aquesta, fracció de sòl ombrejada i característiques aerodinàmiques de la planta (Equip de l'Oficina del Regant, 2017).

## 1.5. PROGRAMACIÓ DEL REG MITJANÇANT EL BALANÇ HÍDRIC

El balanç hídric és la relació existent entre les entrades d'aigua (precipitacions i reg) i les eixides (evapotranspiració i percolació profunda) l'aigua aportada per les precipitacions i les pèrdues degudes a l'evapotranspiració i percolació profunda. El

balanç hídric serà positiu quan el volum d'aigua aportada per les pluges siga major que les pèrdues; per contra, serà negatiu quan les pèrdues per percolació o evapotranspiració siguen superiors a les entrades.

La Figura 3 mostra les entrades i eixides de l'aigua en el medi. L'aigua pot penetrar al sòl a través de la precipitació i la irrigació; per una altra banda, l'aigua que perd el sòl ho pot fer a través de l'absorció de l'aigua per les arrels que tornarà a l'atmosfera per transpiració, per infiltració al subsòl (percolació profunda) o per simple evaporació.

La reserva hídrica del sòl ve condicionada per les entrades i eixides d'aigua al sistema. D'una banda, les entrades estan constituïdes per la part de la pluja que s'infiltra, també anomenada pluja efectiva, pels regs i, si és el cas, pel ascensió de l'aigua capil·lar o del nivell freàtic en el seu cas. Per una altra part, les eixides consisteixen en l'aigua de la reserva del sòl que es perd a causa de l'absorció de l'aigua per les plantes, per escorrentia i per percolació (Figura 3Figura 2).

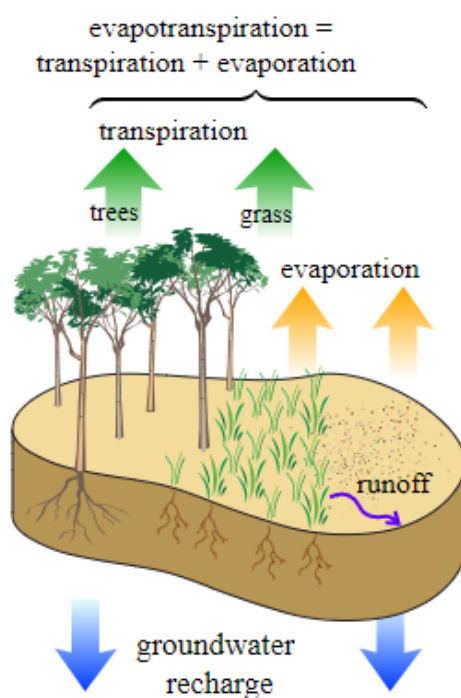


Figura 2. Balanç hídric (Watts, 2011)

### 1.5.1. Evapotranspiració (ET) i evapotranspiració de referència (ET<sub>0</sub>)

L'evapotranspiració (ET) és la combinació de dos processos separats que ocorren simultàniament. L'evaporació és un fenomen físic en el qual l'aigua passa d'estat líquid a estat gasós, mentre que la transpiració és un procés en el qual l'aigua líquida dels

teixits de la planta es perd a través dels estomes, unes petites obertures per les quals els gasos i els vapors d'aigua de la planta són conduïts a l'atmosfera. Per tant, l'evapotranspiració és la pèrdua d'aigua per evaporació de la superfície del sòl i de la transpiració de la planta, és a dir, aquella que no ha sigut absorbida per les arrels de les plantes i ha sigut extreta al exterior per mitjà de la transpiració.

Els factors que cal tindre en compte, ja que afecten a l'evapotranspiració són els següents:

- Factors climàtics: Radiació, temperatura de l'aire, humitat atmosfèrica i velocitat del vent.
- Factors de cultiu: tipus, varietat i estat fisiològic del cultiu, les diferències de transpiració, l'altura del cultiu, l'albedo, la cobertura del sòl i les característiques radiculars del cultiu.
- Factors biològics: tipus de cultiu, l'edat, el cicle de vida en el que es troba (creixement vegetatiu, brotació, floració, maduració), profunditat radicular, entre altres.
- Maneig i condicions ambientals: pràctiques del cultiu, el sistema de reg, la utilització de barreres contra vent, d'antitranspirants o de materials que afavoreixen el reflex del sol (poden afectar a les característiques del cultiu o la capacitat d'absorció d'aigua del sòl)

Per al càlcul de l'evapotranspiració de referència és necessari tindre en compte tots els paràmetres esmentats anteriorment (Pérez, 2008).

L'evapotranspiració de referència ( $ET_0$ ) és el volum d'aigua que s'evapora per unitat de superfície, en un temps donat, condicionada per la radiació solar, la velocitat del vent, la temperatura del aire i la humitat, en un conreu donat, el qual és considerat de referència. Aquest cultiu, és un camp de gespa que cobreix tota la superfície, que presenta una altura de 8 a 12 cm, ben desenvolupat i uniforme, amb un creixement actiu i una dosi de reg adequada.

El mètode de càlcul de Penman-Monteith (el qual serà explicat en més detall en el capítol de Material i Mètodes) es considera com un dels mètodes més estesos per estimar l'evapotranspiració de referència ( $ET_0$ ) en una localitat i en una època de l'any, a partir de dades climàtiques recollides per les diferents estacions agroclimàtiques (publicació nº 56 de l'estudi de la FAO sobre Reg i Drenatge).

A Espanya, la instal·lació d'un sistema d'informació agroclimàtica per al regadiu (xarxa SIAR) es va dur a terme entre els anys 1998-2001 per fer front a la sequera, gràcies a aquestes estacions la informació es proporciona als agricultors i tècnics agraris per

calcular les necessitats de regs dels seus cultius i millorar l'eficiència de l'aigua. En la Comunitat Valenciana, la xarxa SIAR té actualment 55 estacions disseminades per totes aquelles zones on existeix implantació de cultius dotats amb reg. La xarxa SIAR a la Comunitat Valenciana té el seu precedent en 1999 amb la instal·lació de 4 estacions agroclimàtiques en les Estacions Experimentals Agràries (Vila-Real, Carcaixent, Llutxent i Elx), a les que es va sumar la situada en l'Institut Valencià d'Investigacions Agràries (IVIA, Moncada), una estació en el camp d'experiències de la Cooperativa Sant Bernat de Carlet, i altra en una parcel·la experimental de vinya en el paratge de Cerrito, Requena. En els últims anys, concretament en 2012, s'ha completat amb l'entrada en funcionament de les estacions de Manises i Callosa d'En Sarrià, esta última en condicions sota malla. La Cooperativa Agrícola de Callosa d'En Sarrià completa la xarxa amb una estació a l'aire lliure, cedint les dades al sistema (<http://riegos.ivia.es/red-siar>).

### 1.5.2. Càlcul de les necessitats hídriques

El càlcul de les necessitats hídriques, és a dir, la quantitat d'aigua que es deurà aportar per a que la planta es desenvolupe correctament, ve donat per la següent equació:

$$NR_N = ET_C - P_e$$

on les necessitats netes ( $NR_N$ ) són igual a la diferència entre l'evapotranspiració de cultiu ( $ET_C$ ) i la precipitació efectiva ( $P_e$ ), que és la fracció de pluja que realment s'infiltra i no es perd per escorrentia superficial. En aquesta equació no es tenen en compte l'escorrentia ni la percolació, ja que tenen escassa influència i, per tant, es poden considerar com zero (Agustí, 2003; Ruralcat, 2005).

L'evapotranspiració d'un cultiu ( $ET_C$ ) és una estimació de la quantitat d'aigua que s'evapotranspira en un cultiu, el qual varia al llarg del cicle, que ve donat pel coeficient de l'evapotranspiració de referència ( $ET_0$ ) multiplicat pel coeficient de cultiu ( $K_C$ ).

$$ET_C = ET_0 \times K_C$$

Aquest últim paràmetre, el  $K_C$ , varia en funció de característiques de la planta, tals com l'altura, l'albedo de la superfície sòl-planta, la resistència a la sortida del vapor d'aigua, l'evaporació directa des del sòl i el creixement de la planta, el qual es pot dividir en quatre etapes (inici, desenvolupament del cultiu, mitjans de temporada i final de temporada), com es pot observar en la Figura 3 (Ruralcat, 2005).

Aquest mètode de càlcul indirecte presenta dues febleses que s'han de tenir en compte. Per una part, les determinacions de  $ET_0$  són poc precises si les instal·lacions agroclimàtiques no es troben estandarditzades o si el manteniment i el calibratge dels



sensors no es fa amb una periodicitat adequada. I per un altra part, els coeficients de cultiu s'han d'ajustar bé a les condicions específiques d'aquest. Encara que el  $K_c$  únic, és el més utilitzat dins de la producció agrícola, en la determinació del consum d'aigua (Ruralcat, 2005).

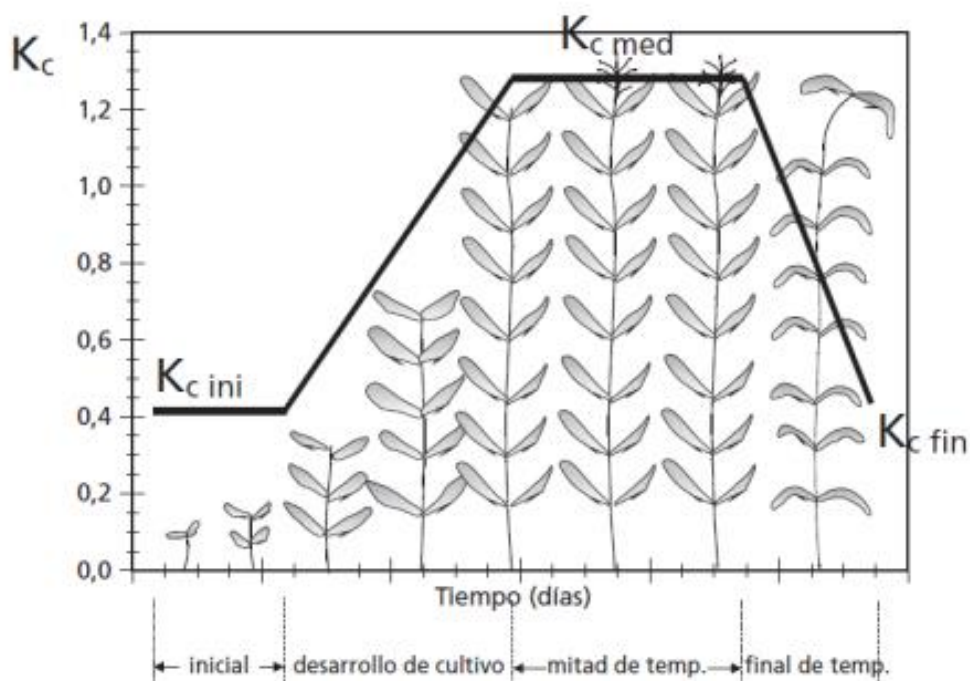


Figura 3. Variació de la  $K_c$  en funció del seu estat fenològic (FAO, 2019)

## 1.6. ASPECTES HÍDRICS DEL SÒL I CONCEPTES ASSOCIATS

Abans d'establir un programa de reg, es deuen tindre en compte i definir les diferents característiques que presenta el sòl.

És important conèixer la textura i l'estructura del sòl, ja que aquests paràmetres permeten determinar el moviment de l'aigua i la retenció d'aquesta, a través dels horitzons del sòl. La textura indica la distribució de les partícules del sol, segons el seu tamany. L'estructura fa referència a la posició que ocupen aquestes partícules i a la manera en que s'agrupen.

Els moviments de l'aigua en els sòls argilosos i els sòls arenosos fan que el bulb que es forma en cadascun d'ells no siga igual. En els sòls argilosos (Figura 5) es forma un bulb

més horitzontal, al contrari que en els sòls arenosos (Figura 4), els quals adquireixen una forma més allargada.

En sòls arenosos, les partícules que s'hi troben són de gran tamany; la manca de propietats col·loïdals, absorció, plasticitat i cohesió fan que l'aigua circule fàcilment i no quede retinguda. Com a conseqüència d'aquestes propietats, els fruits dels arbres que es desenvolupen en els sòls arenosos, són de bon tamany, d'escorça fina, i més sucosos, encara que menys àcids. Per contra, els sòls argilosos són capaços de retindre l'aigua entre els seus porus de menor tamany, ja que posseeixen bones característiques d'absorció i propietats col·loïdals, i pel que els fruits produïts en sòls argilosos seran per tant, de menor calibre i menys sucosos, però amb una pell rugosa i grossa que fa que siguin més resistents a la manipulació i al transport. Així doncs, els cítrics requeriran una proporció equitativa d'elements fins i grossos per al seu bon desenvolupament. (Agustí, 2003)



Figura 4. Bulb de sòl arenós

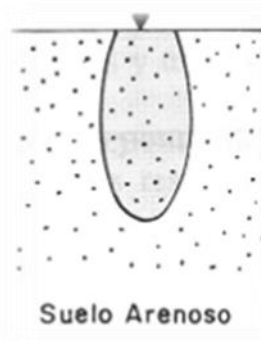


Figura 5. Bulb de sòl argilós

L'aigua de les precipitacions pot circular per escorrentia superficial o infiltrar-se, i circular per escorrentia subterrània. L'aigua que s'infiltra es pot classificar en diverses categories en funció de la seua retenció pel sòl (Taula 2):

- Aigua higroscòpica és l'aigua que forma una pel·lícula al voltant de les partícules del sòl aïllant-les, queda adherida a elles per les forces d'adsorció. No es desplaça per efecte de la gravetat i no és aigua extrudible per les arrels de les plantes, ja que la força de succió d'aquestes és inferior a la força de retenció de l'aigua en el sòl. Varia de 15 a 18% per a arenes fines o mitjanes, i fins a 0.2 a 0.5% per a arenes grosses.
- Aigua pel·licular és l'aigua que envolta l'aigua higroscòpica i a les partícules, aquesta aigua plena els macroporus. No transmet la pressió hidroestàtica, no pot desplaçar-se per efecte de la gravetat i sòls es pot extraure per centrifugació. El

percentatge en els sols d'aquest tipus d'aigua varia des de 40 a 45% per argiles i fins 3 a 1.5% per a les arenas.

- Aigua capil·lar és l'aigua situada en la zona immediatament per damunt de la superfície piezomètrica, transmet la pressió hidroestàtica, plena els porus i està retinguda per les forces capil·lars. Pot elevar-se per damunt de la superfície piezomètrica i mantenir-se en equilibri en els intersticis de les roques per la tensió superficial. Pot dividir-se en dos subtipus:
  - Aigua capil·lar aïllada: ocupa sols una part dels buits en la zona superior de la capa aquífera, l'altra part dels buits contenen aire i vapor d'aigua.
  - Aigua capil·lar contínua: se situa a la zona per sota de la anterior ocupant la totalitat dels porus i intersticis capil·lars i està afectada per la gravetat.
- Aigua gravífica és la part de l'aigua infiltrada que es desplaça lliurement per efecte de la gravetat a través dels buits del terreny. Quan descendeix i aconsegueix un límit impermeable, aquesta aigua contínua circulant lliurement a través dels porus però per efecte dels gradients piezomètrics, constituint així l'aigua subterrània que pot extreure mitjançant la construcció de pous.

Classificació de l'aigua del subsòl segons el grau de retenció:

Categories	Tipus	Extracció
<b>Aigua de retenció</b>	Aigua higroscòpica Aigua pel·licular	Calcinació
<b>Aigua capil·lar</b>	Aigua capil·lar aïllada Aigua capil·lar continua	Centrifugació
<b>Aigua gravífica</b>	Aigua gravífica	Gravetat

*Taula 2. Classificació del aigua del subsòl*

En la Figura 6 es pot observar gràficament els diferents tipus d'aigua descrits anteriorment, i el percentatge de saturació d'aigua del sòl que hi representen. L'aigua pel·licular i l'aigua suspesa per capil·laritat a penes suposen ni un 10% de la saturació d'aigua del sol, mentre que l'aigua capil·lar es la que més percentatge de saturació

d'aigua del sòl presenta. L'aigua del nivell freàtic ascendeix per capil·laritat fins al punt de màxima ascensió capil·lar aparent, on a partir d'aquest l'aigua que hi ha per damunt no és representativa per al nivell de saturació.

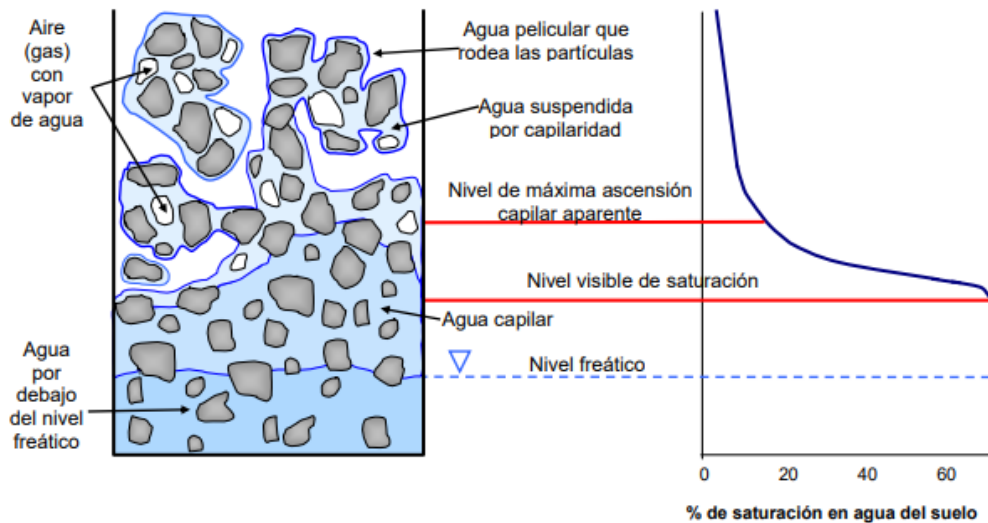


Figura 6. Porció de sòl amb els diferents tipus d'aigües i amb la representació del perfil d'humitat

Doncs bé, per saber la quantitat d'aigua que s'ha d'aportar als cítrics per satisfer les seues necessitats hídriques, també es deuen definir les reserves d'aigua del sòl que estan disponibles per a la planta. A la Figura 7 veiem un esquema dels diferents conceptes.

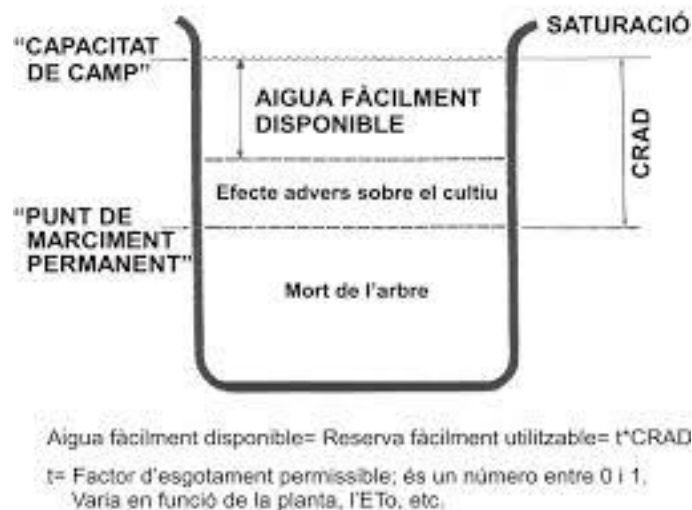


Figura 7. Capacitat de camp i punt de marciment permanent (Isern, 2014)

La Capacitat de Camp (CC) és el volum d'aigua que queda en el sòl després de la saturació quan els macroporus s'han buidat per drenatge, evitant la pèrdua per evapotranspiració fins que el potencial hídric del sòl s'estabilitza.

El Punt de Marciment Permanent (PMP) és el punt d'humitat mínima, en el qual el sistema radicular de la planta no és capaç d'extraure aigua del sòl.

La diferència entre aquestes dos és la Reserva Útil (RU), també anomenada CRAD (Capacitat de Retenció de l'Aigua Disponible) i una part d'aquesta aigua és la Reserva Fàcilment Utilitzable (RFU), és a dir, la part d'aigua que es troba en la meitat superior entre la CC i PMP. Generalment, la RFU en sòls arenosos és 2/3 de la RU i 1/2 de la RU en sòls argilosos.

$$RU = CC - PMP$$

## 1.7. TÈCNIQUES DE MESURA DE LA HUMITAT AL SÒL

Per establir i programar la dosi de reg, és necessari calcular el contingut volumètric d'aigua al sòl, per mitjà de mètodes capaços de mesurar-lo. La quantitat d'aigua del sòl no sols dependrà del volum d'aigua que és troba en el sòl, sinó que també dependrà del tipus de sòl, és a dir, els sòls argilosos retindran més aigua que els sòls arenosos, un altre factor que influirà serà la compactació dels sòls, la presència de pedres, arrels i macroporus.

El volum d'aigua es pot mesurar a través de mètodes directes o indirectes.

### 1.7.1. Mètodes directes

El **mètode gravimètric** és l'únic mètode directe de mesura de la humitat al sòl. Consisteix en calcular la humitat existent en el sòl per diferència de pes. Es pren una mostra de sòl i es pesa, posteriorment es deixa eixugar a 105°C durant 24 hores i es torna a pesar, obtenint així el percentatge d'humitat en el sòl. És un mètode fàcil de dur a terme, malgrat que presenta inconvenients ja que la zona d'on es pren la mostra es destruída, a més no és possible prendre mostres de forma continuada. La fórmula és:

$$\theta g(\%) = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100$$

on  $Ph$  és el pes de la mostra humida i  $Ps$  és el pes de la mostra seca, després d'haver sigut sotmesa al calfament (Molina, 2017).

### 1.7.2. Mètodes indirectes

Entre els mètodes de mesura del volum d'aigua al sòl indirectes podem trobar:

El **tensiòmetre** (Figura 8) és un instrument que permet mesurar la tensió a la qual està retinguda l'aigua en el sòl, és a dir, el potencial matricial de l'aigua en el sòl. D'aquesta manera, es coneix l'esforç que han de realitzar les arrels per absorbir l'aigua que es troba en el sòl. Aquest instrument es recomanat sobretot per a sòls amb textura grossa (arenosa i franc arenosa) (Gázquez, 2018).

Consta d'un tub de plàstic amb capacitat suficient per emmagatzemar aigua. El seu funcionament es basa en crear una columna d'aigua que interactua amb el sòl gràcies a càpsula porosa que té en un extrem. La tensió es produïda a mesura que el sòl s'eixuga, i aquesta es mesurada per un manòmetre que s'encarrega de mesurar l'esforç que realitza el sistema radicular per extraure aigua del sòl. L'aigua del tensiòmetre es mou cap a les zones que més eixutes, fent així que s'equilibren les zones més humides amb les més seques, aquesta variació de l'aigua serà la que ens marcarà el manòmetre. A pesar de ser un mètode senzill i exacte, requereix un manteniment periòdic i no es pot exposar a temperatures baixes. El manòmetre mesura en centibars (c), quan aquest marca 0 vol dir que el sòl es troba saturat, mentre que quan aquest marca el màxim mostra que el sòl està sec.

L'automatització del tensiòmetre es pot realitzar per un tensiòmetre elèctric que permet la lectura visual i disposa d'un relé elèctric, o a través d'un tensiòmetre transductor que permet informatitzar les lectures del contingut d'humitat en el sòl.



*Figura 8. Tensiòmetre (Agrológica, 2012)*

Un altre mètode de mesura de la humitat del sòl indirecte són els **sensors de resistència elèctrica o watermark** (Figura 9), uns instruments que mesuren les variacions de la resistència del sòl. Està compost per dos elèctrodes a més d'un disc amortidor que s'encarrega de reduir la influència de la salinitat. Aquest aparell mesura la corrent elèctrica formada entre els dos elèctrodes; quan major siga la corrent elèctrica menor serà la resistència i, per tant, la quantitat d'aigua serà major. La utilització d'aquests sensors està limitada per la textura, ja que la conductivitat depèn d'aquesta i per tant en horitzons amb baixa retenció d'aigua (arenosos) la precisió disminueix, per això s'han de calibrar. Aquests es poden monitoritzar col·locant un datalogger, per transmetre la informació (Gázquez, 2018).



Figura 9. Watermark (Mercado Libre, 2019)

Les **sondes de neutrons** Figura 10, en franc desús, determinen el contingut d'humitat del sòl en base a la desacceleració que experimenta una corrent de neutrons al impactar amb l'hidrogen de l'aigua del sòl. La sonda emet un flux de neutrons a una determinada velocitat, al xocar amb l'hidrogen del sòl, l'energia cinètica que porta es transforma en calor, en aquest moment els neutrons són absorbits per un detector. És un sistema molt precís, ja que el nombre de col·lisions que presenta contra el hidrogen és rellevant en comparació amb les col·lisions produïdes contra altres elements (Agronotas, 2018).

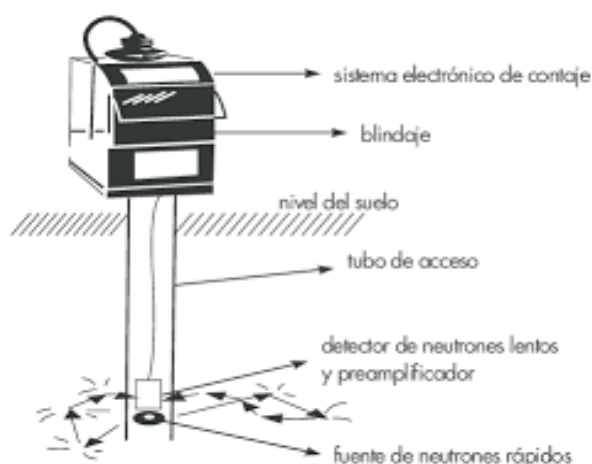


Figura 10. Sonda de neutrons (Ulloa, 2019)

Els sensors més comercialitzats són els sensors dielèctrics encarregats de mesurar la variació de la constant dielèctrica, fent passar un pols electromagnètic, que depenent del comportament de l'ona i el temps que tarda permet estimar el contingut d'humitat. Podem trobar dos tipus diferents de sensors els **Time Domain Reflectometry (TDR)** i els **Frecuency Domain Reflectometry (FDR)**.

Són instruments que prenen mesures precises i continuades del contingut d'aigua al sòl. Els sensors són recomanats per monitoritzar, per veure com evoluciona la humitat del sòl amb el reg, i per tant modificar i programar noves dosis de reg. Aquests es col·loquen a diferents profunditats del sòl per conèixer com percola l'aigua a través del sòl. L'ús d'aquests sensors són utilitzats com ajuda per ajustar empíricament les estimacions del balanç hídric. La ubicació i el nombre de sensors a instal·lar és molt important, i hi ha diversos criteris a tenir en compte per poder disposar d'una informació útil. Depenent del nombre de sensors a instal·lar, es situaran en una zona o un altra. En el cas d'instal·lar un sol sensor és col·locarà en la zona radicular, si s'instal·len dos sensors es col·loca un altre sensor en la zona de drenatge; per un altra banda, en el cas de ficar tres sensors dos es situaran en les zones esmentades abans i un tercer per controlar el moviment horitzontal de l'aigua.

El nombre de punts per situar-los dependrà del tipus de sòl, de l'espècie, del grau de desenvolupament del cultiu i del tipus de reg a utilitzar.

La seua ubicació es situarà en una planta representativa i en una zona on la humitat siga mitja-baixa, en aquelles en les que les arrels extraguin més aigua, evitar la seua



instal·lació en zones d'escorrentia, d'acumulació excessiva d'aigua o en arbres poc representatius, com ara arbres amb gran diferència d'edat en comparació a la majoria.

Les sondes mesuren directament les constants dielèctriques, que gràcies a l'equació de Topp aquest valors són traduïts a valors d'humitat volumètrica. Aquesta equació relaciona empíricament els valors de permitivitat elèctrica que donava el dispositiu TDR amb el contingut real d'aigua al sòl. Va proposar una equació vàlida per a fer les mesures en medis porosos. Tot i que existeixen altres funcions de calibració, aquesta s'ha establert com l'equació de referència sempre que es fa ús del TDR.

$$\theta = - 5.3 \cdot 10^{-2} + 2.92 \cdot 10^{-2} \epsilon_r - 5.5 \cdot 10^{-4} \epsilon_r^2 + 4.3 \cdot 10^{-6} \epsilon_r^3$$

on  $\theta$  correspon al valor de volum d'aigua del sòl ( $m^3 / m^3$ ). (Flor, 2006)

Els sensors recullen i transmeten les dades preses a través d'un datalogger, fins al ordinador on el responsable serà capaç d'interpretar les dades donades per després fer informes, recomanacions i modificar, si cal, el programa de reg.

Les **sondes TDR (Time Domain Reflectometry)** mesuren el volum d'aigua present en un determinat sòl a través de la permitivitat.

La permitivitat o constant dielèctrica és una constant física que descriu com un camp electromagnètic afecta i es afectat per un medi. Aquesta ve determinada per la tendència d'un material a polaritzar-se davant l'aplicació d'un camp elèctric, anul·lant així parcialment el camp intern del material

Les TDR emeten un camp magnètic i es calcula el temps que l'ona tarda en retornar, el temps és proporcional a la permitivitat del medi i varia amb la presència d'aigua en el sòl. Els sensors no tenen perquè estar calibrats ja que es poden treballar amb tendències, encara que es recomanable

Figura 11). (Aula Invertida, 2016).



Figura 11. Sensor FDR 10HS (Devices, 2016)

Les **Sondes FDR (Frequency Domain Reflectometry)** mesuren la constant dielèctrica o permitivitat composta del sòl, mitjançant elèctrodes que amb el sòl, constitueixen un condensador es connecta a un circuit oscil·lador. La permitivitat varia degut a la presència d'humitat en el sòl, fent que la capacitància també nota els canvis i per tant la freqüència d'oscil·lació del circuit. Aquestes sondes s'enterren directament en el perfil del sòl o a través d'un tub d'accés de PVC (Aula Invertida, 2016).

La capacitància és una magnitud física que defineix-la capacitat d'emmagatzemar carrega elèctrica per mitjà de condensadors de dos plaques. Aquesta es determina per la relació entre la càrrega i el voltatge.

La instal·lació d'aquestes sondes alteren completament el perfil del sòl, de manera que la informació està vitalitzada ja que, no és representatiu amb la resta de la parcel·la. Presenten diversos problemes entre els quals destaca la seua poca durabilitat, la qual ve contrarestada amb el seu baix preu. A més, no es recomanable utilitzar-los per a cultius llenyosos, tot i que si és recomanable per a cultius hortícoles.



*Figura 12. Sonda FDR (Red Agrícola, 2017)*

# OBJECTIUS I PLA DE TREBALL



## 2. OBJECTIUS I PLA DE TREBALL

### 2.1. OBJECTIUS

L'objectiu principal de les finques seleccionades per al present TFG és reduir i optimitzar l'ús de l'aigua del reg, amb l'ajuda de l'ús de sensors capacitius que ajuden a refinar les recomanacions setmanals que duen a terme els tècnics del projecte, i que tenen com a base de càlcul el software nomenat PARLoc, propietat de l'IVIA (Institut Valencià de Investigacions Agràries), el funcionament del qual s'explicarà més endavant.

Com objectius secundaris, encara que no menys importants, s'han realitzat una sèrie d'accions de caràcter divulgatiu portades a terme (newsletters, interacció dels tècnics amb el personal encarregat del reg o fertirreg, ...), entre les quals podríem enumerar els següents:

- Coneixement en major profunditat de particularitats de la finca en qüestió, com per exemple: orientació de la finca, desnivells/pendent positiva o més o menys crítica, tipus de sòl, profunditat a la que es troben les arrels, etc. Amb l'objectiu de tindre en compte, en la mesura del possible, tots aquells aspectes que poden influir en la presa de decisions sobre la irrigació.
- Conèixer l'estat del sistema de reg, en quant a la uniformitat dels emissors. Una instal·lació de reg ideal deu tindre una distribució uniforme del aigua en tota la superfície regada, fent que arribe a totes les plantes la mateixa quantitat d'aigua. Per això es duen a terme assajos d'uniformitat en algunes de les parcel·les, per tal de verificar aquesta distribució uniforme de l'aigua i així evitar diferències en desenvolupament del cultiu en una mateixa parcel·la.
- Transmetre al personal encarregat, per mitjà d'una sèrie d'accions divulgatives, aspectes importants que cal tindre en compte tant en la programació del reg, com al manteniment d'infraestructures, fertirrigació en cas d'estar en zones vulnerables a contaminació per nitrats, quin moment del cicle del cultiu és l'adequat per aplicar reg deficitari, etc. Aquests aspectes, encara que s'han portat a terme dins del projecte, no es van a tractar en el present TFG.

## 2.2. PLA DE TREBALL

La realització d'aquest treball s'ha fet tant a nivell de recerca d'informació com eixides a camp per veure i estudiar tot allò que després s'explica en el projecte.

Per una banda, la recerca d'informació s'ha fet a través de articles científics, pàgines webs i llibres per explicar el context del tema del treball de fi de grau. És a dir, explicació de conceptes relacionats amb les necessitats hídriques dels cultius, mètodes per calcular-les i aparells que es poden utilitzar per a la mesura del volum d'aigua en el sòl, entre els que es destaca els sensors 10HS que són els emprats en el projecte.

Per un altra banda, a nivell de camp, s'han fet assajos d'uniformitat per comprovar si alguna de les anomalies en l'estalvi d'aigua era deguda a problemes de la instal·lació de reg. S'han visitat mensualment les parcel·les per mesurar el volum d'aigua que passa a través dels comptadors i s'han recollit totes les dades necessàries de la parcel·la a l'inici del projecte. Totes aquestes dades de camp, han sigut introduïdes als documents d'Excel de cada parcel·la, amb els quals es construiran les gràfiques d'estalvi amb la vinculació de les dades donades pel PARLoc.

Finalment, s'ha procedit a la interpretació dels resultats obtinguts i l'exposició de les principals conclusions extretes.

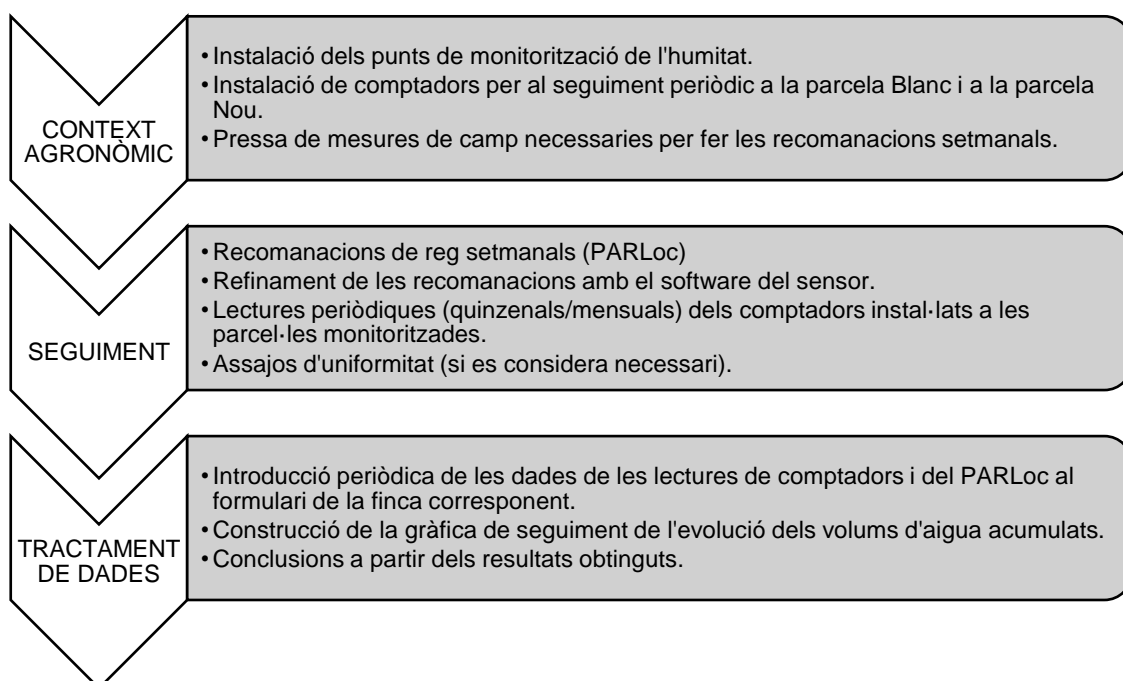


Figura 13. Diagrama de flux del pla de treball

# MATERIAL I MÈTODES



### **3. MATERIAL I MÈTODES**

Els cítrics de les parcel·les seleccionades en aquest Treball Fi de Grau estaven dotats prèviament amb per un sistema de reg per goteig. Amb la participació d'aquestes en el projecte anteriorment esmenat, han realitzat la inversió per a la instal·lació de sensors capacitius del tipus FDR (Frequency Domain Reflectometry).

Les finques s'han dividit en dos sectors diferents, el sector "Blanc" és la part de la parcel·la la qual es segueix regant com venia sent habitual, mentre que el sector "Nou" o "Replenish" és aquell que segueix les recomanacions donades pels tècnics del projecte. Gràcies a la diferenciació d'aquests dos sectors, podem comparar i quantificar si hi ha estalvi d'aigua o no.

A més, a tots els sectors "Nou" es van instal·lar sondes de monitorització de la humitat del sòl; mentre que al sector "Blanc" es va deixar la instal·lació original.

#### **3.1. EQUIPAMENT**

##### **3.1.1. Sensors d'humitat**

El tipus d'aparell utilitzat durant aquesta experiència és el 10HS, Decàgon. És un instrument que mesura la humitat de sòl, mitjançant la mesura de la constant dielèctrica. Quan es produeix una variació en el volum de l'aigua del sòl, aquestes sondes ho detecten, i mesuren aquest canvi de volum relacionant-lo directament amb el canvi de contingut d'aigua (VWC). (Decagon, 2016)

##### **3.1.2. Comptadors**

Les mesures s'han pres a través de comptadors instal·lats a cadascuna de les finques que formen part d'aquest projecte (Figura 14). Aquests mesuren el volum d'aigua (en m<sup>3</sup>) que es subministra per al reg. Les mesures es prenen almenys una vegada al mes, amb la visita a camp del tècnic responsable de la respectiva finca.



*Figura 14. Tipus exemple de cabalímetre magnètic emprat*

### **3.1.3. Estacions agrometeorològiques**

Les estacions agrometeorològiques són punts de mesura de variables climàtiques, les quals proporcionen informacions representatives de la regió en la que es situen.

La transmissió d'informació s'efectua cada cert temps mitjançant un datalogger, els sensors es connecten en interfase amb l'equip de transmissió de l'estació, arribant al dispositiu de recepció de la informació, aquesta després serà utilitzada per aplicacions a l'agricultura, com per exemple per a la programació dels sistemes de reg.

Les estacions meteorològiques s'ubicaran geogràficament en el lloc on la informació siga més representativa dins de les regions productives. El sòl on s'instal·la aquesta estació deurà ser pla i sense obstacles que puguin modificar les variables mesurades sobre una superfície extensa de gespa cobrint totalment el sòl i sense limitacions d'aigua. A més deu estar protegit i allunyat dels animals.

Aquest tipus de centrals estan formades per diferents aparells que s'encarreguen de mesurar les variables climatològiques (Figura 15).



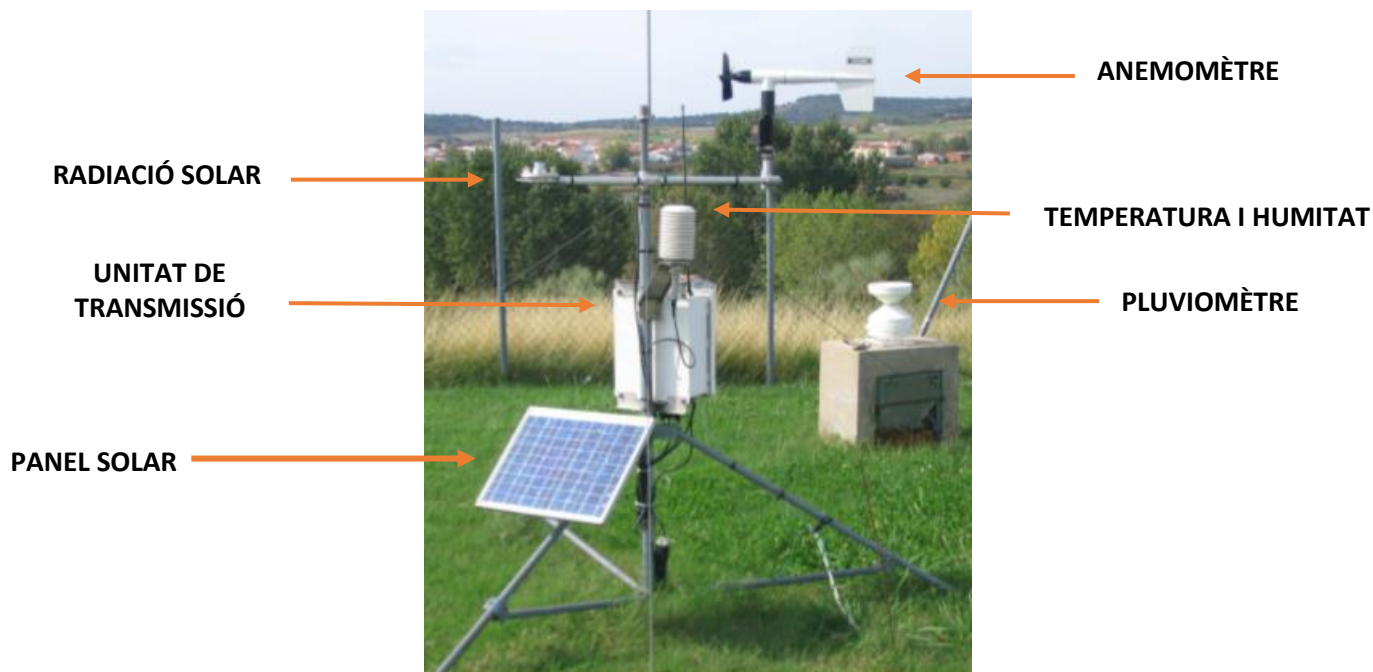


Figura 15. Estació agrometeorològica

El **pluviòmetre**, situat a una altura de 1m, s'encarrega de mesurar el volum de les precipitacions aquest instrument està orientat en direcció S.

A 2 metres d'altura, trobem per una part l'**anemòmetre**, que s'encarrega de mesurar la velocitat i la direcció del vent orientat en direcció N. A la mateixa altura que l'anemòmetre, trobem els **sensors de temperatura/ humitat**, orientats en direcció SE, i el sensor de **radiació solar**, orientat en direcció SO.

Per a que es duga a terme la transmissió de la informació és necessari la unitat de transmissió, el **datalogger**, el qual funcionarà gràcies a l'energia elèctrica proporcionada pel panel solar que mostra la Figura 15. El panel solar estarà orientat en direcció sud per a que tinguen el màxim rendiment (AgriEnlace)

Les dades que arreplega el datalogger de l'estació es recullen i s'introdueixen al software de referència emprat en aquest projecte. Es tracta del PARLoc, eina dissenyada per l'IVIA (Institut Valencià d'Investigacions Agràries.)

### 3.2. CÀLCUL DE LES NECESSITATS DE REG PEL MÈTODE DEL BALANÇ HÍDRIC

El mètode FAO Penman-Monteith es recomana com a mètode estàndard per a la definició i càlcul de l'evapotranspiració de referència (ET<sub>o</sub>) amb paràmetres climàtics Aquest serà l' emprat per fer les recomanacions de reg setmanals del projecte

El clima, les característiques del cultiu, el maneig i les condicions ambientals són factors que cal definir prèviament, ja que afecten a l'evaporació i a la transpiració.

El mètode de FAO Penman-Monteith (1990) permet estimar l'evapotranspiració, a partir de la equació original de Penman-Monteith juntament amb les equacions de resistència aerodinàmica i superficial.

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{(T + 273)} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

on:

ET <sub>o</sub>	Evapotranspiració de referència mm dia <sup>-1</sup>
R <sub>n</sub>	Radiació neta en superfície del cultiu (MJ m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )
R <sub>a</sub>	Radiació extraterrestre (mm dia <sup>-1</sup> )
G	Flux de calor de sol (MJ m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )
T	Temperatura mitjana de l'aire a 2m d'altura (°C)
U <sub>2</sub>	Velocitat del vent a 2m d'altura (m s <sup>-1</sup> )
e <sub>s</sub>	Pressió de vapor de saturació (kPa)
e <sub>a</sub>	Pressió real de vapor (kPa)
e <sub>s</sub> -e <sub>a</sub>	Dèficit de pressió de vapor (kPa)
Δ	Pendent de la corba de pressió de vapor (kPa °C <sup>-1</sup> )
γ	Constant psicomètrica

L'equació utilitza dades climàtiques de radiació solar, temperatura, humitat de l'aire i velocitat del vent que s'han pres a través de les estacions agrometeorològiques

### 3.3. MÈTODE PER DETERMINAR LES NECESSITATS DE REG. PARLOC

Les necessitats de reg és la quantitat d'aigua necessària que cal aportar a la planta en complementació a les pluges per al seu desenvolupament òptim.

Per calcular les necessitats de reg netes (NRn) d'un cultiu es calculen per mitjà del balanç de perdudes i les aportacions d'aigua:

$$NRn = ETc - Pe - \Delta G - \Delta W$$

$NR_n$ = Necessitat de reg neta del cultiu [mm]

$ET_c$ = Evapotranspiració del cultiu [mm]

$Pe$ = Precipitació efectiva emmagatzemada en el volum reticular [mm]

$\Delta G$  = Aigua que arriba al volum reticular per ascensió capil·lar des de el nivell freàtic [mm]

$\Delta W$  = Variació de humitat del sòl entre dos regs consecutius [mm]

On les perdudes d'aigua ve donada per l'evapotranspiració del cultiu i les aportacions arriben a la planta a través de la precipitació efectiva, el volum d'aigua que arriba per ascensió capil·lar del nivell freàtic i la variació d'humitat del sòl entre els dos regs consecutius.

L'Institut Valencià d'Investigacions Agràries compta amb un programa capaç de calcular les necessitats de reg depenent de la zona en la que es troba el cultiu i del tipus de cultiu.

El PARLoc és un programa d'assessorament de regs del IVIA (Institut Valencià d'investigacions agràries) a través del qual mitjançant la introducció de les dades pertinents : marc de plantació, diàmetre de copa, cultiu, cabdal mitjà per planta i pèrdues estimades, l'aplicació informàtica calcula el coeficient de cultiu, el factor de precipitació efectiva i el coeficient característic de la instal·lació.

Per construir el PARLoc de cadascuna de les parcel·les, es tenen en compte les dades de l'estació meteorològica de la xarxa SIAR (Sistema de Informació Agroclimàtica para el Regadio) més propera, o més idònia (per característiques orogràfiques o climatològiques semblants).

Una volta introduïdes totes aquestes dades, aquest realitza un càlcul de programació anual orientativa de reg en funció a l'estació agroclimàtica seleccionada. aquesta deu situar-se a les proximitats de la parcel·la i tenir característiques climàtiques i orogràfiques semblants. Les estacions agroclimàtiques prenen bases de dades històriques recollides al llarg dels anys i les actuals, les quals es faran servir per a realitzar les orientacions.

El càlcul s'obté gràcies a una fulla de càlcul realitzada en MSExcel, la qual dona el temps setmanal de reg necessari per a la parcel·la segons les seues característiques específiques. (IVIA, s.d.)

La programació anual orientativa que es mostra a la taula de la fulla de Excel, realitza una aproximació de les variables per a cada mes de l'any. Les variables són  $ET_o$ ,  $K_c$ ,

ETc, precipitaciones efectives, ETc aplicable, els m<sup>3</sup> per hectàrea, del tal manera que gràcies a aquestes dades juntament amb la introducció de les dades sobre la parcel·la, es calcula la dosi de reg corresponent sota les condicions introduïdes al software, és a dir, els litres d'aigua que s'han de subministrar, el número d'hores i la freqüència del reg per setmana i per mes.

El tècnic encarregat del reg deurà introduir una sèrie de dades pròpies de la parcel·la al PARLoc per tal de calcular el més ajustat possible les seues necessitats. Els paràmetres que ha d'introduir són el marc de plantació, el diàmetre de copa i percentatge d'àrea ombrejada, cabal mitjà per planta, coeficient de cultiu i les pèrdues estimades.

GENERALITAT VALENCIANA		riegosivia instituto valenciano de investigaciones agrarias		v1.6							
<b>Marco plantación:</b>	20,0 m <sup>2</sup>	<b>Area sombreada, As:</b>	3,6 m <sup>2</sup>	<b>Porcentaje área sombreada, PA</b>	48,1 %						
<b>Diámetro copa:</b>	3,50 m	<b>Kc medio:</b>	0,590	<b>Constante de la instalación, Cii</b>	0,625						
<b>Caudal medio por planta Q</b>	32,0 l/h	<b>Factor precip. efectiva, Fpe:</b>	0,601								
<b>Pérdidas estimadas</b>	0,0 %										
PROGRAMACIÓN ANUAL ORIENTATIVA											
%	Mes	ETo l/m <sup>2</sup>	Kc	ETc	P efec l/m <sup>2</sup>	ETc apl l/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /ha	Riego l/planta	hh:mm mes	hh:mm semana	Núm. riegos/semana
100	Enero	29	0,57	16,9	22,3	0,0	0	0	00:00	00:00	0
100	Febrero	36	0,56	20,5	15,3	5,2	52	104	03:10	00:45	0
100	Marzo	65	0,57	37,5	17,8	19,7	197	394	12:15	02:45	1
100	Abril	96	0,54	51,7	29,8	21,9	219	438	13:40	03:10	2
100	Mayo	124	0,48	59,1	22,9	36,2	362	724	22:35	05:05	3
100	Junio	156	0,54	83,9	8,1	75,8	758	1.515	47:20	11:00	6
100	Julio	164	0,59	96,6	2,8	93,7	937	1.875	58:35	13:10	7
100	Agosto	144	0,69	98,8	11,1	87,7	877	1.754	54:45	12:20	6
100	Septiembre	96	0,64	61,5	24,4	37,1	371	742	23:10	05:20	3
100	Octubre	61	0,73	44,8	26,8	18,0	180	360	11:10	02:30	1
100	Noviembre	33	0,63	21,0	30,7	0,0	0	0	00:00	00:00	0
100	Diciembre	25	0,55	13,6	25,0	0,0	0	0	00:00	00:00	0
%	Año	1.030	0,59	605,9	237	395,2	3.952	7.905	247:00		
LEYENDA DE COLUMNAS											
%: porcentaje necesidades que se desea aplicar. Si no hay restricciones aplicar el 100%											
ETo (l/m <sup>2</sup> ): evapotranspiracion de referencia											
Kc: coeficiente de cultivo											
ETc (l/m <sup>2</sup> ): necesidades de agua = ETo x Kc:											
ETc loc (l/m <sup>2</sup> ): necesidades con riego localizado											
N net (l/planta): (ETc loc + pérdidas) x marco plantacion											
Pef (l/m <sup>2</sup> ): P util (lluvia util) x Fpe											
ETc apl (l/m <sup>2</sup> ): ETc loc - Pef											
m <sup>3</sup> /ha: ETc apl x 10											
Riego l/planta: ETc apl x marco plantacion											
Tiempo riego mensual (hh:mm): Riego / Qm											
Tiempo riego semanal (hh:mm): Tiempo riego mensual / n° semanas del mes											
Número riegos/ semana: Tiempo riego semanal / Duracion riego (horas) [orientativo]											

Figura 16. Exemple de PARLoc (IVIA, s.d.)

### 3.4. MARC DE PLANTACIÓ

El marc de plantació indica la separació necessària entre les plantes cultivades per al seu bon desenvolupament. Aquesta distància és important, ja que influeix en aspectes com la quantitat de llum que reben les plantes, la competència pels nutrients del sòl, i també per aconseguir una bona ventilació i aireació, la qual cosa reduirà el risc de plagues i malalties. La distància entre les plantes dependrà del tipus de maquinària que s'utilitza.

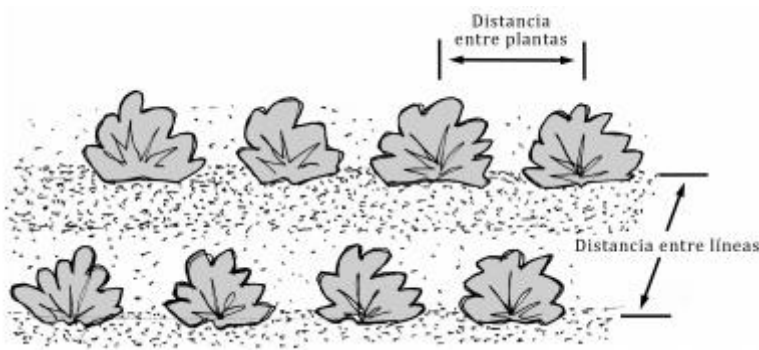


Figura 17. Marc de plantació (Saó, 2015)

Les formes en les que es pot dur a terme el marc de plantació són 3:

- **Marc quadrat:** és el més comú i habitual, les plantes es col·loquen a una sola distància una de l'altra formant un quadrat.
- **Marc rectangular:** les plantes es col·loquen en forma de rectangle, aquest tipus és comú en plantacions amb solc, on la distància entre línies és menor que la distància entre plantes en la mateixa línia.
- **Disposició en triangle (a portell):** les posicions de les plantes d'una línia corresponen als punts mitjans dels buits entre dues plantes de les línies immediates, formant triangles; és la disposició més complexa d'executar. La disposició en triangle equilàter permet un aprofitament màxim de la superfície disponible, i a més dona un aspecte de més naturalitat a la plantació (Hidroponía, 2018)

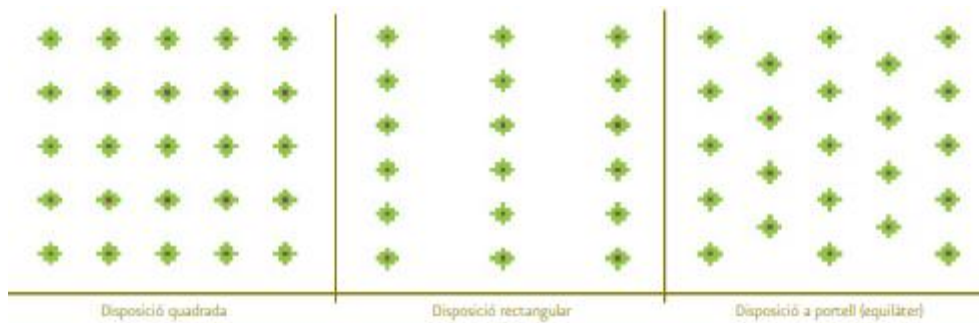


Figura 18. Maneres més comunes de disposar els arbres en una plantació (cirerer)

### 3.5. DIÀMETRE DE COPA I PERCENTATGE D'ÀREA OMBREJADA

El diàmetre de copa es mesura en dos direccions, la direcció Norte-Sud i la direcció Est-Oest. Es pren com a referència la projecció dels extrems de la mateixa sobre el sòl, mesurant-se amb una cinta mètrica la distància entre ambos extrems. La mesura final del diàmetre de copa serà la mitjana entre les dues mesures preses. (Medioambiente, 2011)

Per al càlcul de l'àrea ombrejada es tindrà en compte el marc de plantació.

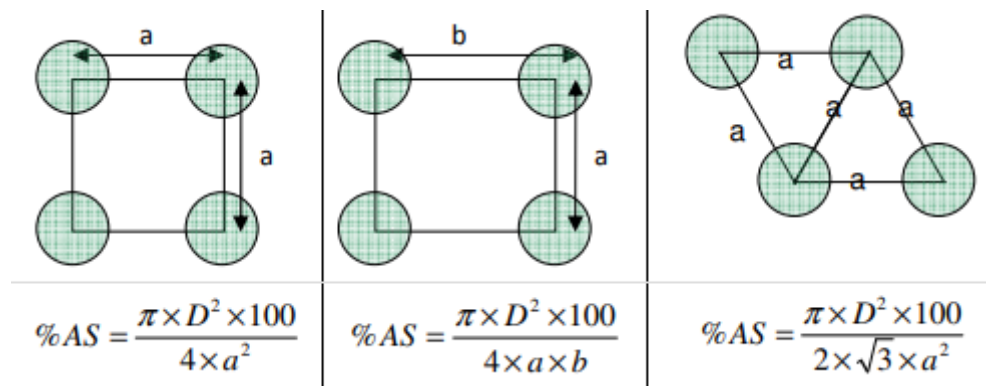


Figura 19. Fórmules per al càlcul de l'àrea ombrejada (Agrocalbido, 2015)

Els cercles representen els diferents arbres, sent la projecció vertical de cadascun un cercle de diàmetre D, i a i b les separacions entre plantes i entre línies. (Agrocalbido, 2015)

### 3.6. CABAL MITJÀ PER PLANTA

Per al càlcul del cabal mitjà per planta es tindran en compte factors com el marc de plantació, el cabal teòric que es proporcionat per cada emissor, la distància entre aquests i la distància entre els arbres, així com també el nombre de línies que hi compren el sector donat. Quants més gran siga el cabal nominal o teòric i menor siga la distància entre els emissors, major serà el volum d'aigua que arribe als arbres.

$$Q_m = Q_n / (D_e \times (D_c / n^{\circ} \text{ línies})) \times MP$$

$Q_m$  : cabal mitjà per planta

$Q_n$  : Cabal nominal o teòric dels emissors

$D_c$  : distancia entre carrers (d'arbres)

$N^{\circ}$  línies : nombre línies de goters per tira d'arbres

$D_e$  : distancia entre emissors

$MP$  : marc de plantació

Una vegada mesurats marc de plantació, diàmetre de copa i àrea ombrejada, el següent pas a seguir és conèixer la tipologia de mànegues que hi ha. Si són autocompensants, antidrenants i amb emissors punxats o integrats. Les mànegues anticompensants són aquelles que mantenen uniforme el cabal a distintes pressions d'entrada per assegurar una distribució exacta d'aigua i fertilitzants, gràcies a que incorpora una membrana baix pressió. Aquest sistema presenta nombrosos avantatges, com per exemple, controla millor la sortida d'aigua, i la possibilitat de fer línia molt més llargues mantenint el cabal constant des del primer emissor fins a l'últim. En terrenys amb molts desnivells són molt recomanables. Per una altra banda, els emissors antidrenant eviten el buidatge dels conductors una vegada ha finalitzat el reg, gràcies a la presència d'una membrana que tanca l'emissor quan la pressió del sistema disminueix evitant així l'eixida de l'aigua quan s'efectua el reg. Els emissors integrats són aquells en els que l'emissor es troba dins de la canonada, mentre que els punxats l'emissor d'inserta sobre la mànega (Novagric, 2016; Mradm, 2017).

### 3.7. COEFICIENT DE CULTIU

El Kc (coeficient de cultiu) és un factor que varia depenent del tipus de cultiu en el que se treballa, l'estat fenològic en el que es troba, i el percentatge d'àrea ombrejada entre altres. Aquest vindrà donat pel PARLoc.

La FAO (1997) ha establert els valors genèrics de K<sub>c</sub> estimats per a les condicions de la regió de València (Taula 3).

<b>Coeficients de cultiu (K<sub>c</sub>) dels cítrics</b>												
	G	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
PS <sub>s</sub>	Valors generals per diferents PS <sub>s</sub> en zones seques i amb vents dèbils (FAO, 1997)											
>70%	0.75	0.75	0.8	0.8	0.8	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.8	0.8
≈50%	0.75	0.75	0.8	0.8	0.8	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.8	0.8
<20%	0.85	0.85	0.9	0.9	0.9	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.9	0.9
<b>Coeficients de Kc dels tarongers i mandariners cultivats en València</b>												
Taronger	0.66	0.65	0.66	0.6	0.6	0.62	0.68	0.79	0.74	0.83	0.7	0.6
Clement	0.38	0.36	0.26	0.2	0.2	0.27	0.25	0.3	0.43	0.51	0.5	0.39

Taula 3. Coeficients de cultiu dels cítrics (Agustí, 2003)

### 3.8. PÈRDUES ESTIMADES

Les pèrdues estimades es faran per criteri propi del tècnic encarregat de la finca, ja que és aquesta persona la que està al corrent de l'estat de les instal·lacions hidràuliques.

Una vegada calculada la evapotranspiració de referència, cal calcular la evapotranspiració del cultiu (ET<sub>c</sub>). L'evapotranspiració del cultiu expressa la quantitat d'aigua perduda per la superfície en forma de vapor, a través de l'evaporació i de la transpiració de la planta. Davant condicions climàtiques de cultius similars, la transpiració dels cítrics és inferior a la d'altres cultius. Per al càlcul de la ET<sub>c</sub> es té en compte la superfície que la copa del arbre ombrejada, i per un altra part el percentatge que aquesta representa. La superfície ombrejada s'expressa amb el quadrat del diàmetre de la copa, expressat en m<sup>2</sup>, i el percentatge d'ombra és el quocient de la superfície ombrejada entre el marc de plantació en m<sup>2</sup>. Quan aquest percentatge és superior al 50%, el valor de la superfície ombrejat (PS<sub>s</sub>) és 1,5, i quan és inferior 1,7.



Per un altra part, el coeficient de cultiu  $K_c$  va variant, dependent del estat fisiològic que es troba la planta i el grau de cobertura del sòl. El  $K_c$  o coeficient de cultiu és un factor adimensional que permet corregir l'ET<sub>o</sub> i obtenir, finalment, una estimació de l'evapotranspiració d'un cultiu determinat. Depèn del tipus de cultiu i de l'estadi de desenvolupament en què aquest es troba. Per descriure i construir la corba del coeficient de cultiu es necessiten solament tres valors de  $K_c$ : els corresponents a l'etapa inicial ( $K_{c\ inc}$ ), la etapa intermitja ( $K_{c\ med}$ ) i l'etapa final ( $K_{c\ fin}$ ) (Ayza, 2014).

### 3.9. SENSORS D'HUMITAT EN EL SÒL

El tipus d'aparell utilitzat durant aquesta experiència és el 10HS, de Decàgon. És un instrument que mesura la humitat del sòl, mitjançant la mesura de la constant dielèctrica. Quan es produeix una variació en el volum d'aigua del sòl, aquestes sondes ho detecten, i mesuren aquest canvi de volum relacionant-lo directament amb el canvi de contingut d'aigua (VWC) (Devices, 2016).

#### 3.9.1. Sensors 10HS

El sensor 10HS mesura el contingut d'aigua volumètric de sòl per la seua capacítància. La càrrega i descàrrega ràpida d'un elèctrode clavat en terra i carregat positivament (condensador) al sòl genera un camp electromagnètic, el temps de càrrega ( $t$ ) està relacionat amb la capacítància ( $C$ ) del sòl per la següent equació:

$$t = RC \ln \left( \frac{V - V_f}{V_i - V_f} \right)$$

On  $R$  és la residència de la sèrie,  $V$  és la tensió en el moment  $t$ ,  $V_i$  és la tensió inicial i  $V_f$  és la tensió aplicada o d'alimentació. A més, per a un condensador amb factor geomètric de  $F$ , la capacítància està relacionada amb la permitivitat dielèctrica ( $\epsilon$ ) del medi entre els elèctrodes de condensadors per l'equació:

$$C = \epsilon_0 \epsilon F$$

On  $\epsilon_0$  és la permitivitat de l'espai lliure. Per tant, es pot determinar la permitivitat dielèctrica del sòl ( $\epsilon$ ) mesurant el temps de canvi ( $t$ ) d'un sensor soterrat. En conseqüència, ates que l'aigua té una permitivitat dielèctrica molt més gran que els minerals del sòl o de l'aire, el temps de càrrega  $t$  al sòl de l'equació 1 es pot reaccionar amb el contingut volumètric d'aigua del sòl.

Un dels factors més importants a avaluar en seleccionar un sensor d'humitat del sòl és el volum de sòl que el sensor integra en el mesurament del contingut volumètric d'aigua (VWC). Per a moltes aplicacions de camp, un volum de mesura més gran minimitza els problemes d'heterogeneïtat i proporciona una mesura més representativa de la veritable VWC. (Group, 2017-2019)

Un dels factors més importants a avaluar en seleccionar un sensor d'humitat del sòl és el volum de sòl que el sensor integra en el mesurament del contingut volumètric d'aigua (VWC). Per a moltes aplicacions de camp, un volum de mesura més gran minimitza els

problemes d'heterogeneïtat i proporciona una mesura més representativa de la veritable VWC (GROUP, 2017-2019).

El control del volum d'aigua del sòl s'ha fet per diferents mètodes. Per a mesurar la humitat del sòl de les parcel·les s'han utilitzat un mètode mesura directa, les sondes d'humitat del sòl de METERGROUP® més concretament els sensors de tipus FDR (Frequency Domain Reflectometry, Reflectometria en el domini de la freqüència) (Devices, 2016).

Els sensors 10HS tenen una alta resolució i requereixen baixa potència, pel que fa que es puguin fer multitud de mesures i durant un llarg període de temps, amb un mínim ús de bateria. Aquesta característica és particular dels sensor 10HS, ja que permet fer mesures ràpides i precisa del contingut de l'aigua (Group, 2017-2019).

Malgrat això, per a sòls compactats de molt baixa densitat aparent, amb una composició mineral d'alt dielèctric o conductivitat elèctrica molt alta, aquest mètode de mesura del contingut volumètric del sòl és poc precisa. En aquests casos, els sensors 10HS es deuran calibrar per a cada determinat tipus de sòl, per evitar danyar l'aparell, d'aquesta manera la precisió millorarà de 1 a 2%. La calibració d'aquest tipus de sensor ve predeterminada generalment per mitjà d'una equació, per a sòls estàndard que no presenten els inconvenients anteriors (Devices, 2016).

Els sensors 10HS contenen amb una senyal analògica que permet l'ús amb sistemes fabricats per altres companyies (Group, 2017-2019).

### 3.9.2. Característiques tècniques

- Gran volum d'influència
- Alta freqüència de mesura
- Fàcil d'instal·lar
- Capacitat de plug i play amb registradors en METER
- Integració sense problemes amb registradors d'altres fabricants que utilitzen el protocol SDI-12

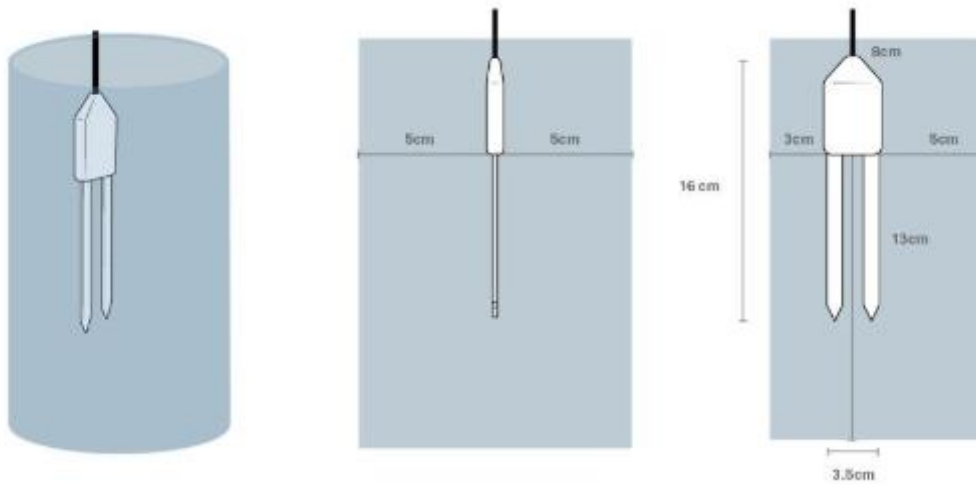


Figura 20. Volum de mesura idealitzat del sensor METER 10HS (GROUP, 2017-2019)

### 3.9.3. Especificacions tècniques del sensor 10HS

ESPECIFICACIONS DE MESURA	
Contingut d'aigua volumètric (VWC)	<p>Interval: 0–0,57 m<sup>3</sup> / m<sup>3</sup> (0% –57% VWC)</p> <p>Resolució: 0,0008 m<sup>3</sup> / m<sup>3</sup> (0,08% VWC) en sòls minerals de 0–0,50 m<sup>3</sup> / m<sup>3</sup> (0% –50% VWC)</p> <p>Precisió: Amb l'equació de calibració estàndard, 0,03 m<sup>3</sup> / m<sup>3</sup> (3% VWC) típica en sòls minerals que tenen una conductivitat elèctrica de solució &lt;10 dS / m</p>
ESPECIFICACIONS DE COMUNICACIÓ	
Sortida	300–1,250 mV, independent de la tensió d'excitació
Compatibilitat del registrador de dades	Registradors de dades METER o qualsevol sistema d'adquisició de dades capaç d'activar l'excitació de 3–15 VDC i la mesura de tensió d'una sola extrem a una resolució igual o superior a 12 bits.
ESPECIFICACIONS FÍSiques	
Dimensions	<p>Longitud: 16,0 cm (6,3 polzades)</p> <p>Ample: 3,3 cm (1,3 in)</p> <p>Alçada: 0,8 cm (0,3 polzades)</p>
Longitud de la punta	10 cm (3,94 in)
Interval de temperatura de funcionament	<p>Mínim: -40 ° C</p> <p>Típic: NA</p> <p>Màxim: 50 ° C</p>
Longitud del cable	<p>5 m (estàndard)</p> <p>40m (màxima longitud de cable personalitzada)</p>
Tipus de connector	Connector estèreo de 3,5 mm o cables despullats i enllaunats

CARACTERÍSTIQUES ELÈCTRIQUES I DE TEMPS	
Tensió d'alimentació (VIN a GND)	Mínim: 3 VDC a 12 mA
	Típic: NA
	Màxim: 15 VDC a 15 mA
Durada de la mesura	Màxim 10 ms

Taula 4. Especificacions dels sensors 10HS. (Group, 2017-2019)

Els sensors es col·loquen a diferents profunditats, normalment a a 20, 40 i 60 cm. Gràcies a la presència dels sensors en les distintes profunditats, es permet conèixer la velocitat a la qual l'aigua es percola, ja que depenen de la textura del sòl (argilosa o arenosa) ho farà a una rapidesa o a un altra. A partir de les gràfiques que es formen es pot determinar la profunditat a la qual les arrels prenen l'aigua.

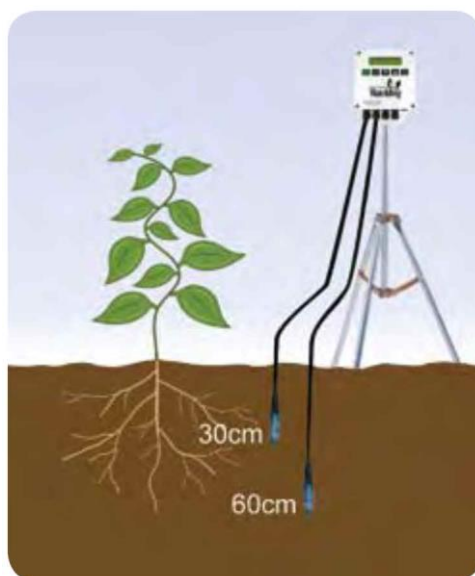
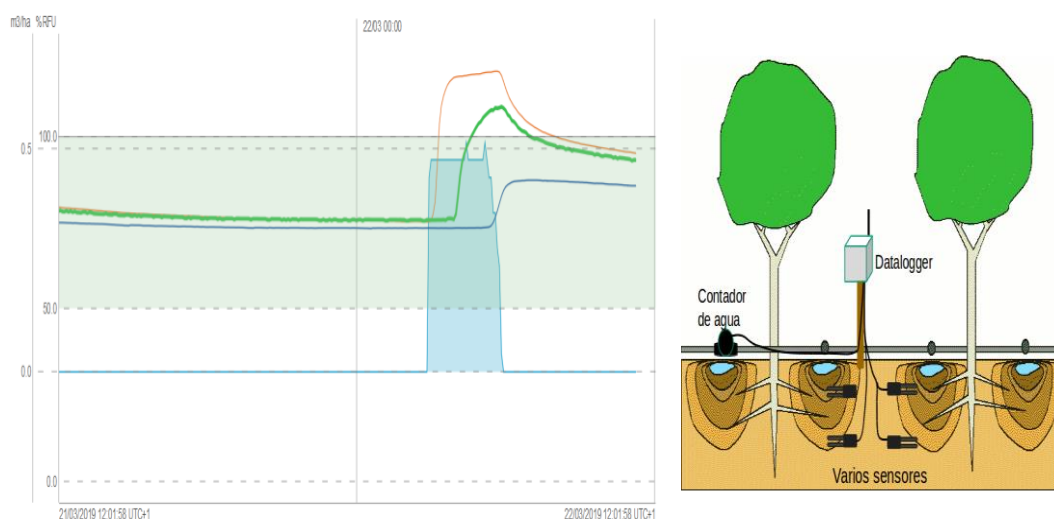


Figura 21. Sensors col·locats a diferents profunditats

### 3.9.4. Tendències model

Els sensors de contingut volumètric d'aigua mesuren la quantitat d'aigua que es troba al voltant del sensor, aquesta depèn del estat d'hidratació del sòl, del tipus de sòl en el que es troba el sensor, ja que cada sòl presenta característiques diferents de retenció d'aigua, i del grau de compactació dels sòl, presència d'arrels, macroporós i pedres. Els sensors mesuren la quantitat d'aigua en  $m^3$  per  $m^3$  de sòl.

Les dades recollides pel sensors es reflexa en gràfiques en les que es poden diferenciar fàcilment, el punt de saturació durant el reg, la posterior redistribució de l'aigua pel sòl i l'absorció per les arrels. El valor mínim diari vindrà donat pel moment més sec de cada dia i com aquest evoluciona al llarg dels dies. Quan el valor mínim diari augmenta es degut a un reg per damunt dels requeriments del cultiu, mentre que quan el valor mínim és inferior es provocat per un reg insuficient per satisfer les necessitats de la planta. Els sensors utilitzats són els 10HS en totes les finques cas estudi, però tots utilitzen el mateix Software com es pot apreciar en les gràfiques. En la figura inferior es mostra un exemple en el que compren un període d'un dia, on s'observen les següents parts:



- El doble eix vertical representa, per un costat, els  $m^3/ha$  consumits, aquest gràfic és mòbil i dependent del període a mostrar (l'eix horitzontal també és mòbil), i per un altre costat, el valor en percentatge de la Reserva Fàcilment Utilitzable (RFU).
- La franja acolorida de verd correspon al percentatge de la RFU, que representa la meitat superior de la diferencia entre la Capacitat de Camp (CC) i el Punt de Marciment (PM). Açò significa que estar al 100% de la RFU, és estar aproximadament a Capacitat de Camp (CC). Dins d'aquesta franja, la capacitat d'extracció de l'aigua per part dels cítrics és senzilla, representa una zona optima de confort.

Les diferents línies representen el comportament de cadascun dels sensors davant l'arribada del flux d'aigua (la línia blava clara emplenada de blau clar també, correspon a les dades recollides pel cabalímetre  $m^3/ha$ ). En concret, la línia taronja representa el sensor situat a 20 cm en el bulb, la línia verda el sensor a 40 cm i el blau fosc a 60 cm. Es pot veure que l'ordre de resposta dels mateixos és l'esperat, primer reacciona el

sensor més superficial, després l'intermig fins arribar al més profund; aquesta reacció davant el flux d'aigua depèn de diversos factors entre ells: el tipus de sòl, la profunditat aproximada d'extracció per part de les arrels, etc.



Figura 22. Gràfica del Software B.

En la figura superior es mostra un exemple d'un període d'un dia, on s'observen les següents parts. L'eix vertical representa el percentatge del Contingut Volumètric d'Aigua (%CVA o %VWC). Aquest es manté sense variacions a no ser que hi hagen fluctuacions molt acusades en les dades.

- L'eix horitzontal representa el temps, el qual es s'ajusta en relació a la quantitat de dies que interessa estudiar (un dia, un mes, un any, etc.)
- Les barres de color blau mostren el volum d'aigua, en litres, que ha passat a través del cabalímetre que hi ha incorporat al punt de monitorització de la humitat. Cada barra correspon a mig hora.
- Les diferents corbes representen el comportament de cadascun dels sensors davant l'arribada del flux d'aigua. La corba verda representa el sensor situat a 15-20 cm en el bulb; la línia verd intermedia correspon al sensor situat a 35-40 cm i la verda fosca a 55-60 cm de profunditat. La reacció davant el flux d'aigua dependrà de diversos factors, entre ells: el tipus de sòl, profunditat aproximada d'extracció per part de les arrels, etc. Com es pot observar en la gràfica, el sensor més superficial (15-20 cm) és el primer en rebre la humitat produïda pel reg, seguidament el sensor entremig rebrà més l'aigua que ha percolat a través del sòl. L'últim sensor en rebre el volum d'aigua del reg serà el que es troba situat a major profunditat.

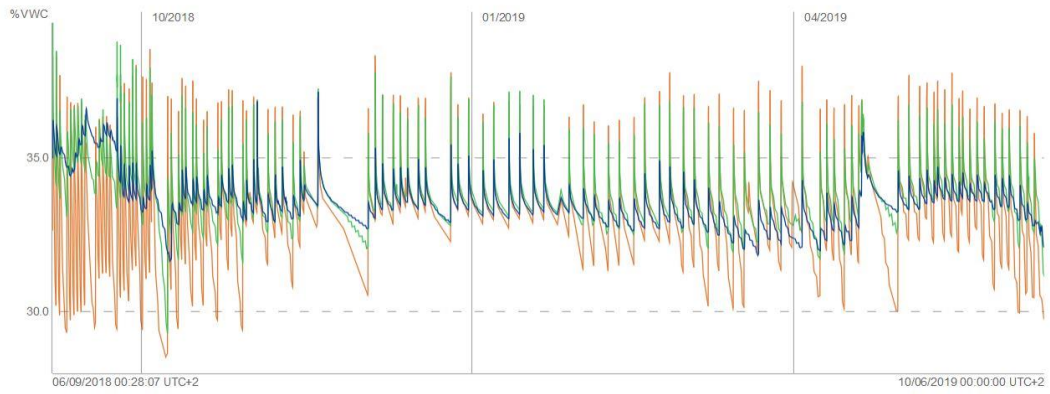


L'ús recomanat dels sensors consisteix en monitoritzar com evoluciona la humitat del sòl a mesura que avança la campanya de reg. Es pren com a referència per a la presa de decisions el valor mínim diari, si els sensors ofereixen indicis després de diversos dies de que el sòl s'està eixugant, s'augmentarà la dosi de reg, mentre que si ofereixen indicis de que el cultiu no consumeix tota l'aigua que se li aporta, es reduirà lleugerament la dosi de reg.

### **3.9.5. Ús dels sensors**

Una vegada calculades, a partir del PARLoc, les dosis de reg per a la següent setmana, s'analitza l'estat hídric del sòl a diferents profunditats i es modifiquen les dosis de reg necessàries per mantenir un estat òptim d'humitat. Així doncs, quan la humitat és elevada es redueixen les dosis de reg i quan és excessivament baixa, s'incrementa. D'aquesta manera, s'aconsegueix mantenir el bulb d'aigua en condicions constants i adequades.

# RESULTATS



## 4. RESULTATS

En aquest apartat es mostren les característiques principals de cadascuna de les finques seleccionades per al present TFG, amb l'objectiu d'analitzar i interpretar els resultats de les dades arreplegades durant el període de seguiment.

Com ja es va explicar a Material i Mètodes, la parcel·la "Blanc" fa referència a la parcel·la que manté les condicions de reg habituals, mentre que a la parcel·la "Nou" el reg intenta adaptar-se a les recomanacions fetes pels tècnics del projecte, en la mesura del que siga possible. Al sector "Nou" s'ha instal·lat un punt de seguiment de la humitat, que consta de 3 sensors soterrats a diferents profunditats.

#### 4.1. Finques participants

Per raons de confidencialitat de les dades pertanyents a les finques cas d'estudi, d'ara endavant les nomenarem com Finca A, B, C, D i E, respectivament.

Per la mateixa raó, la ubicació de les finques es mostra de manera aproximada en la Figura 23. Les finques estudiades es troben dins dels cercle marcats en el mapa.

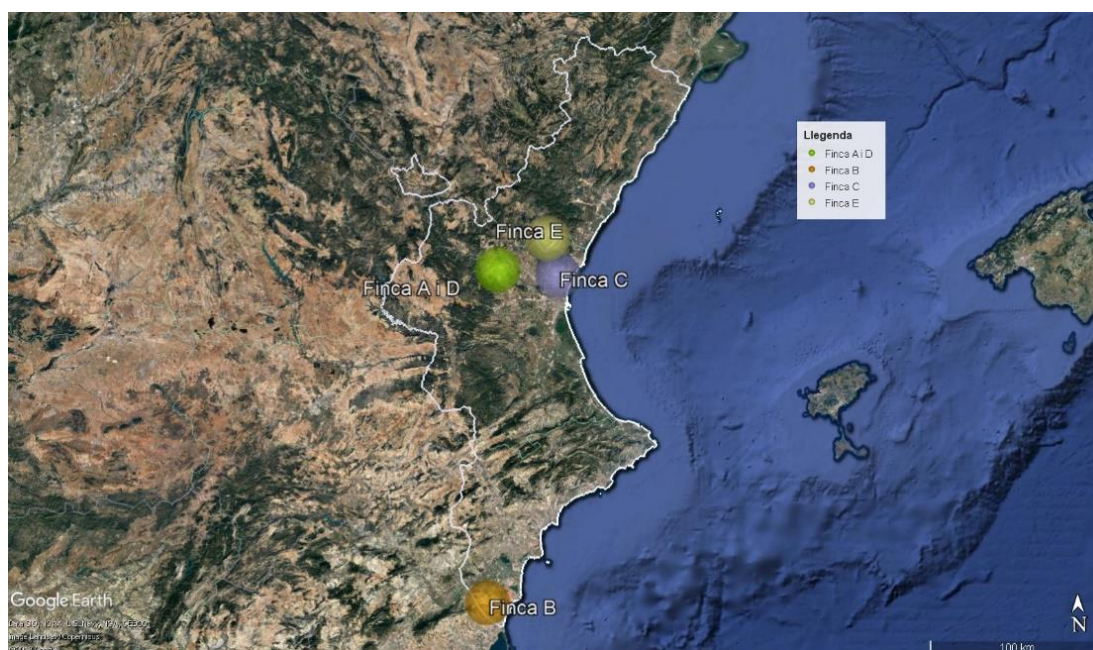


Figura 23. Mapa de la ubicació aproximada de les finques controlades.

A continuació, i per cadascuna de les finques, s'exposen les característiques agronòmiques, les gràfiques i les taules corresponents a les dades arreplegades durant el període de seguiment.

Pel que fa a les taules del seguiment, mostren el volum d'aigua acumulat regat en cadascuna dels sectors de cas estudi, "Nou" i "Blanc", amb les seues dates corresponents a la mesura d'aquest volum. A més del reg de referència, aquest correspon als volums d'aigua recomanats pel PARLoc, i el reg de referència acumulat.

Les gràfiques de seguiment i la taula de dades corresponent, mostren, a l'eix de les ordenades (eix de les y), els m<sup>3</sup>/ha acumulats que s'han anat subministrat al llarg del període de control (eix de les x). Com es pot veure a la Figura 24, es distingeixen tres corbes, el reg del "Blanc", el reg del "Nou" i el reg de referència, aquest últim és el reg recomanat cada setmana pels tècnics que realitzen aquest projecte amb l'objectiu d'estalviar aigua.

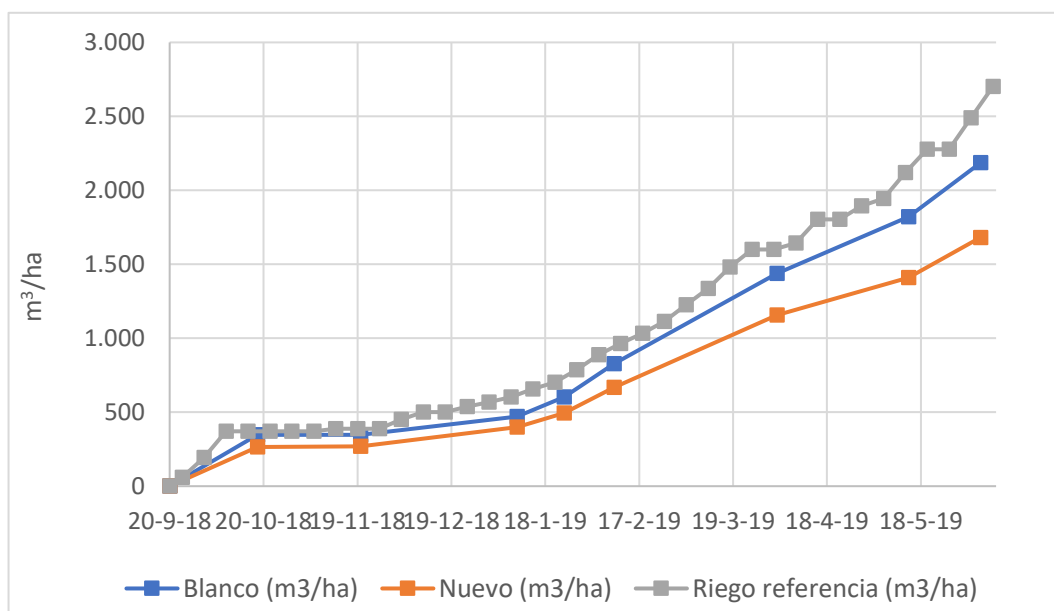


Figura 24. Model de gràfica de volum d'aigua de reg en les parcel·les i reg de referència.

Les gràfiques que mostren els punts de monitorització de la humitat del sòl es mostraran i s'explicaran de forma particular per a cada finca, degut a la variabilitat del software emprat per cada proveïdor.

## 4.2. Resultats obtinguts en la FINCA A

### 4.2.1. Context agronòmic

Aquesta parcel·la, situada en el terme municipal de Bugarra (Valencia), compta amb una superfície total de 3,29 ha, de les quals 1,56 ha han sigut controlades en el “Blanc” i 1,73 ha per al “Nou”.

La varietat cultivada és la *Satsuma* (Mandarina). És una varietat tardana, segons el IVIA es recol·lecta de finals d’abril a la segona setmana de juny.

L’aigua subministrada per al reg prové de la Comunitat de Regants Pou San Juan Bugarra. El marc de plantació és 4 m entre arbres y 6 m entre carrers amb un total de 24,56 m<sup>2</sup>, amb un total de 411 arbres per hectàrea. El diàmetre de copa tingut en compte és de 2,51 m. Es tracten de copes aïllades, és a dir, la seua massa vegetal no es solapa en la dels arbres contigus.

El cabal teòric de les mànegues de goteig, les quals tenen emissors integrats autocompensants i antidrenants, és de 4 L/h, amb una separació entre emissors de 100 cm i amb dos línies per cada tira d’arbres. Tenint en compte totes les dades anteriors, podem establir que el cabal mitjà per planta serà de 32,6 L/h (Taula 5).

L’anàlisi de sòl de que es disposa reflexa que al punt on es va prendre la mostra, la textura és franca. Aquesta informació, encara que no té perquè ser representativa en la totalitat de la superfície, es prendrà com referència quan estudiem la tendència del flux d’aigua a les gràfiques dels sensors.

	<b>Blanc</b>	<b>Nou</b>
Superfície monitoritzada (ha)	1,56	1,73
Marc de plantació (m)	6x4	6x4
Diàmetre de copa (m)	2,51	2,51
Tipus d'emissor	Integrat	Integrat
Cabal nominal (L/h)	4	4
Distància entre emissors (cm)	100	100
Tipo sensor	-	10HS
Nº sensors per punt	-	3
Profunditat sensors (cm)	-	20-40-60
Profunditat estimada zona extracció (cm)	40	40
Textura del sòl	Franca	Franca

Taula 5. Característiques de les parcel·les de la finca A.

#### 4.2.2. Estudi dels perfils de humitat

La Figura 25 representa les variacions d'humitat en els tres sensors situats a 15 cm (P1), 35 cm (P2) y 55 cm (P3) de profunditat, respectivament. També es mostra el volum d'aigua subministrat pel reg (barres blaves) durant el període de juliol de 2018 a juny de 2019.

La freqüència del reg ha sigut major els primers mesos d'aquest període, ja que corresponen amb els mesos d'estiu. Durant aproximadament un mes, d'octubre a novembre, no s'hi ha aplicat reg, degut a un període de pluges. És a partir d'aquest quan la freqüència del reg és més especiat i torna a ser més freqüent a partir de la segona setmana de maig després d'un període de precipitacions. El volum d'aigua utilitzat al llarg de tot aquest període és pràcticament constant.

Pel que fa al seguiment de les corbes d'humitat, les verdes clares (P3) pertanyen al sensor més superficial el qual és el primer en detectar la presència de l'aigua. Els valors màxims arriben a assolir el 37% d'humitat, encara que en poques hores decreix fins valors base de l'ordre del 30%, que coincideix amb els valors de capacitat de camp. Quan la humitat en aquest nivell arriba al 28%, sense que s'haja aconseguit el punt de marciment, es torna a regar per mantenir aquest nivell d'humitat. En el sensor més profund (P1), situat a 55 cm, els valors són sensiblement inferiors, entre el 20% i el 28%, el que reflexa que el sòl és prou argilós i no afavoreix la percolació. El sensor P2, situat en posició intermedi, mostra un comportament similar, amb valors d'humitat intermedis.

La Figura 26 mostra amb major detall les variacions d'humitat en la segona quinzena de maig i en la primera de juny de 2019.

És sorprenent que l'aplicació de l'aigua de reg redueix un descens quasi immediat en els tres sensors, sense a penes desfas en l'avanç del front d'humectació. El sensor P1, a 55 cm de profunditat registra l'ascens més notable, ja que partia de valors d'humitat més baixos. Açò s'interpreta parcialment com degut a una gran capacitat de retenció d'aigua en els nivells superiors, com conseqüència del caràcter argilós. Aquesta qualitat permet reduir les dosis de reg perquè el terreny afavoreix la seua permanència en la zona radicular. No obstant això, el gran descens de la humitat en el nivell inferior fa pensar en que l'absorció radicular siga molt efectiva en la part inferior del bulb que, per tant requereix una adequada reposició de l'aigua.

Pel que fa al volum d'aigua subministrat durant aquest mes de maig/juny s'ha regat amb el mateix volum d'aigua i amb la mateixa freqüència, a excepció del període de pluges del mes de maig en el que no s'hi ha subministrat aigua.

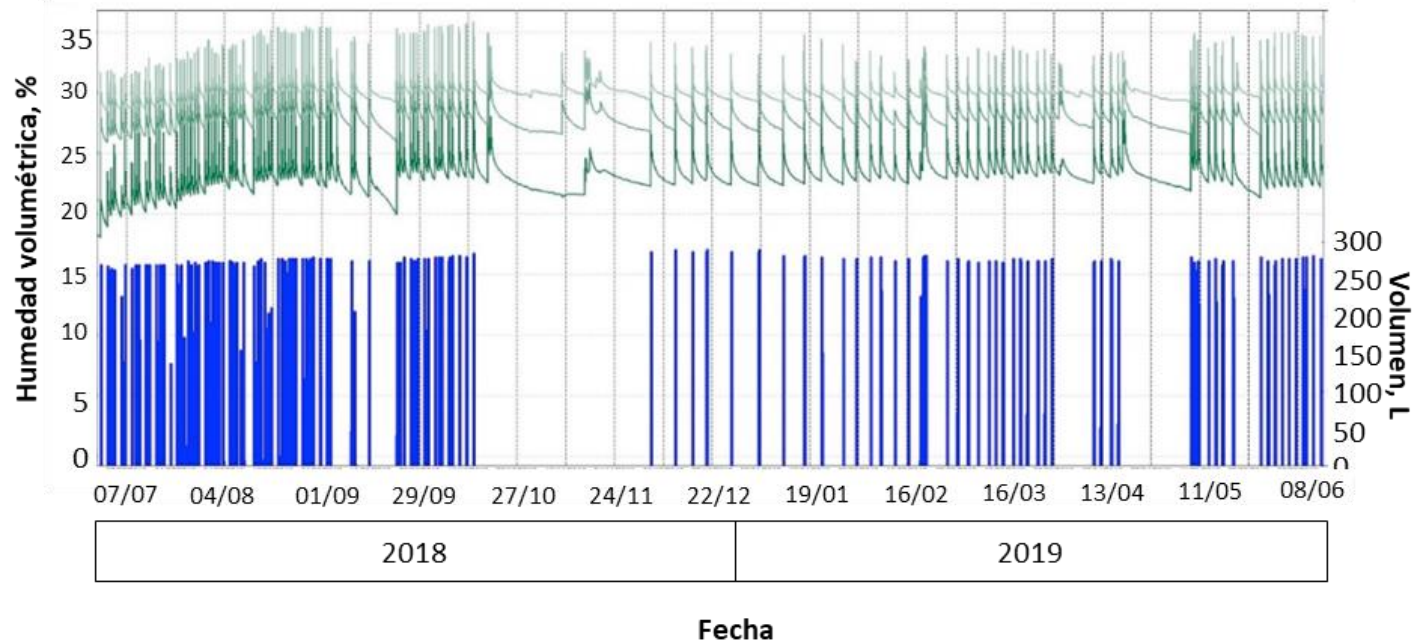


Figura 25. Evolució anual de la humitat volumètrica en els sensors de la finca A.

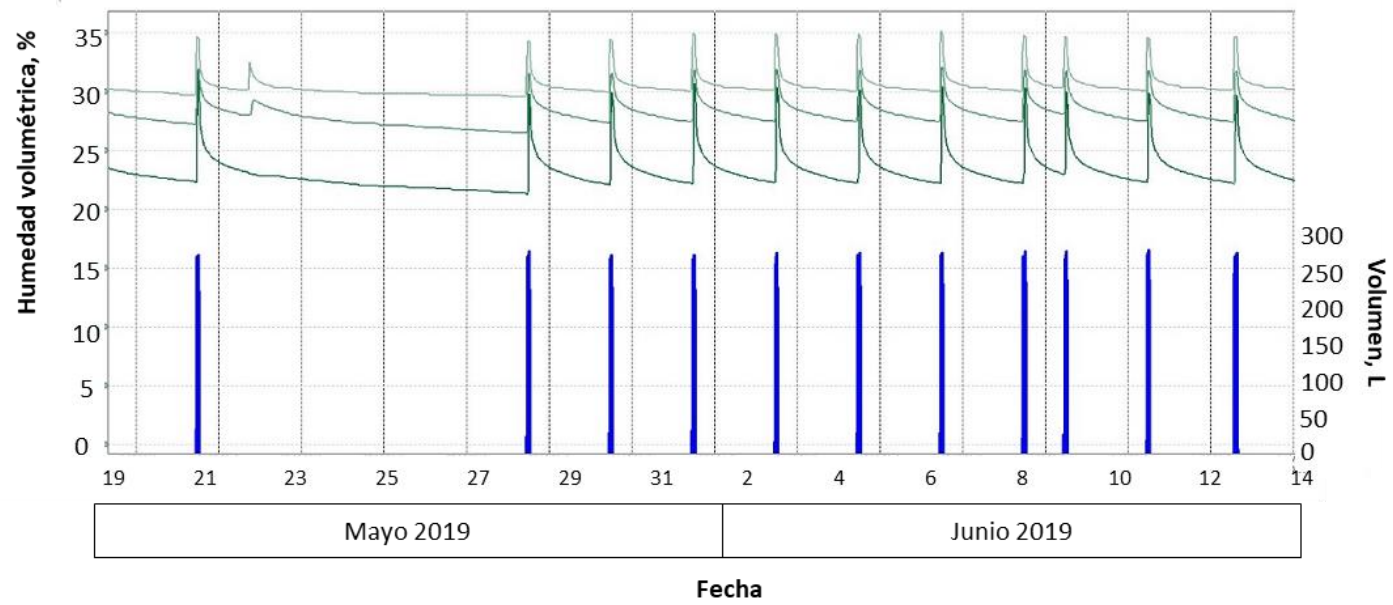




Figura 26. Evolució en maig i juny de la humitat volumètrica en els sensors de la finca A.



### 4.2.3. Confecció del PARLoc

Amb les característiques anteriorment esmenades, s'emplena el formulari PARLoc de la Finca A (Figura 27), que ha estat matisada amb la interpretació de les dades dels sensors per aconseguir, en la mesura del possible, no superar la capacitat de camp i aixina evitar la percolació profunda.





instituto valenciano  
de investigaciones agrarias

v1.6

#### PROGRAMA DE ASESORAMIENTO EN RIEGO LOCALIZADO (PARLoc)

Año: 2019
Información al: Domingo
Duración riego (hor): 2,0

Riego: Otros
 Usar Precipitación
Hemisferio: Norte

<b>Propietario:</b> FINCA A	<b>Parcela:</b> Nuevo
<b>Cultivo:</b> Cítricos	<b>Estación:</b> 46 Pedralba
<b>Marco plantación:</b> 24,4 m <sup>2</sup>	<b>Área sombreada, As:</b> 4,9 m <sup>2</sup>
<b>Diámetro copa:</b> 2,51 m	<b>Porcentaje área sombreada, P/:</b> 20,3 %
<b>Caudal medio por planta Q:</b> 32,6 l/h	<b>Kc medio:</b> 0,340
<b>Pérdidas estimadas:</b> 10,0 %	<b>Constante de la instalación, Ci:</b> 0,821
	<b>Factor precip. efectiva, Fpe:</b> 0,254

PROGRAMACIÓN ANUAL ORIENTATIVA								Tiempo de riego		Núm. riegos/ semana	
%	Mes	ETo l/m <sup>2</sup>	Kc	ETc	P efec l/m <sup>2</sup>	ETc apl l/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /ha	Riego l/planta	hh:mm mes		hh:mm semana
100	Enero	44	0,33	14,3	7,4	7,6	76	186	06:15	01:20	1
100	Febrero	50	0,32	16,3	8,5	8,6	86	209	07:00	01:45	1
100	Marzo	88	0,33	29,0	11,6	19,1	191	465	15:35	03:30	2
100	Abril	108	0,31	33,6	13,8	21,8	218	530	17:50	04:05	2
100	Mayo	134	0,27	36,9	16,9	22,1	221	537	18:05	04:05	2
100	Junio	162	0,31	50,0	5,7	48,8	488	1.189	40:00	09:20	5
100	Julio	171	0,34	58,0	3,2	60,3	603	1.470	49:30	11:10	6
100	Agosto	149	0,39	58,7	3,6	60,7	607	1.478	49:45	11:10	6
100	Septiembre	101	0,37	37,4	14,5	25,2	252	614	20:40	04:45	2
100	Octubre	71	0,42	29,9	21,6	9,1	91	222	07:25	01:40	1
100	Noviembre	46	0,36	16,6	8,2	9,2	92	225	07:30	01:45	1
100	Diciembre	40	0,31	12,7	10,3	2,7	27	66	02:10	00:25	0
%	Año	1.164	0,34	393,5	125	295,1	2.951	7.190	242:15		

**LEYENDA DE COLUMNAS**

- %: porcentaje necesidades que se desea aplicar. Si no hay restricciones aplicar el 100%
- ETo (l/m<sup>2</sup>): evapotranspiracion de referencia
- Kc: coeficiente de cultivo
- ETc (l/m<sup>2</sup>): necesidades de agua = ETo x Kc
- ETc loc (l/m<sup>2</sup>): necesidades con riego localizado
- N net (l/planta): (ETc loc - pérdidas) x marco plantacion
- Pef (l/m<sup>2</sup>): P util (lluvia util) x Fpe
- ETc apl (l/m<sup>2</sup>): ETc loc - Pef
- m<sup>3</sup>/ha: ETc apl x 10
- Riego l/planta: ETc apl x marco plantacion
- Tiempo riego mensual (hh:mm): Riego / Qm
- Tiempo riego semanal (hh:mm): Tiempo riego mensual / n° semanas del mes
- Numero riegos/ semana: Tiempo riego semanal / Duracion riego (horas) [orientativo]

Figura 27. PARLoc anual de la finca A.

#### 4.2.4. Resultats del seguiment

La Taula 6 presenta el volum d'aigua acumulada en les columnes del "Blanc" i el "Nou", la qual ha sigut controlada gràcies als comptadors instal·lats en la parcel·la. Aquest volum d'aigua ha sigut mesurat mensualment des de la primera setmana d'agost de 2018 fins a la primera de juny d'aquest any. Per un altra part, mostra el reg de referència, és a dir, el volum d'aigua per hectàrea que ha sigut recomanat pels tècnics del projecte.

<b>Data</b>	<b>Blanc (m<sup>3</sup>/ha)</b>	<b>Nou (m<sup>3</sup>/ha)</b>	<b>Reg de referència (m<sup>3</sup>/ha)</b>
<b>3-8-18</b>	0,00	0,00	0,00
<b>14-9-18</b>	868,19	693,70	711,64
<b>2-10-18</b>	1145,85	927,63	810,64
<b>18-10-18</b>	1389,61	1150,58	904,13
<b>8-11-18</b>	1389,61	1150,58	915,67
<b>14-12-18</b>	1442,72	1200,25	988,74
<b>14-1-19</b>	1603,30	1323,28	1091,81
<b>8-2-19</b>	1760,05	1468,26	1238,27
<b>14-2-19</b>	1786,28	1477,50	1282,83
<b>14-3-19</b>	2038,99	1890,49	1497,13
<b>2-4-19</b>	2221,33	2063,19	1719,29
<b>13-5-19</b>	2413,91	2231,27	2060,46
<b>6-6-19</b>	2639,11	2449,03	2296,94

*Taula 6. Dades de la gràfica de seguiment en la finca A.*

En la Figura 28 es mostren les corbes del volum d'aigua acumulat en les parcel·les "Blanc" i "Nou" durant el període d'agost de 2018 a maig de 2019, i es compara amb el reg de referència, que és el que ha sigut recomanat pels tècnics del projecte.

Els valors de reg acumulats en els dos sectors són majors que el reg de referència. Açò es deu a que en el període de pluges de setembre les recomanacions dels tècnics del projecte van ser al voltant de 0 per considerar que les pluges havien sigut de la intensitat suficient per mantenir els valors d'humitat en un rang adequat. No obstant això, els tècnics de la finca van decidí continuar cautelarment els regs sense apreciar els efectes de la pluja. A partir d'octubre la tendència de les corbes es torna sensiblement paral·lela, pel que no torna a hi haver discrepància entre els tècnics del projecte dels de la finca.

El reg de referència acumulat ha sigut de 2296,94 m<sup>3</sup>/ha, mentre que el reg real supera aquesta xifra, tant en la parcel·la "Blanc"(2639,11 m<sup>3</sup>/ha) com en la parcel·la "Nou" (2449,03 m<sup>3</sup>/ha). En qualsevol cas, es registra un estalvi d'aigua en la parcel·la "Nou"

respecte al “Blanc”, de l'ordre de 190,08 m<sup>3</sup>/ha, el que representa un estalvi percentual del 7,2%.

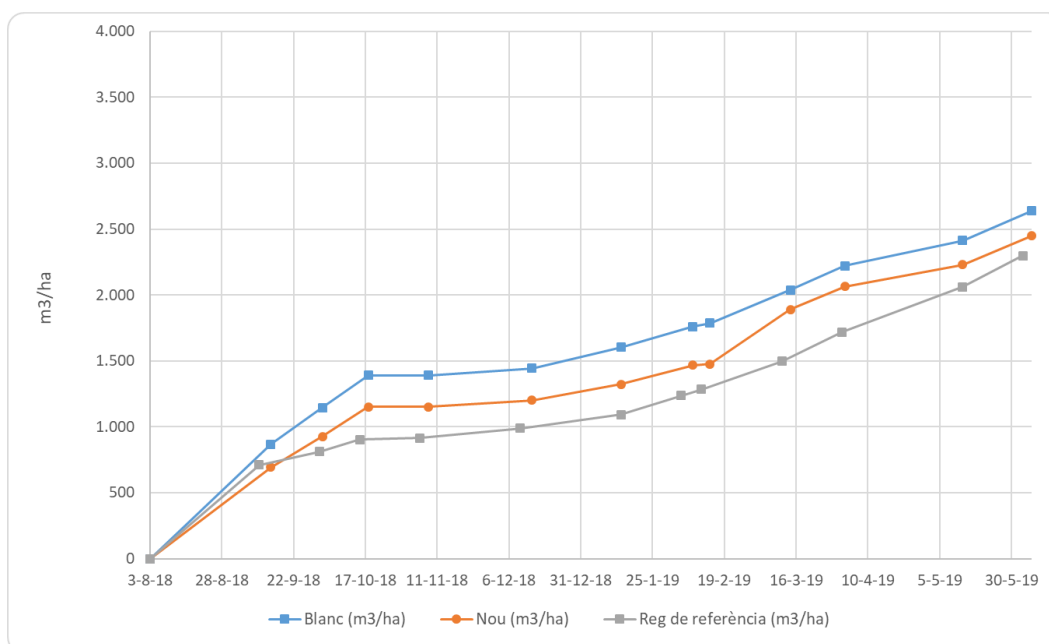


Figura 28. Volums acumulats en las parcel·les de l finca A, i reg de referència.

### 4.3. Resultats obtinguts en la FINCA B

#### 4.3.1. Context agronòmic

Aquesta finca, localitzada en el terme municipal de Orihuela (Alacant), té una superfície total de 51,4 ha, de les quals 0,88 ha són emprades pel sector “Blanc” i 1,44 ha pel “Nou”.

Les varietats de mandarines cultivades són *Queen*. La recol·lecció d'aquesta varietat té lloc entre els mesos de gener i març; aquest any la recol·lecció en el sector “Blanc” ha sigut major que en la del sector “Nou”.

L'aigua que es utilitza per als cultius d'aquestes parcel·les es subministrada per un pou situat en les rodalies de la finca. El consum d'aigua en altres campanyes és conegut, 3420,7 m<sup>3</sup>/ha, dada important per a fer comparacions en l'estalvi d'aigua.

El marc de plantació és 5 m entre arbres y 6 m entre carrers amb un total de 30,4 m<sup>2</sup> i 329 arbres per hectàrea.

El diàmetre de copa utilitzat en el PARLoc és de 2,66 m. Les copes són masses vegetals discontinues amb copes aïllades.

Pel que fa als goters, no hi hagut canvi de gomes, mantenint-se els goters punxants amb un cabal nominal de 4 L/h i un cabal mitjà per planta de 17,02 L/h. Aquesta dada es teòrica, ja que aquest tipus de goters tenen les sortides d'aigua distribuïdes de manera irregular, la distància aproximada de separació dels emissors és de 103 cm (Taula 7. Característiques de les parcel·les de la finca B. Taula 7).

Tots els sectors presenten el mateix tipus de textura del sòl, franc-arenosa, per la qual cosa no hi hauran variacions importants en la retenció de l'aigua al sòl. Aquesta informació, encara que no té perquè ser representativa de la totalitat de la superfície, es prendrà com referència quan estudiem la tendència del flux d'aigua a les gràfiques dels sensors.

	<b>Blanc</b>	<b>Nou</b>
<b>Superfície monitoritzada (ha)</b>	0,88	1,44
<b>Marc de plantació (m)</b>	5x6	5x6
<b>Diàmetre de copa (m)</b>	2,66	2,66
<b>Tipus d'emissor</b>	Punxat	Punxat
<b>Cabal nominal (L/h)</b>		4
<b>Distància entre emissors (cm)</b>	103	103
<b>Tipo sensor</b>	-	10HS
<b>Nº sensors per punt</b>	-	3
<b>Profunditat sensors (cm)</b>	-	20-40-60
<b>Profunditat estimada zona extracció (cm)</b>	40	
<b>Textura del sòl</b>	Franc arenosa	Franc arenosa

*Taula 7. Característiques de les parcel·les de la finca B.*

#### **4.3.2. Estudi del perfil de humitat**

La Figura 29 mostra les variacions d'humitat durant el període de temps de setembre de 2018 a Juny de 2019. Es pot observar com el sensor situat a més profunditat manté el seu percentatge de VWC al voltant de 34-35% sense grans canvis, pel que l'aigua queda parcialment retinguda. Per un altra banda, els sensors més superficials, segueixen tendències semblants, és a dir, són sensibles en tot moment a la presència d'aigua, i a més 'aigua que passa a través d'ells es ràpidament infiltrada pel que queda poca aigua retinguda, variant un 10% aproximadament el seu percentatge VWC del màxim al mínim.

La Figura 30 representa amb major detall la variació de les corbes d'humitat durant la segona quinzena de maig i primera de juny de 2019. Com es pot apreciar en la gràfica el sensor situat a 20 cm de profunditat és el primer en reaccionar als regs proporcionats, assolint tots en tots els casos valors superiors al 100% a la RFU, és a dir, superiors a la capacitat de camp. El front d'humitat descendeix ràpidament el que provoca l'augment d'humitat en els nivells inferiors i el progressiu descens en la mateixa superfície. El perfil típic abans dels regs és de sequedat en superfície i nivells pareguts a les profunditats de 40 cm i 60 cm. Quan s'intensifiquen els regs (final d'aquest període) el perfil és distint i els majors rangs d'humitat es mantenen a nivells superiors.

Aquest es possible que es troba en un sòl arenós degut a la seua rapidesa per infiltrar-se, ja que passa d'un alt contingut en aigua a un més baix en poc de temps. Ocorre semblant, encara que un poc menys, en el sensor situat a 40 cm. Per una altra banda, el sensor situat a major profunditat presenta certa retenció d'aigua, aquest fet es pot diferenciar amb les altres dues corbes degut a que la seua pendent és menys pronunciada que en els casos anteriors. Malgrat això, en aquest mes el percentatge de VWC en el sòl en aquest sensors disminueix d'un 34% a un 28%.

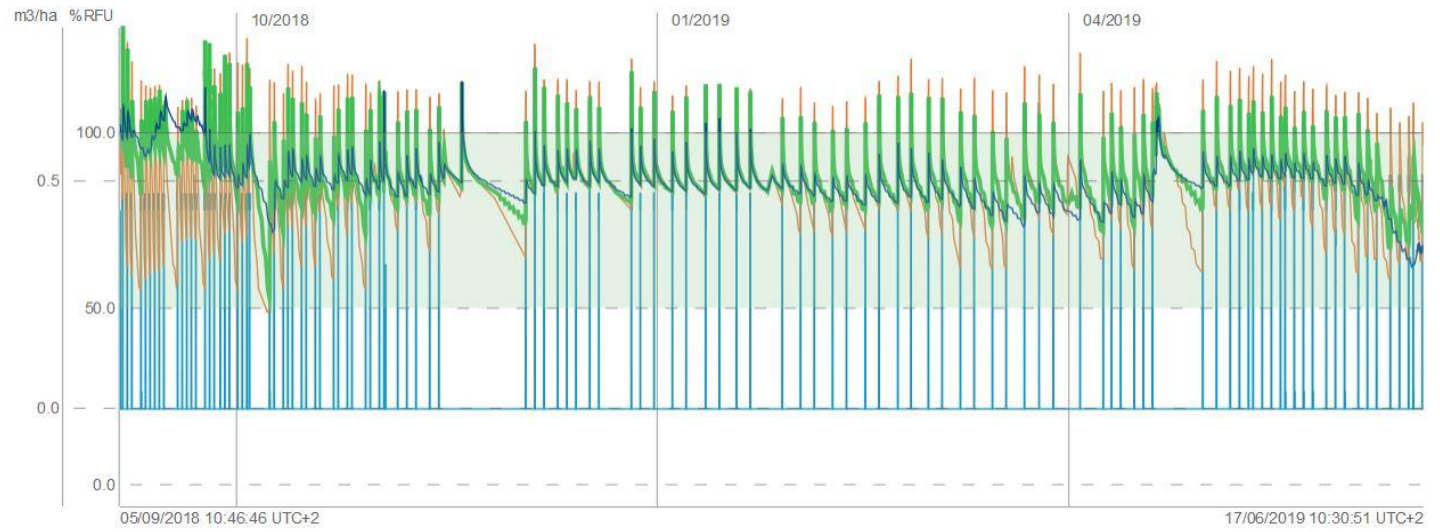


Figura 29. Evolució anual de la humitat volumètrica en els sensors de la finca B.



Figura 30. Evolució en maig i juny de la humitat volumètrica en els sensors de la finca B.

### 4.3.3. Confecció del PARLoc

Gràcies a les característiques nomenades anteriorment se confecciona el PARLoc corresponents a la Figura 31. Per a les recomanacions setmanals els valors del PARLoc matisen amb les apreciacions extretes de les sondes d'humitat.

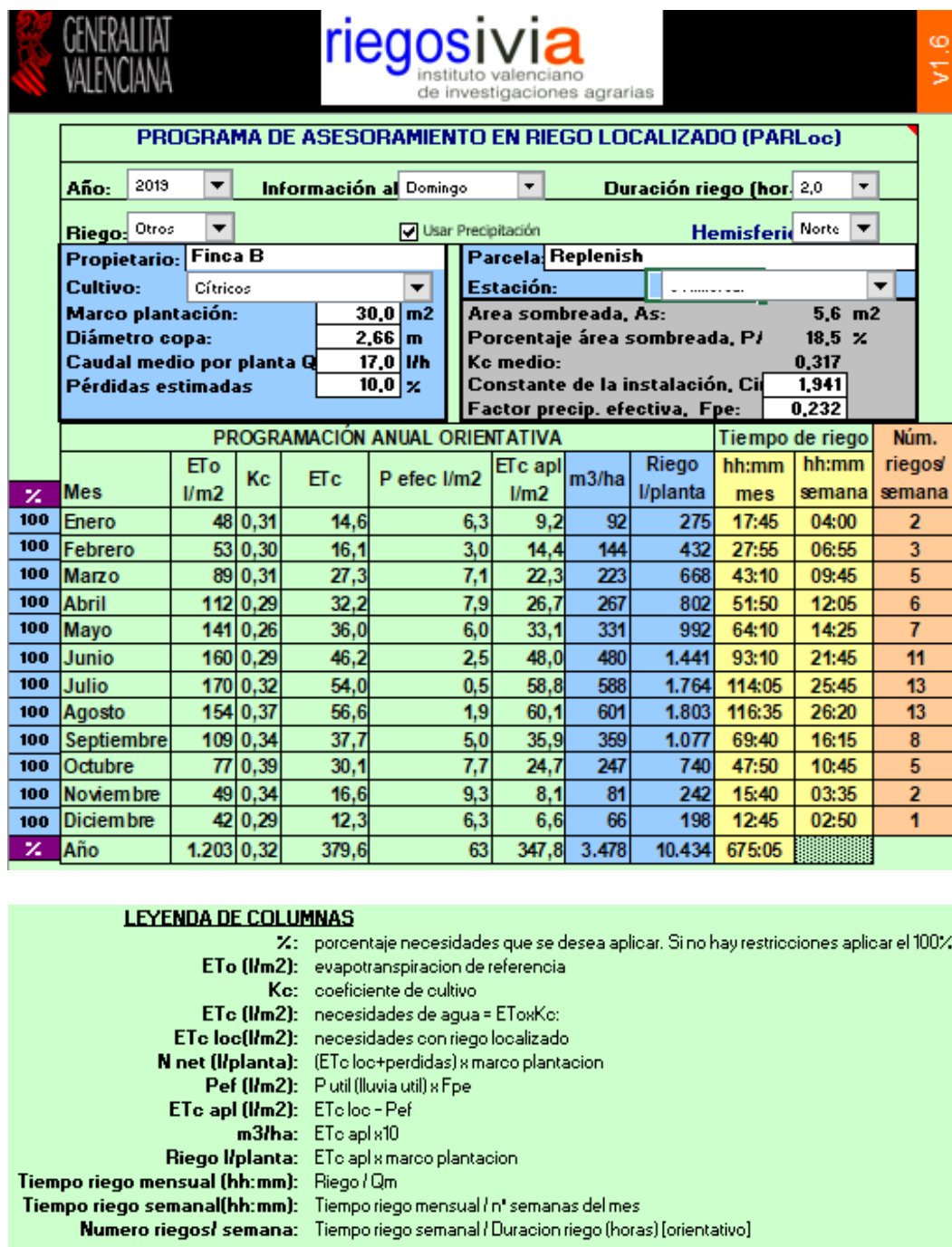


Figura 31. PARLoc anual en la Finca B.



#### 4.3.4. Resultats del seguiment

Els valors acumulats del reg en la parcel·la “Blanc” y en la parcel·la “Nou” es mostren en la Taula 8, on també s’indiquen els regs de referència.

Data	Blanc (m <sup>3</sup> /ha)	Nou (m <sup>3</sup> /ha)	Reg de referència (m <sup>3</sup> /ha)
18-9-18	0	0	0
3-10-18	452,96	309,97	178,67
15-10-18	653,51	373,67	311,86
2-11-18	942,54	373,67	449,99
26-11-18	1074,00	535,77	494,86
18-12-18	1260,57	719,71	593,19
8-1-19	1405,19	863,32	675,74
25-1-19	1538,87	996,88	791,61
25-2-19	1770,30	1253,35	988,62
12-3-19	1883,14	1356,93	1119,06
4-4-19	2031,64	1501,29	1269,81
10-5-19	2365,46	1829,38	1582,72
4-6-19	2745,66	2284,78	1961,71

Taula 8. Dades de la gràfica de seguiment en la finca B.

Durant el primer mes, les corbes del “Blanc” i del reg de referència són semblants, amb un petit desfàs en el “Nou”, que ha pogut ser ocasionat per diferències en el sistema de reg. El distanciament del reg de referència que s’aprecia a principis de setembre, coincideix amb un període de pluges en el qual les recomanacions de los tècnics del projecte van ser al voltant de 0 por considerar que les pluges havien sigut de la intensitat suficient per mantenir els valors d’humitat en u rang adequat. No obstant això, els tècnics de la finca van decidir continuar cautelarment els regs sense apreciar els efectes de la pluja. A partir d’octubre la tendència de la corba és pareguda a la de referència (Figura 32).

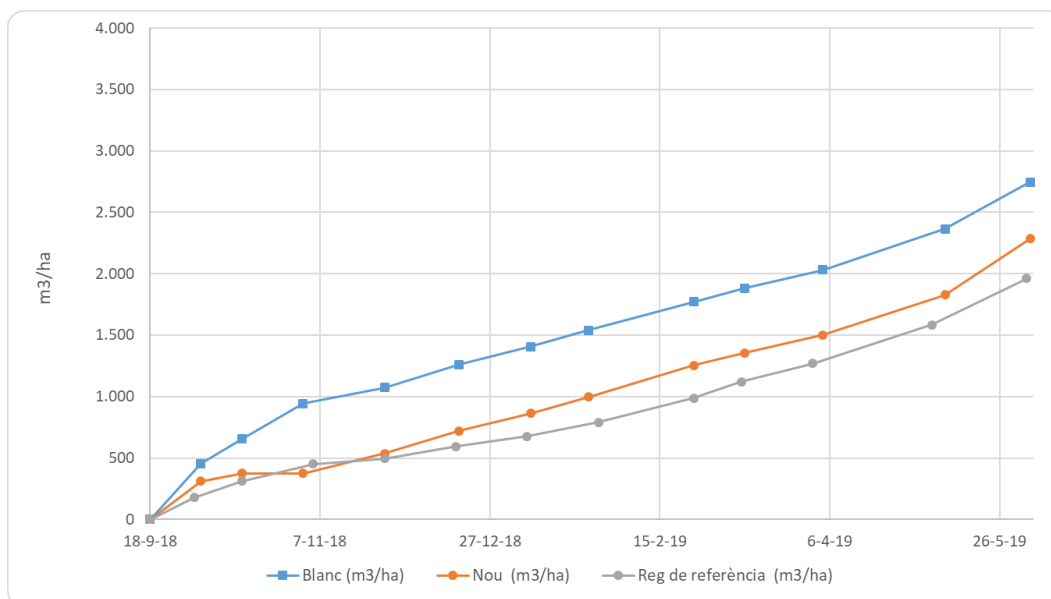


Figura 32. Volums acumulats en las parcel·les de l finca B, i reg de referència.

## 4.4. Resultats obtinguts en la FINCA C

### 4.4.1. Context agronòmic

Aquesta finca, situada en los termes municipals de Museros, Rafelbunyol i Nàquera (València), compta amb una superfície total de 25.6 ha, de les quals 1,20 ha són utilitzats pel sector “Blanc” i 1,87 ha pel sector “Nou”. Aquestes parcel·les són regades amb aigües del seu propi pou.

El sector “Blanc” està compres pels sectors 4, cultivats per mandarines de la varietat *Nadorcott* (Mandarina) Per la seva part, els sector “Nou”, format pel sector de reg 3, està cultivat per tarongers de la varietat *Barnfield* i *Chislett*.

El marc de plantació és 2 m entre arbres y 6 m entre carrers, amb un total de 12 m<sup>2</sup>, aquesta parcel·la compta amb 833 arbres/ha. El diàmetre de copa tingut en compte és de 1,74 m. Es tracten de copes aïllades, és a dir, la seua massa vegetal no es solapa en la dels arbres contigus.

En aquesta finca el cabal teòric de les mànega de goteig, les quals tenen emissors integrats autocompensants i antidrenants, és de 1,6 L/h, amb una separació entre emissors de 50 cm i amb dos línies per cada tira d'arbres. Tenint en compte totes les dades anteriors, podem establir que el cabal mitjà per planta serà de 12,8 L/h (Taula 9).

La textura present en aquest sòls és franca, encara que no és representativa, ja que aquesta finca compta amb diferents parcel·les distribuïdes per diferents localitats de la província en la que es troba, pel que hi hauran variacions en la textura del sòl.

	<b>Blanc</b>	<b>Nou</b>
<b>Superfície monitoritzada (ha)</b>	1,2	1,87
<b>Marc de plantació (m)</b>	2x4	2x4
<b>Diàmetre de copa (m)</b>	2,51	2,51
<b>Tipus d'emissor</b>	Integrat	Integrat
<b>Cabal nominal (L/h)</b>	1,6	1,6
<b>Distància entre emissors (cm)</b>	50	50
<b>Tipo sensor</b>	-	10HS
<b>Nº sensors per punt</b>	-	3
<b>Profunditat sensors (cm)</b>	-	20-40-60
<b>Profunditat estimada zona extracció (cm)</b>	40	40
<b>Textura del sòl</b>	Franca	Franca

*Taula 9. Característiques de les parcel·les de la finca C.*

#### **4.4.2. Estudi dels perfils de humitat**

La Figura 33 mostra la variació d'humitat en tres sensors ubicats a 20, 40 i 60 cm de fondària, respectivament. El període representat és de juny a octubre 2018. La resta del període de control no es mostra perquè un dels sensors va començar a fallar les lectures.

El perfil d'humitat en els primers mesos de control, que correspon als mesos d'estiu, respon a un esquema en el qual l'aplicació d'aigua provoca ràpids augments d'humitat en els nivells superior i inferior (sensors P3 i P1), mentre que en el nivell Intermedi el var més amortits i amb valors gairebé uniformes superiors a la capacitat de camp. El nivell superior no sembla retenir l'aigua, donat el seu caràcter sorrenc, mentre que el nivell Intermedi sembla retenir-lo i evitar la seva percolació profunda. Després de les pluges de setembre a octubre, amb taxes d'evapotranspiració baixes, el nivell superior sembla mantenir l'aigua millor.

Aquesta interpretació dels perfils d'humitat té una explicació física difícil, ja que després del reg hivernal la humitat és superior a 60 de 40 cm de profunditat, on a penes varia. El consegüent fracàs dels sensors, ja esmentats, aconsella prendre amb precaució la informació proporcionada pels sensors.

La Figura 34 correspon al període comprès entre el 21 de setembre i el 21 d'octubre de 2018, en el qual podreu veure amb més detall el comportament del perfil d'humitat. En aquest cas s'observa més clarament que el sensor situat a 40 cm, tot i que respon clarament a l'aplicació de reg, té un rang de variació baix, mentre que els sensors superior i inferior mostren una major sensibilitat i més variacions. A la part dreta de la figura hi ha comportaments erràtics clarament que condueixen al mal funcionament dels sensors.

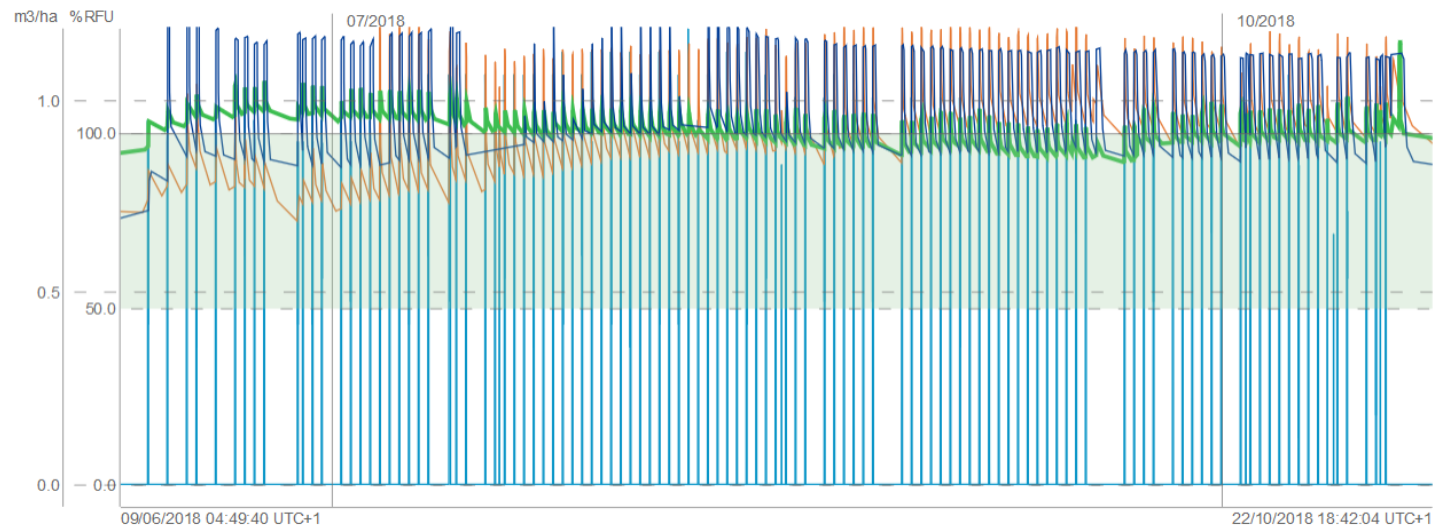


Figura 33. Evolució anual de la humitat volumètrica en els sensors de la finca C.

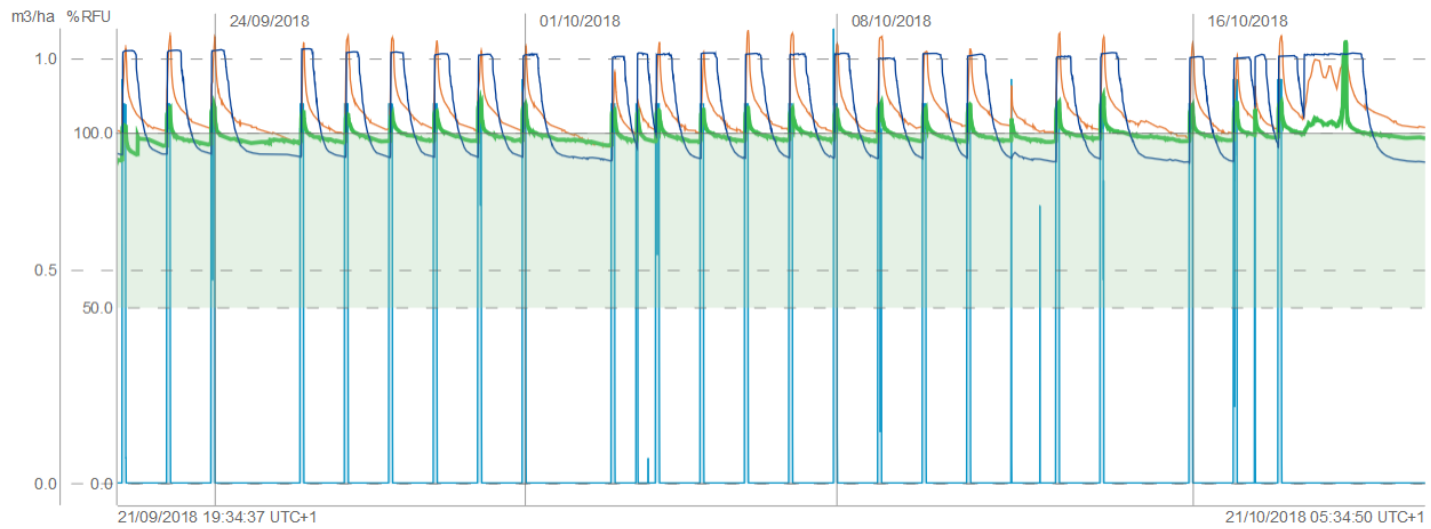


Figura 34. Evolució en setembre i octubre de la humitat volumètrica en els sensors de la finca C.

### 4.4.3. Confecció del PARLoc

Les dades recollides anteriorment són introduïdes al programa de l'IVIA per calcular el volum d'aigua que cal utilitzar per al reg (Figura 35). Amb la informació proporcionada pels sensors es matisen les recomanacions realitzades.

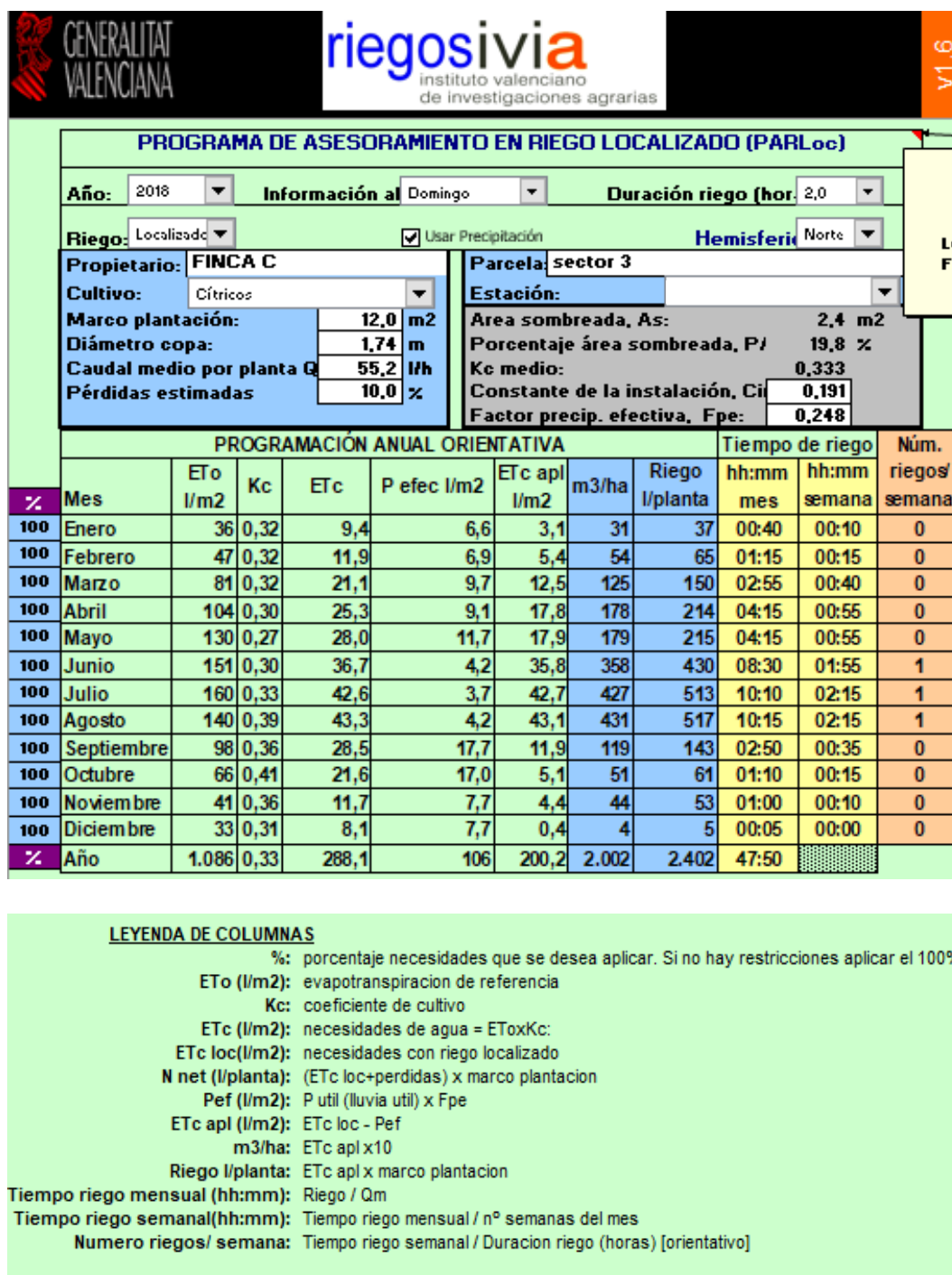


Figura 35. PARLoc anual de la Finca C.

#### 4.4.4. Resultats del seguiment

En la Taula 10 es presenten els resultats de la Finca C.

<b>Data</b>	<b>Blanc (m3/ha)</b>	<b>Nou (m3/ha)</b>	<b>Reg de referència (m3/ha)</b>
<b>7-1-19</b>	0,00	0,00	0,00
<b>28-1-19</b>	123,33	132,11	101,58
<b>20-2-19</b>	316,67	326,09	252,09
<b>20-3-19</b>	613,33	586,64	515,35
<b>5-4-19</b>	789,17	740,90	599,68
<b>17-4-19</b>	913,33	852,04	754,53
<b>8-5-19</b>	1.053,33	979,48	880,14
<b>11-6-19</b>	1567,5	1405,43	1346,95

*Taula 10. Dades de la gràfica de seguiment en la finca C.*

La quantitat d'aigua subministrada ambdós sectors és pràcticament igual, i molt superior a les recomanacions realitzades, la qual cosa reflexa que no s'estan seguint les recomanacions proporcionades pels tècnics. La principal discrepància està associada al període de setembre-octubre en el que van hi haver pluges d'intensitat mitjana. D'acord a les dades dels sensors, es va recomanar no aplicar reg durant uns dies ja que els nivells d'humitat eren alts i les reserves suficients, però es van aplicar regs ignorant les pluges. A partir doncs, d'aquest moment, els regs acumulats superen els recomanats. Per una altra part, no hi ha diferències significatives en els volums aplicats en les parcel·les "Blanc" i "Nou" i si de cas, lleugerament superiors en la del "Nou" (Figura 36).

En definitiva, no s'han aconseguit estalvis d'aigua, per raons que no invaliden la utilitat dels sensors.



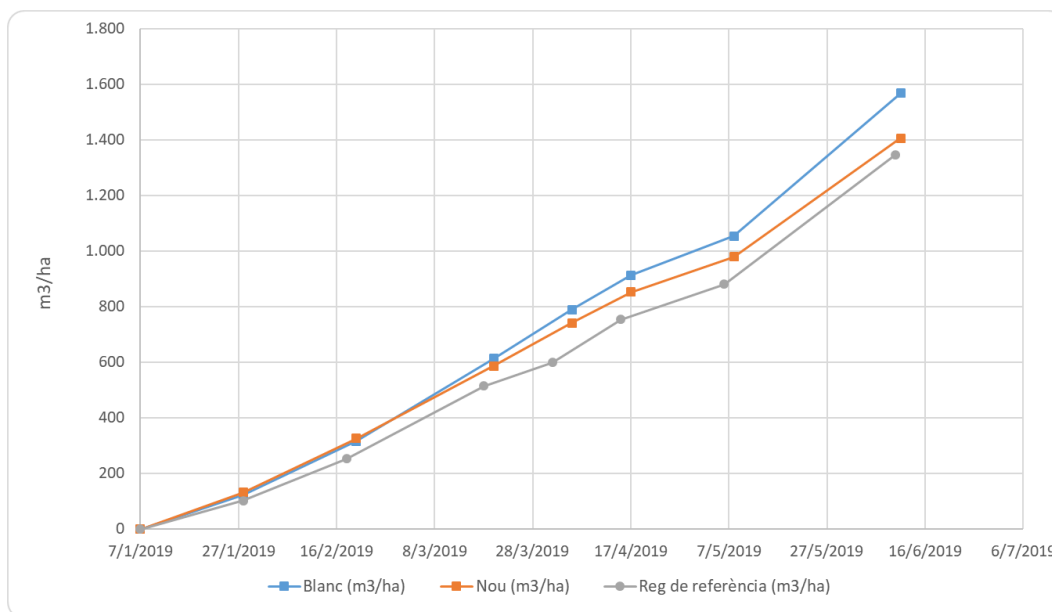


Figura 36. Volums acumulats en les parcel·les de la finca C, i reg de referència.

## 4.5. Resultats obtinguts en la FINCA D

### 4.5.1. Context agronòmic

Aquesta finca es troba en el terme municipal de Pedralba (València). La finca està compresa per 20,9 ha, de les quals 1,50 ha formen part del sector “Blanc” i 1,36 ha del sector “Nou”.

La varietat cultivada és la *Nadorcott* (Mandarina). És una varietat tardana, segons el IVIA es recol·lecta de principis de gener fins meitat de març.

El marc de plantació és 4 m entre arbres y 6 m entre carrers amb un total de 24,32 m<sup>2</sup>, amb un total de 411 arbres per hectàrea. El diàmetre de copa tingut en compte és de 3,43 m. La massa vegetal de les copes és continua.

En aquesta finca el cabal teòric de les mànega de goteig, les quals tenen emissors integrats autocompensants i antidrenants, és de 4 L/h, amb una separació entre emissors de 100 cm i amb dos línies per cada tira d'arbres. Tenint en compte totes les dades anteriors, podem establir que el cabal mitjà per planta serà de 32 L/h. L'aigua subministrada per al reg prové de la S.A.T. 749 El Palmera (Taula 11).

Aquestes finques presenten una textura franco-argilosa, encara que com s'ha nomenat anteriorment aquesta informació no es representativa per a tota la finca, però es prendrà com referència quan estudiem la tendència del flux d'aigua a les gràfiques dels sensors.

	<b>Blanc</b>	<b>Nou</b>
<b>Superfície monitoritzada (ha)</b>	1,50	1,36
<b>Marc de plantació (m)</b>	4x6	4x6
<b>Diàmetre de copa (m)</b>	3,43	3,43
<b>Tipus d'emissor</b>	Integrat	Integrat
<b>Cabal nominal (L/h)</b>		
<b>Distància entre emissors (cm)</b>	100	100
<b>Tipo sensor</b>	-	10HS
<b>Nº sensors per punt</b>	-	3
<b>Profunditat sensors (cm)</b>	-	15-35-55
<b>Profunditat estimada zona extracció (cm)</b>	10-30	10-30
<b>Textura del sòl</b>	Franco-argilosa	Franco-argilosa

*Taula 11. Característiques de les parcel·les de la finca D.*

#### **4.5.2. Estudi dels perfils de humitat**

En la Figura 37. Evolució anual de la humitat volumètrica en els sensors de la finca D. es mostren les variacions de la humitat d'aigua al sòl entre agost de 2018 i juny de 2019. Els sensors estan situats a 15 cm de profunditat (P1), 35 cm (P2) i 55 cm (P3). Aquestes presenten variacions en funció de la presència d'aigua al sòl, el sensor més superficial (P3) generalment és primer rebre el reg proporcionat, encara que alguns punts de la gràfica el percentatge de volum d'aigua en aquest sensor varia ràpidament en el temps, això es pot deure a que aquest es troba en un sòl arenós, ja que l'aigua s'infiltra amb gran velocitat. Aquest fet es pot veure durant els primers mesos (agosts setembre, octubre). Pel que fa als altres dos sensors restants, el seu percentatge volumètric no varia tant com l'anterior, per això es podria dir que aquestes sensors es troben en una zona més argilosa.

A partir de desembre es pot reconèixer un sòl, amb una major capacitat de retenció d'aigua que en els següents mesos, el sensor P3 presencià una baixada de contingut d'aigua en el sòl en poc de temps degut a la presència d'un sòl arenós.

Generalment, els regs són més freqüents durant els mesos d'estiu, mentre que després de les precipitacions aquests disminueixen la seua freqüència, però no la dosis, la qual es manté al voltant de 260 L. En el mes d'octubre i novembre no s'ha subministrat aigua

de reg, possiblement degut a un període de pluges, ja que malgrat no hi haver aportació d'aigua de reg, els sensors sí detecten humitat en el sòl.

Des de l'inici de la gràfica fins al final s'observa un descens de la freqüència dels regs. Durant els primers mesos la freqüència dels regs és molt alta, mentre que després pot ser degut a un fort període de pluges no es subministrà aigua de reg. Després d'aquest possible període de pluges, la freqüència del reg disminueix, però mantenint-se pràcticament constant la humitat del sòl, cosa que en el cas dels primers mesos, aquesta varia lleugerament.

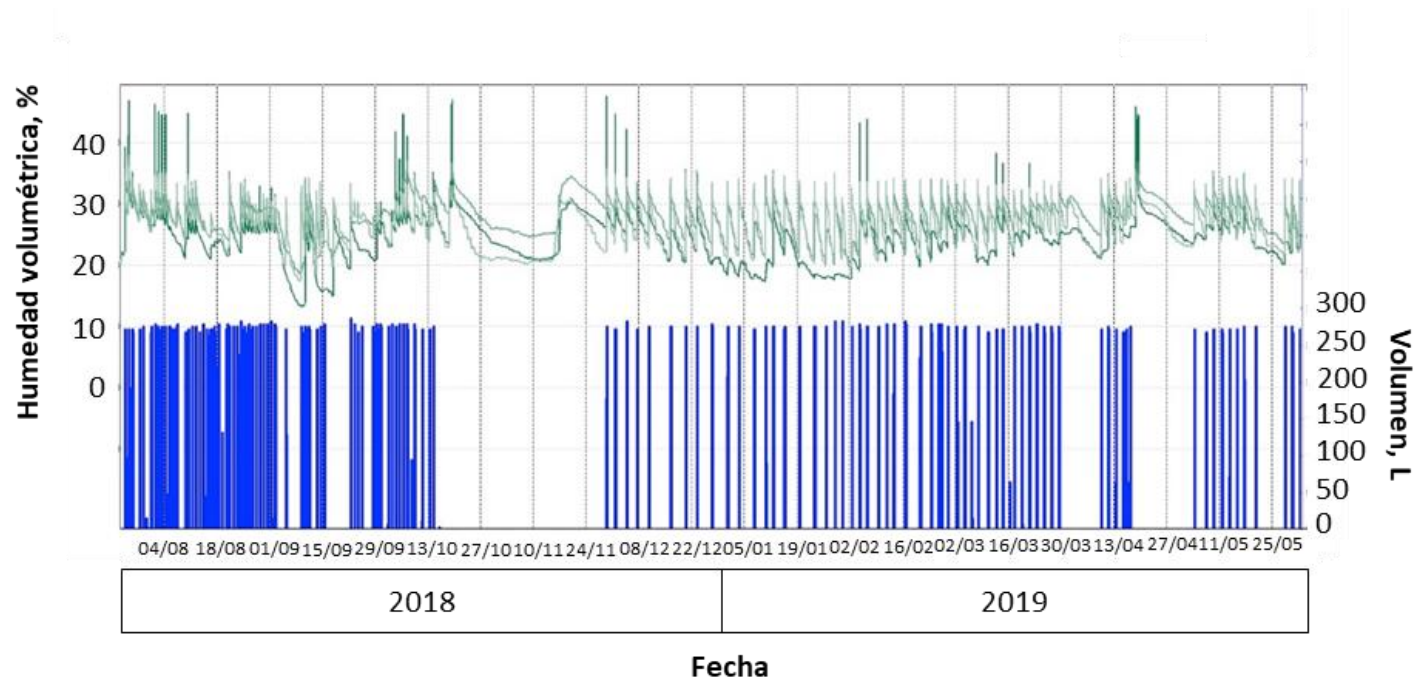


Figura 37. Evolució anual de la humitat volumètrica en els sensors de la finca D.

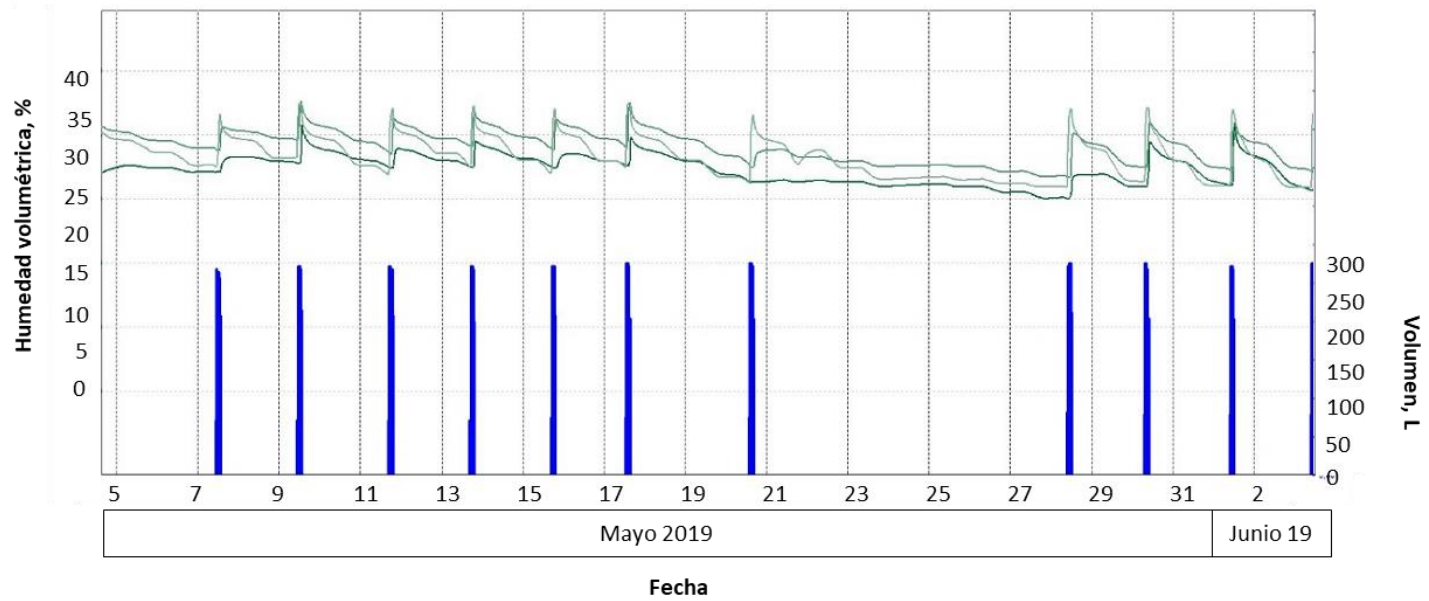


Figura 38. . Evolució en maig i juny de la humitat volumètrica en els sensors de la finca D.

El període representat en aquesta gràfica és durant l'últim mes (maig-juny). En aquesta gràfica es pot observar dues variables prou constants, per una part el volum d'aigua subministrat en tot el mesés pràcticament invariable, i per un altra la humitat del sòl es manté pràcticament igual. A meitat mes es pot veure una parada del subministra d'aigua de reg, açò pot ser explicat per un possible període de pluges.

Durant el mes de maig/juny els regs subministrats (barres blaves) s'han mantes pràcticament constants, no hi ha variat la dosi de reg. Durant les primeres setmanes d'aquest període, el percentatge d'humitat dels sensors P2 i P3 augmenta conforme s'aplica la dosi de reg, i disminueixen poc a poc. Per tant, es podria parlar de sòls argilosos amb capacitat de retenció d'aigua. Per contra, el sensor P1 sembla trobar-se en una zona més arenosa ja que l'aigua s'infiltra més ràpidament. Es a partir de la segona setmana, quan els sensors P2 i P3, apaní varien el seu varien el seu percentatge d'aigua, pot ser perquè els regs no siguen suficients i no fa reaccionar als sensors (evapotranspiració).

### 4.5.3. Confecció del PARLoc

Les dades recollides anteriorment són introduïdes al programa de l'IVIA per calcular el volum d'aigua que cal utilitzar per al reg (Figura 39). Amb la informació proporcionada pels sensors es matisen les recomanacions realitzades.

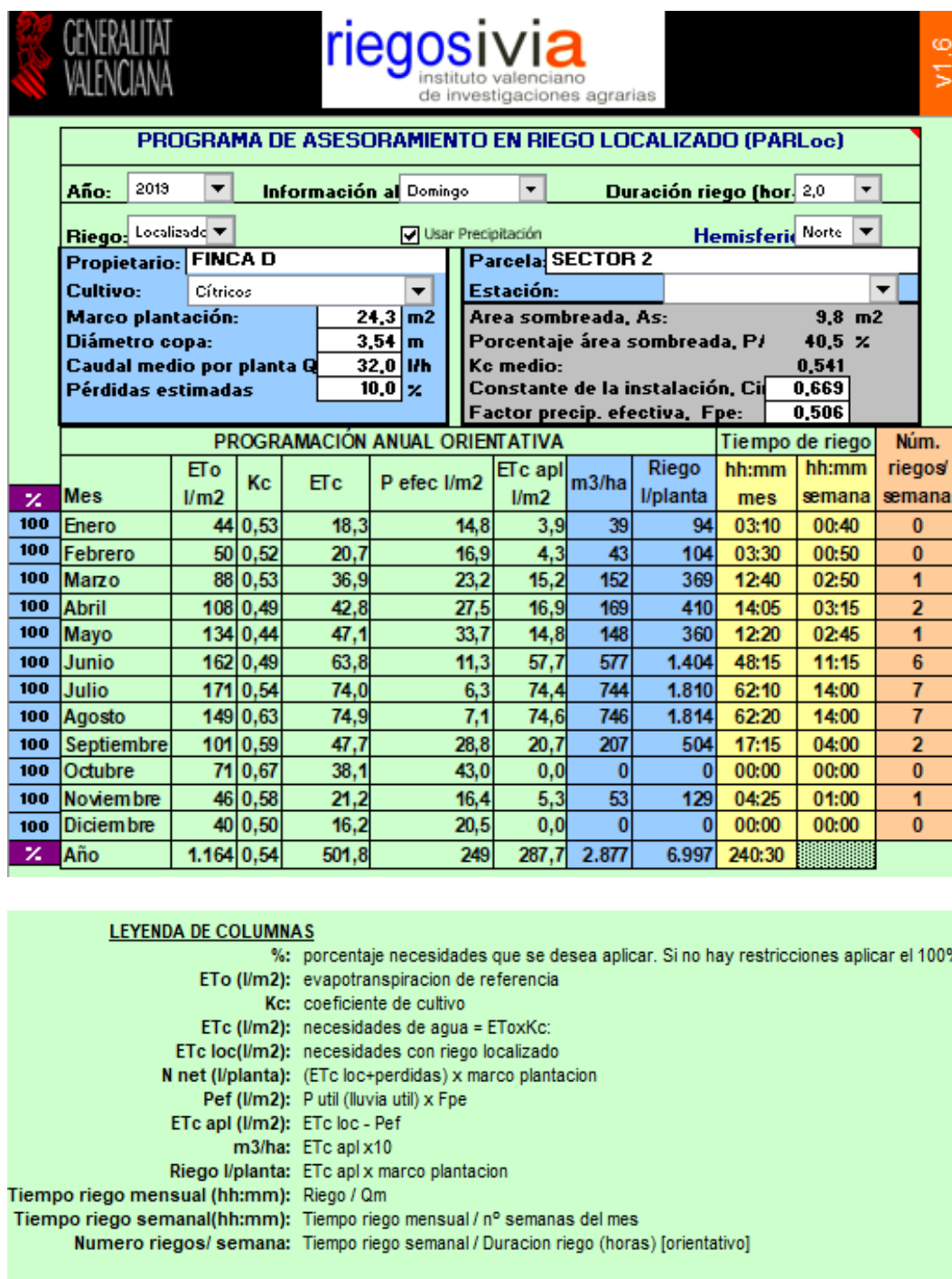


Figura 39. PARLoc anual en Finca D.

#### 4.5.4. Resultats del seguiment

La Taula 12 mostra els metres cúbics per hectàrea acumulats que es consumeixen tant en el sector “Blanc” com en el sector “Nou”, a més del reg de referència que és el valor recomanat pel PARLoc.

<b>Data</b>	<b>Blanc (m<sup>3</sup>/ha)</b>	<b>Nou (m<sup>3</sup>/ha)</b>	<b>Reg de referència (m<sup>3</sup>/ha)</b>
<b>3-8-18</b>	0,00	0,00	0,00
<b>14-9-18</b>	1.219,70	1.171,94	1126,33
<b>2-10-18</b>	1.507,00	1.474,24	1257,69
<b>18-10-18</b>	1.805,61	1.785,30	1406,72
<b>8-11-18</b>	1.838,19	1.785,30	1411,88
<b>14-12-18</b>	1.975,19	1.964,19	1522,03
<b>14-1-19</b>	2.245,87	2.273,06	1663,83
<b>9-2-19</b>	2.550,46	2.573,89	1850,59
<b>14-2-19</b>	2.638,25	2.670,28	1907,42
<b>14-3-19</b>	2.982,08	3.031,72	2180,70
<b>2-4-19</b>	3.250,09	3.316,49	2464,01
<b>13-5-19</b>	3.526,75	3.617,33	2875,52
<b>6-6-19</b>	3.820,70	3.926,92	3161,26

*Taula 12. Dades de la gràfica de seguiment en la finca D.*

El distanciament amb el reg de referència s'ha produït degut a un període de pluges en el que la recomanació va ser pràcticament 0. Les dues corbes de presenten tendències similars al reg de referència (Figura 40).



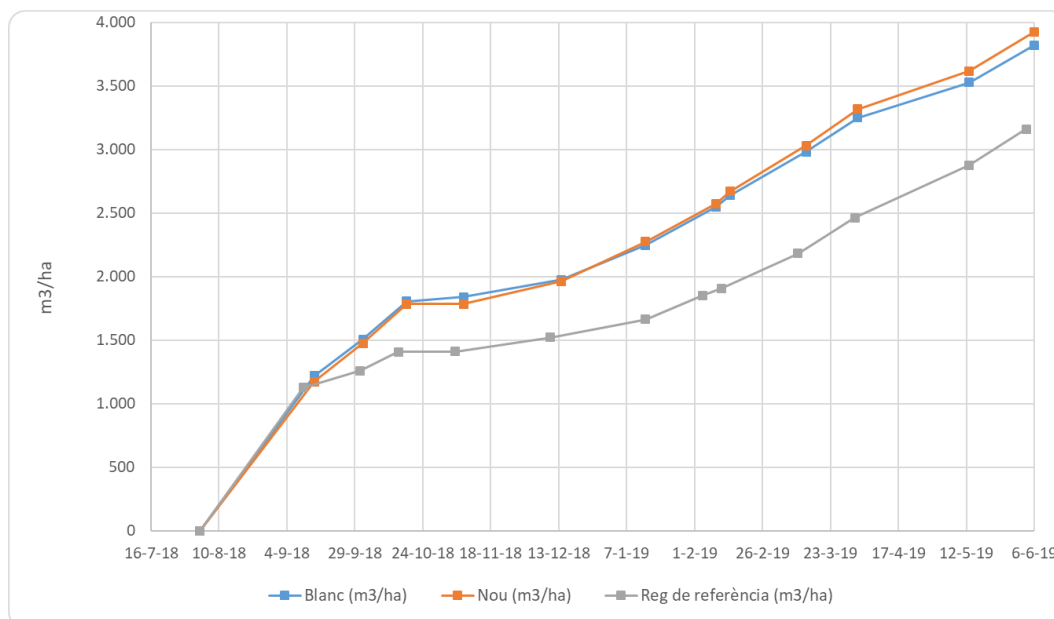


Figura 40. Volums acumulats en les parcel·les de la finca D, i reg de referència.

## 4.6. Resultats obtinguts en la FINCA E

### 4.6.1. Context agronòmic

Aquesta finca està situada en el terme municipal de Segorbe (Castellón) i compta amb una superfície total de 20,94 ha, de les quals 4,43 ha han sigut controlades en el “Blanc” i 3,9 ha per al “Nou”.

La varietat cultivada és la *Nardorcott* (Mandarina). És una varietat tardana, segons el IVIA es recol·lecta de principis de gener fins a meitat del mes de març. L'aigua subministrada per al reg prové de la Comunitat de Regants de la zona.

El marc de plantació és 5 m entre arbres y 5 m entre carrers amb un total de 26,28 m<sup>2</sup>, amb un total de 380 arbres per hectàrea.

El diàmetre de copa tingut en compte és de 4,42 m. Es tracten de copes aïllades, és a dir, la seua massa vegetal no es solapa en la dels arbres contigus.

En aquesta finca el cabal teòric de les mànega de goteig, les quals tenen emissors integrats autocompensants i antidrenants, és de 3,6 L/h, amb una separació entre emissors de 100cm i amb dos línies per cada tira d'arbres. Tenint en compte totes les dades anteriors, podem establir que el cabal mitjà per planta serà de 32,1 L/h (Taula 13).

	<b>Blanc</b>	<b>Nou</b>
<b>Superfície monitoritzada (ha)</b>	4,43	3,9
<b>Marc de plantació (m)</b>	5x5	5x5
<b>Diàmetre de copa (m)</b>	4,42	4,42
<b>Tipus d'emissor</b>	Integrat	Integrat
<b>Cabal nominal (L/h)</b>	3,6	3,6
<b>Distància entre emissors (cm)</b>	100	100
<b>Tipo sensor</b>	-	10HS
<b>Nº sensors per punt</b>	-	3
<b>Profunditat sensors (cm)</b>	-	15-35-55
<b>Profunditat estimada zona extracció (cm)</b>	10-30	10-30
<b>Textura del sòl</b>	Franco-argilosa	Franco-argilosa

*Taula 13. Característiques de les parcel·les de la finca E.*

#### **2.1.4.6.2. Estudi del perfil de humitat**

La Figura 41 mostra els mesuraments d'humitat proporcionats pels sensors entre el 21 de juliol, el 2018 i el 15 de juny de 2019. El sensor P3, situat a una profunditat de 55 cm, té un volum base d'humitat del 27% en els primers mesos, que puja lleugerament al 28% en els mesos d'hivern. Després de l'aplicació del reg (barres blaves) els valors d'humitat s'assoleixen per sota del 35%. La decadència postres és molt més pronunciada en els mesos d'estiu que en els mesos d'hivern, a causa de la major intensitat de l'absorció d'arrels i probablement també de processos capil·lars. Crida l'atenció, però, a la resposta del sensor P3 a les pluges que es van produir a mitjans d'octubre, la qual cosa va causar valors de l'ordre del 47%, corresponent a l'estat de saturació que, en només dos dies va tornar al valor base del 27%, el que revela el hi ha un bon drenatge i l'existència de recarrega activa.

Els sensors P1 i P2, situats respectivament a 15 i 35 cm de profunditat, tenen molt fins i tot comportament amb valors base de 35% i màxims del 40%. En aquest cas, també hi ha caigudes ràpides a l'estiu i més lentament en els mesos d'hivern.

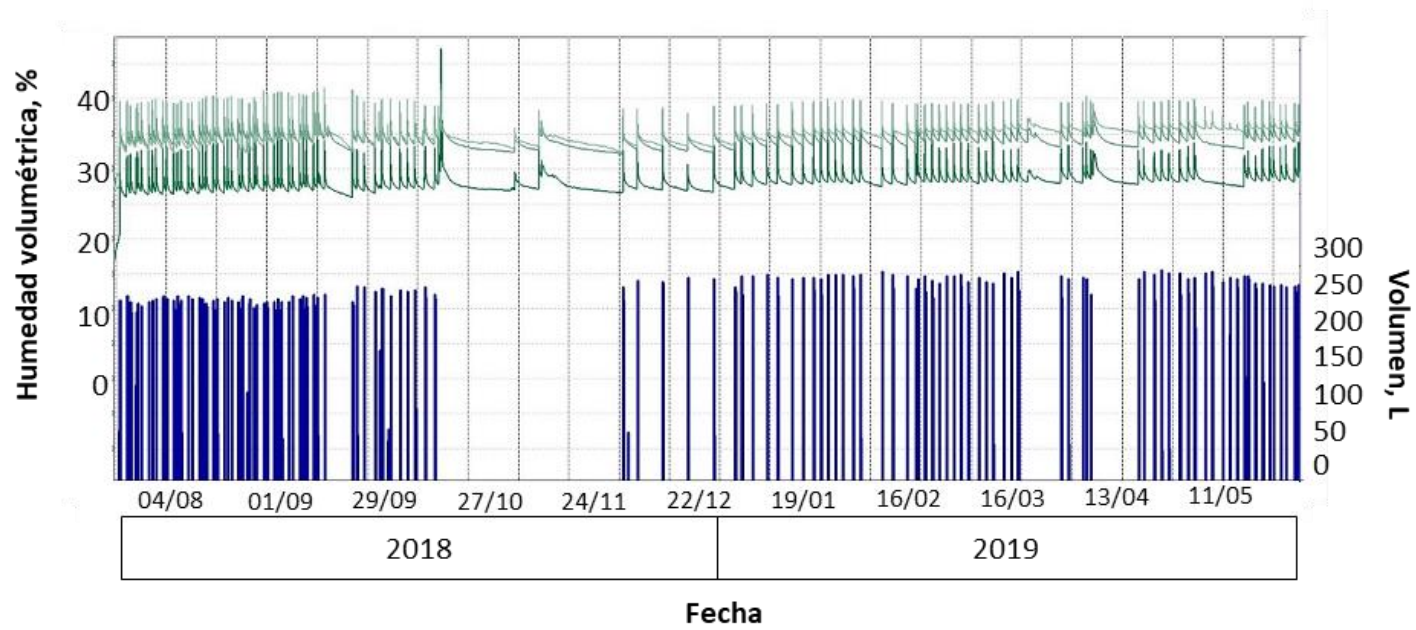


Figura 41. Evolució anual de la humitat volumètrica en els sensors de la finca E.

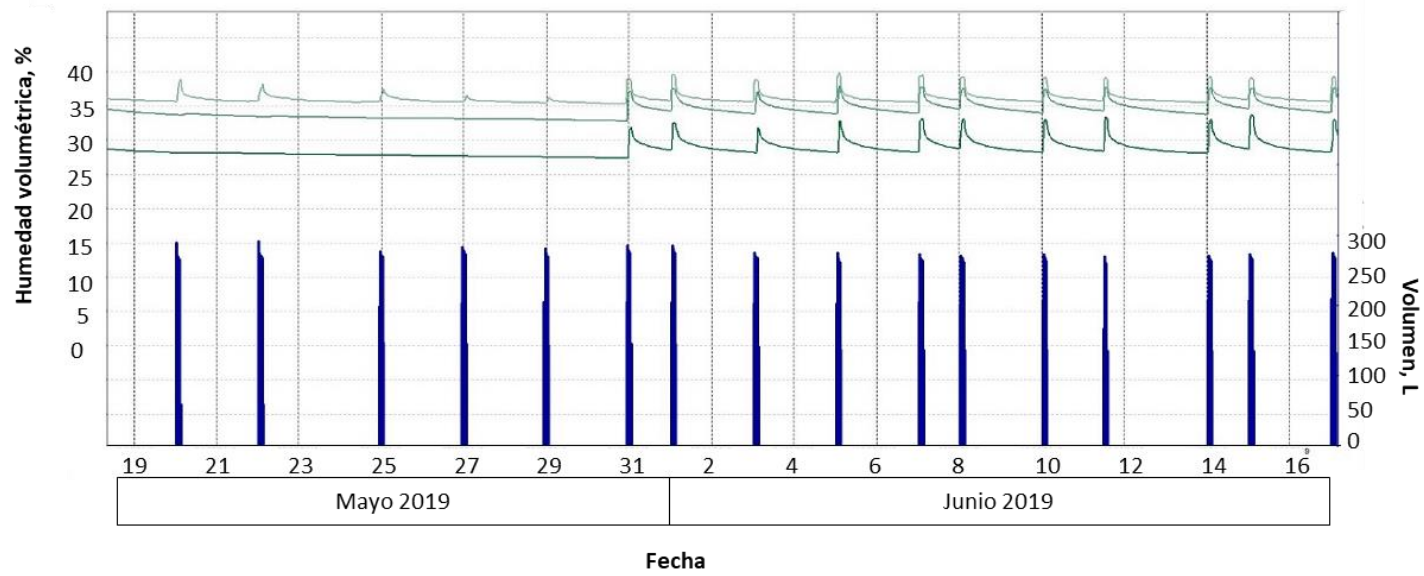


Figura 42. Evolució en maig i juny de la humitat volumètrica en els sensors de la finca E.

Les irrigacions realitzades (barres blaves) són d'alta freqüència en els mes d'estiu, amb dosis diàries al voltant de 200 mm i més espaciades durant la resta de l'any. Quan es produeix la pluja, com va succeir des de mitjans d'octubre fins a principis de desembre, i amb menys intensitat en la segona quinzena de setembre i al principi i final d'abril, els regs són més espaciats i activats quan la humitat valora arriben a valors mínims.

La Figura 42 mostra amb més detall l'evolució de la humitat i l'aplicació de l'aigua de reg en la segona quinzena de maig i la primera de juny. A la primera part dels gràfics només la humitat en el sensor de superfície varia, amb un grau relativament alt d'humitat, des del 1 de juny les variacions són més notables i afecten els tres sensors. En aquest nivell de detall s'aprecia que el nivell més superficial s'asseca més i més ràpid que el nivell intermedi, i que el frontal d'humitat arriba al sensor més profund en poques hores.

### 4.6.3. Confecció del PARLoc

Les dades recollides anteriorment són introduïdes al programa de l'IVIA per calcular el volum d'aigua que cal utilitzar per al reg (Figura 43). Amb la informació proporcionada pels sensors es matisen les recomanacions realitzades.

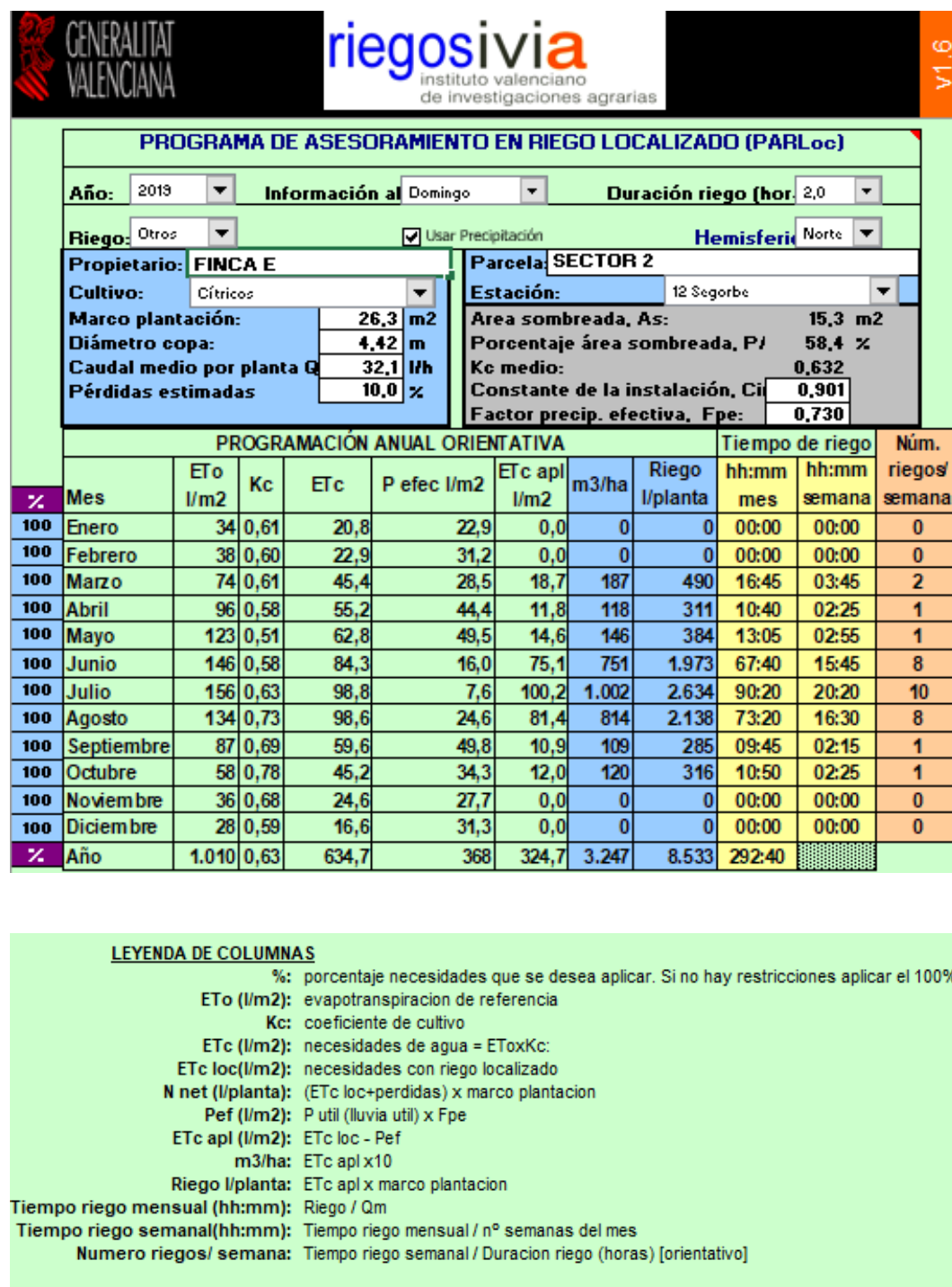


Figura 43. PARLoc anual en la finca E

#### 4.6.4. Resultats del seguiment

En la següent taula es mostren les dades recollides mensualment pels comptadors en els diferents sectors. Aquestes dades es troben representades en la Figura 44. Tant en la parcel·la Blanc com en el "Nou" s'ha aplicat menys aigua que la corresponent al reg de referència

Data	Blanc (m <sup>3</sup> /ha)	Nou (m <sup>3</sup> /ha)	Reg de referència (m <sup>3</sup> /ha)
20-09-18	0,00	0,00	0,00
18-10-18	346,95	265,93	371,97
20-11-18	346,95	268,61	387,54
09-01-19	469,79	398,41	603,31
24-01-19	602,02	495,29	701,24
09-02-19	828,54	667,84	888,44
02-04-19	1436,99	1156,30	1599,98
14-05-19	1820,64	1409,45	2118,84
06-06-19	2185,62	1681,26	2489,96

Taula 14. Dades de la gràfica de seguiment en la finca E

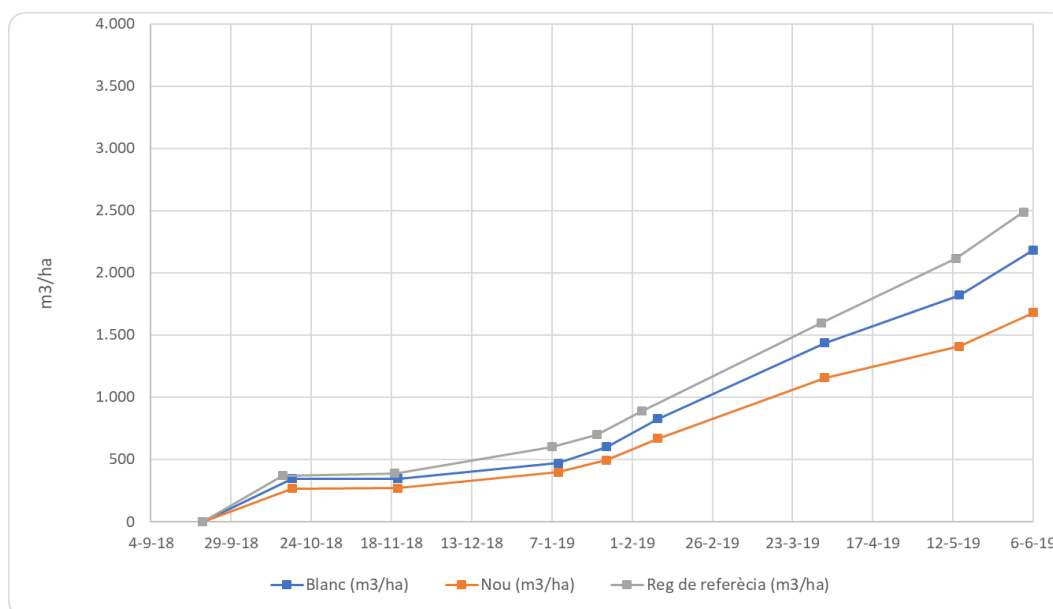


Figura 44. Volums acumulats en les parcel·les de la finca E, i reg de referència.

# DISCUSSIONS





## 5.DISCUSIONS

En les següents taules es mostren els volums d'aigua acumulats en cadascun dels sectors participants en el projecte, "Blanc" el qual segueix regant com ho feia d'habitual i el "Nou" el qual segueix les recomanacions de reg dirigides pels tècnics del projecte, també s'hi pot observar l'estalvi de volum d'aigua que hi ha en la finca, és a dir, la diferència entre el volum d'aigua del sector que segueix les recomanacions de reg i el "Blanc". Aquest estalvi es troba en m<sup>3</sup>/h, litres totals estalviats i el percentatge.

### 5.1. Finca A

Data	Blanc (m <sup>3</sup> /ha)	Nou (m <sup>3</sup> /ha)	Estalvi (m <sup>3</sup> /ha)	Estalvi total finca (L)	Estalvi %
6-6-19	2.639,11	2.449,03	190,09	2338064,135	7,2%

Taula 15. Percentatge d'estalvi Finca A.

Per a la finca A mostren una lleugera diferència entre el "Nou" y "Blanc". El sector "Blanc" ha consumit 2.639,11 m<sup>3</sup>/ha, mentre que el "Nou" ha comptabilitzat 2.449,03 m<sup>3</sup>/ha, la qual cosa es tradueix en un estalvi d'aigua d'un 7,28% del "Nou" respecte al "Blanc".

### 5.2. Finca B

Data	Blanc (m <sup>3</sup> /ha)	Nou (m <sup>3</sup> /ha)	Estalvi (m <sup>3</sup> /ha)	Estalvi total finca (L)	Estalvi (%)
4-6-19	4.186,82	2.745,66	460,88	20877711,63	16,79%

Taula 16. Percentatge d'estalvi Finca B.

Les últimes lectures del comptador del sector "Nou" són molt més baixes que les mesures recollides pel comptador del sector "Blanc". Aquestes dades mostren un evident estalvi d'aigua d'un 16,8%.

### 5.3. Finca C

Data	Blanc (m <sup>3</sup> /ha)	Nou (m <sup>3</sup> /ha)	Estalvi (m <sup>3</sup> /ha)	Estalvi total finca (L)	Estalvi %
11-6-19	1.805,83	1.617,03	188,80	4512423,91	10,5%

Taula 17. Percentatge d'estalvi Finca C.

El volum recollit pel comptador del "Nou" és més baix que el del sector "Blanc", la qual cosa vol dir que hi ha estalvi d'aigua. Concretament s'ha produït un estalvi del 10,5% d'aigua.

### 5.4. Finca D

Data	Blanc (m <sup>3</sup> /ha)	Nou (m <sup>3</sup> /ha)	Estalvi (m <sup>3</sup> /ha)	Estalvi total finca (L)	Estalvi %
6-6-19	3.820,70	3.926,92	-106,22	-1763257,73	-2,8%

Taula 18. Percentatge d'estalvi Finca D.

En aquest cas, igual que en el cas anterior, no s'ha produït un estalvi d'aigua ja que el comptador del sector "Nou" senyala un major consum d'aigua que el comptador del sector "Blanc" amb una diferència del 2,8%. Ambdós comptadors mostren a partir de setembre un volum de reg superior al reg de referència que s'havia considerat per a aquest període.

### 5.5. Finca E

Data	Blanc (m <sup>3</sup> /ha)	Nou (m <sup>3</sup> /ha)	Estalvi (m <sup>3</sup> /ha)	Estalvi total finca (L)	Estalvi %
6-6-19	2185,62	1681,26	504,36	8372362,568	23,1%

Taula 19. Percentatge d'estalvi Finca E.

Aquesta finca és la que més estalvi té, amb un 23.1%, la diferència de volum d'aigua acumulat emprat entre el "Blanc" i el "Nou" és de 504,36 m<sup>3</sup>/ha. Això es reflecteix en que el sector "Nou" ha seguit les recomanacions donades pels tècnics del projecte.

# CONCLUSIONS



## 6. CONCLUSIONS

De totes les parcel·les participants en el projecte hi han algunes en les que s'ha aconseguit l'objectiu previst de l'estalvi d'aigua, mentre que en altres no hi ha sigut possible.

El projecte té la finalitat d'estalviar aigua en el reg dels cítrics, a través de canvis d'instal·lacions de reg antigues per augmentar la seua eficàcia i la instal·lació de noves canonades amb característiques antidrenants i autocompensants, per evitar totes les possibles pèrdues; però sobretot amb les recomanacions dutes a terme pels tècnics del projecte. Les recomanacions s'han realitzat amb l'ajuda de sondes d'humitat instal·lades a les parcel·les que pertanyen a aquest treball, juntament amb la ferramenta de regs de l'IVIA, és doncs amb la combinació d'aquests dos mètodes on s'ha pogut calcular les necessitats hídriques dels cítrics, proporcionant una dosi correcta i necessària, evitant el malgast d'aigua.

Per una part, els sensors d'humitat ajuden a controlar i conèixer el volum d'aigua present en les diferents profunditats del sòl, aquestes dades recollides per les sondes es reflecteixen en unes gràfiques les quals són interpretades pels tècnics encarregats del projecte. Aquestes gràfiques d'humitat del sòl són complementades amb les dades indicades pel PARLoc. El PARLoc, com bé s'ha esmentat en apartats anteriors, és una eina utilitzada per conèixer el volum d'aigua que s'ha de proporcionar a la parcel·la i el nombre de hores necessàries per satisfer aquestes necessitats. Per tant, amb la utilització d'aquests dos mètodes i juntament amb els coneixement sobre la matèria dels tècnics, es realitzen unes recomanacions sobre les dosis d'aigua necessàries per aplicar, per tal d'estalviar aigua.

En les finques A, B i E s'ha aconseguit un estalvi d'aigua. Aquest fet es deu a que la dosi de reg proporcionada a les parcel·les "Nou" és menor al proporcionada a les del "Blanc", possiblement per una bona qualitat en el sistema de reg i a més un seguiment de les recomanacions proporcionades pels tècnics.

Però en dos de les finques, C i D, presentades en aquest treball no s'ha produït estalvi. Pot ser degut a una falta del compliment de les recomanacions, d'un mal ús de les instal·lacions de reg o per una mala qualitat d'aquestes últimes. Aquestes darreres finques presenten un major gast d'aigua en el sector "Nou" que en el "Blanc", quan si es segueixen les recomanacions no passaria.

Les parcel·les que es presenten en aquest treball de fi de grau són cinc, de les quals com bé s'ha nomenat abans tan sols tres han complert l'objectiu d'estalvi d'aigua. La finca A ha aconseguit un estalvi d'un 7,2%, la finca B un 45,4% i per últim la Finca E un 23,1%. Açò

reflexa un total de 2.596,49 m<sup>3</sup>/ha estalviats d'aigua per aquestes tres finques, és a dir, un total de 96.872.730,053 L estalviats. La previsió d'estalvi d'aigua en tot el projecte és de 344 milions de litres, tenint en compte que en aquest treball de fi de grau s'han seleccionat tan sols 5 finques de totes les participants en el projecte, es podria dir que la previsió es podrà complir amb èxit, ja que l'estalvi d'aquestes cinc finques equivaldria aproximadament a 1/3 del total d'aigua prevista per estalviar.

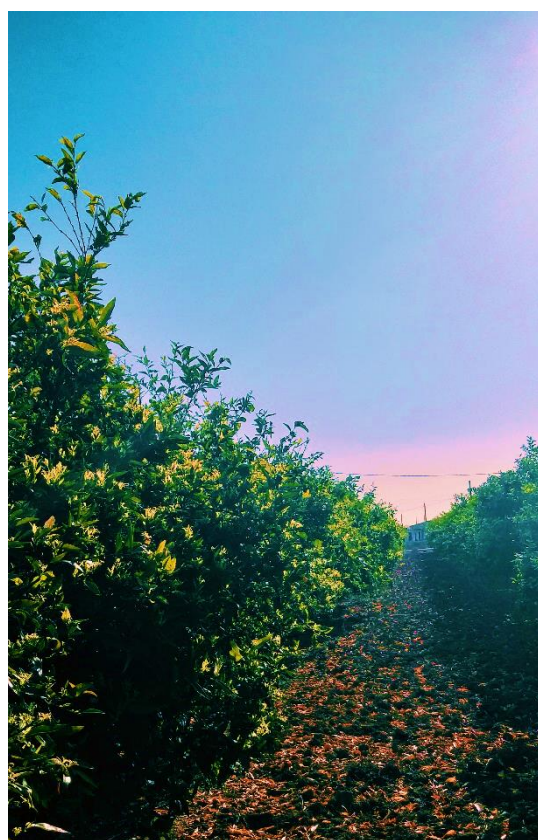
A les finques C i D s'ha consumit, respectivament, un 2,7% i un 2,8% més que el reg de referència.

Com a conclusió definitiva, es pot afirmar que és possible afinar més les dotacions de reg en els cítrics i que les sondes d'humitat són una bona eina per aconseguir-ho.

<b>FINQUES</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
<b>% d'estalvi</b>	7,2	16,8	10,5	-2,8	23,1

*Taula 20. Percentatge d'estalvi de cada finca.*

# BIBLIOGRAFIA



## 7. BIBLIOGRAFIA

- (ESYRCE), E. s. (2017). *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*. Obtenido de <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/>
- admin. (19 / diciembre / 2016). *Valencia Actua*. Recollit de Periodico Cultural Valenciano: <http://valenciaactua.es/riego-a-manta/>
- AgriEnlace. (s.f.). *Uso de estciones automatizadas para aplicaciones agrícolas*. Obtenido de [http://langif.uaslp.mx/documentos/presentaciones\\_internacionl/01/ponencia\\_slp.pdf](http://langif.uaslp.mx/documentos/presentaciones_internacionl/01/ponencia_slp.pdf)
- AgroCabildo. (2008). *EVAPOTRANSPIRACIÓN PENMAN-MONTEITH*. Obtenido de <http://www.agrocabildo.org/publica/analisisclimatico/evapotrans2008.pdf>
- Agrocalbido. (2015). *AgroCalbido, Calbido de Tenerife*. Obtenido de [http://www.agrocabildo.org/necesidad\\_riego\\_aguac\\_citrico.pdf](http://www.agrocabildo.org/necesidad_riego_aguac_citrico.pdf)
- Agrologica. (28 de Juny de 2012). *Agrologica*. Obtenido de <http://blog.agrologica.es/tensiometros-funcionamiento-instalacion-y-caso-practico/>
- Agronotas*. (2018). Obtenido de [http://www.agronotas.es/A55CA3/Agronotas.nsf/v\\_postid/AC2D11F078C43D2AC125753A005EACB1](http://www.agronotas.es/A55CA3/Agronotas.nsf/v_postid/AC2D11F078C43D2AC125753A005EACB1)
- Agustí, M. (2003). *Citricultura*. València: mundiempresa.
- Aula Invertida. (2016). Recollit de <https://quizlet.com/109175381/info>
- Aula\_Invertida. (2015). *Quizlet*. Recollit de RT.MSC-" Métodos de determinación del contenido de humedad del suelo": <https://quizlet.com/109175381/rtmsc-metodos-de-determinacion-del-contenido-de-humedad-del-suelo-flash-cards/>
- Ayza, X. T. (10 / Abril / 2014). *xarxaenxarxa*. Recollit de [http://xarxaenxarxa.diba.cat/sites/xarxaenxarxa.diba.cat/files/dossier\\_sessio\\_3\\_gestioaiguahorts.pdf](http://xarxaenxarxa.diba.cat/sites/xarxaenxarxa.diba.cat/files/dossier_sessio_3_gestioaiguahorts.pdf)
- Bellido, B. S. (13 / Març / 2018). *Eficiencia de aplicación del riego en Andalucía*. Recollit de Junta de Analucía: [www.juntadeandalucia.es](http://www.juntadeandalucia.es)

- cirerer, G. p. (sense data). Recollit de [http://cpf.gencat.cat/web/.content/or\\_organismes/or04\\_centre\\_propietat\\_forestal/01\\_organisme/publicacions/publicacions\\_tecniques/monografies/produccio\\_de\\_fusta\\_de\\_qualitat\\_plantacions\\_de\\_noguera\\_i\\_cirerer/documents/43\\_177359.pdf](http://cpf.gencat.cat/web/.content/or_organismes/or04_centre_propietat_forestal/01_organisme/publicacions/publicacions_tecniques/monografies/produccio_de_fusta_de_qualitat_plantacions_de_noguera_i_cirerer/documents/43_177359.pdf)
- Conselleria d'agricultura, M. A. (Octubre de 2018). *El Regadío en la C.Valenciana*. Comunitat Valenciana.
- Decagon, D. (11 de Març de 2016). *10HS. Soil Moisture Sensor*. Obtenido de <https://www.metergroup.com/environment/>
- Devices, D. (11 de Març de 2016). *10HS. Soil Moisture Sensor*. Obtenido de <https://www.metergroup.com/environment/>
- Equip de l'Oficina del Regant . (Decembre de 2017). *DOSSIER TÈCNIC FORMACIÓ I ASSESSORAMENT AL SECTOR AGROALIMENTARI*. Obtenido de <https://ruralcat.gencat.cat/>
- FAO. (2015). *Evapotranspiración del cultivo*. Recollit de <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>
- Flor, C. G. (Decembre / 2006). *Core*. Recollit de <https://core.ac.uk/download/pdf/41801213.pdf>
- Gázquez, J. C. (2018). *Mejora en al eficiencia del uso de agua y fertilizantes en agricultura*. Cajamar.
- Group, M. (2017-2019). *ECH2O 10HS*. Recollit de METER GROUP: <https://www.metergroup.com/environment/products/ech20-10hs-soil-moisture-sensor/>
- GROUP, M. (2017-2019). *Measurement volume of METER volumetric water content sensors*. Recollit de METER ENVIROMENT: <https://www.metergroup.com/environment/articles/measurement-volume-meter-volumetric-water-content-sensors/>
- Isern, C. H. (Decembre de 2014). *RuralCat*. Obtenido de [http://www.ruralcat.com/c/document\\_library/get\\_file?uuid=0fa22110-701c-41ef-be74-529f254fe05a&groupId=20181](http://www.ruralcat.com/c/document_library/get_file?uuid=0fa22110-701c-41ef-be74-529f254fe05a&groupId=20181)
- IVIA. (s.f.). *IVIA*. Obtenido de <http://riegos.ivia.es/descargas/parloc-version-6>
- M.Agustí. (2003). *Citricultura*. València: Mundi Prensa.



- Medioambiente, I. y. (2011). *Investigación y Divulgación del Medioambiente*. Recollit de [https://www.sdlmedioambiente.com/Edadarbol/como\\_medir.html#arriba](https://www.sdlmedioambiente.com/Edadarbol/como_medir.html#arriba)
- Mercado Libre*. (2019). Obtenido de [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-456209263-sensor-de-humedad-del-suelo-watermark-y-medidor-digital-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-456209263-sensor-de-humedad-del-suelo-watermark-y-medidor-digital-_JM)
- Molina, J. F. (2017). *Estudio del manejo del agua de riego mediante sensores de humedad*. Orihuela.
- Moya, J. H. (sense data). *Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera*. Recollit de [https://hortintl.cals.ncsu.edu/sites/default/files/articles/prevencion\\_obstruccion\\_goteros.pdf](https://hortintl.cals.ncsu.edu/sites/default/files/articles/prevencion_obstruccion_goteros.pdf)
- Mradm. (18 / Octubre / 2017). *Diferencias entre los goteros autocompensantes y los turbulentos*. Recollit de Mundo Riego: <https://mundoriego.es/diferencias-entre-los-goteros-autocompensantes-y-los-turbulentos/>
- Novagric. (2016). *Novagric*. Recollit de <http://www.novagric.com/es/goteros-insertados-pinchados>
- Pérez, L. M. (2008). *AgroCabildo*. Obtenido de <http://www.agrocabildo.org/publica/analisisclimatico/evapotrans2008.pdf>
- Quiroz, S. O. (14 de Maig de 2014). *SlidesShare*. Obtenido de Sondas de capacitancia (fdr): <https://es.slideshare.net/samoquiros/sondas-de-capacitancia-fdr>
- Red Agrícola. (Febrer de 2017). *Red Agrícola*. Obtenido de <http://www.redagricola.com/cl/sondas-capacitancia-fdr-monitoreo-humedad-suelo/>
- Ruralcat. . (Juny de 2005). *Dossier Tècnic. Gestió eficient de l'aigua de reg*. Obtenido de [www.ruralcat.net](http://www.ruralcat.net)
- Saó, S. e. (2015). *www.sembraensao.org*. Recollit de <http://www.sembraensao.org/new/wp-content/uploads/marcos-de-plantacion.pdf>
- SCP. (23 / Octubre / 2018). *UJI*. Recollit de <https://www.uji.es/com/agenda/2017/10/25/citricos-sostenibles/>
- Sur, I. d. (s.f.). Obtenido de <http://www.idelsur.com/?cat=220>
- Talens, J. M. (2009). *Riego Localizado y Fertirrigación*. Orihuela: mundiprensa.

Talón, P. F. (2000). *Consideraciones en torno al manejo de instalaciones de riego localizado en cítricos*. Recollit de SERVICIO DE TECNOLOGÍA DEL RIEGO: file:///C:/Users/Usuario/Desktop/TFG/Documents%20Metodologia/Consideraciones%20en%20torno%20al%20manejo%20de%20instalaciones%20de%20riego%20localizado%20en%20cítricos.pdf

Ulloa, A. M. (2019). *ResearchGate*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/figure/Figura-16-Sonda-de-neutrones-de-profundidad-en-posicion-de-operacion-Fuente-Bacchi-et\\_fig15\\_301749536](https://www.researchgate.net/figure/Figura-16-Sonda-de-neutrones-de-profundidad-en-posicion-de-operacion-Fuente-Bacchi-et_fig15_301749536)

Watts, A. (16 / Setembre / 2011). *Watts up with that?* Recollit de <https://wattsupwiththat.com/2011/09/16/water-evaporated-from-trees-cools-global-climate/>