

Anna Sagrera Cots

**Predicció estadística de la producció de raïm en base a
variables climatològiques i agronòmiques a *Gramona S.A.***

TREBALL FINAL DE MÀSTER

Dirigit per Ricard Boqué Martí

Máster en BEGUDES FERMENTADES

Facultat d'Enologia



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

**Tarragona
2 de setembre de 2019**

Predicció estadística del rendiment de producció de raïm en base a les variables climatològiques i agronòmiques a Gramona S.A.

Anna Sagrera Cots

C/Ignasi Iglesias 78, Esplugues de Llobregat

anna.sagrera@estudiants.urv.cat

Paraules clau: agroclimatologia, predicció, rendiment, producció, raïm, estadística, meteorologia, agronomia.

Resum

L'activitat agrícola és dependent i està interconnectada amb el clima i la meteorologia. El canvi climàtic i l'escalfament global són una realitat, però causen canvis difícils de predir, afectant especialment als cultius agrícoles i generant incertesa i preocupació entre els agricultors. La vinya és un dels cultius més sensibles a la climatologia caracteritzada per variacions anuals grans en quantitat, qualitat i preu en resposta a canvis en les condicions meteorològiques.

Aquest projecte estudia i analitza un model estadístic de predicció del rendiment basat en variables climatològiques i agronòmiques juntament amb un històric de producció de les parcel·les de *Gramona S.A.*

L'estudi es divideix en dos grans blocs. El primer bloc compila la informació agronòmica i meteorològica de l'emplaçament al llarg de la sèrie temporal estudiada per analitzar la seva evolució, generar una predicció del present any amb el mètode *Holt-Winters* i determinar la seva importància i efectes en la producció segons el model *CatBoost*.

Les variables més importants són l'edat, la temperatura anual, la pluja de brotada a verema i la pluja de verema. A més a més, les que tenen un efecte positiu sobre el rendiment són els valors alts de la pluja de brotada a verema, la pluja anual i les temperatures mínimes entre els mesos de març i abril.

El segon bloc d'aquest projecte parteix de l'anàlisi anterior. S'ha generat un model mitjançant el programa estadístic *Unscrambler X* versió 10.2 per obtenir valors de rendiment per a la verema 2019. Altrament, s'ha avaluat el model per tal de saber si és adequat i, si seria possible la seva extrapolació.

Finalment, el model és correcte al tenir una desviació relativa inferior al 20% i al estar basat en variables altament impredictibles. Aquest resultat pot servir com un nou enfocament del sector i pot ser un preludi del seu futur.

Abstract

The agricultural activity is dependent and is interconnected with the weather and the meteorology. Climate change and global warming are an unpredictable reality that especially affect agricultural crops and generate uncertainty and concern among farmers. The vine is one of the most climatologically sensitive crops characterized by large annual variations in quantity, quality and price in response to changes in weather conditions.

This project studies and analyses a statistical yield prediction model based on climatological and agronomic variables, and a historical plantation production of *Gramona S.A.*

The study is divided in two main parts. The first one compiles the agronomic and meteorological information of the area in order to analyse its evolution, generate a prediction of the present year with the *Holt-Winters* method and determine its importance and effects in the production according to *CatBoost* model.

The most important variables are the age, annual temperature, rain from bud to harvest and harvest rain. In addition, those that have a positive effect on yield are high values of harvest rain, annual rain and minimum temperatures between March and April.

The second part is based on the previous analysis. A model has been generated using the statistical program *Unscrambler X* version 10.2 to obtain performance values for the 2019 vintage. Moreover, the model has been evaluated to find out whether it is appropriate and could be extrapolated.

Finally, the relative deviation of less than 20% indicates the correctness of the model considering that it has being based on highly unpredictable variables. This result can be used as a new standpoint of the sector and a prelude of its future.

Índex

Resum	1
Abstract.....	2
Índex de figures	4
Índex de taules.....	5
1. Introducció	6
2. Marc teòric.....	9
2.1. Rendiment de producció.....	9
2.2. Com mesurar el rendiment de producció.....	10
2.3. Antecedents de l'estudi.....	11
2.4. Definició de les variables climàtiques i altres condicionants	11
2.4.1. Precipitació.....	13
2.4.2. Temperatura	15
2.4.3. Humitat relativa.....	16
2.4.4. Edat de la vinya.....	16
2.4.5. Malalties.....	16
2.4.6. Coberta vegetal permanent.....	17
2.5. Meteorologia de l'emplaçament	18
3. Objectius i hipòtesi	22
4. Materials i mètodes.....	23
4.1. Registre i recopilació de dades	24
4.2. Generació d'una predicció meteorològica.....	24
4.3. Determinació de la importància de les variables	25
4.4. Determinació del rendiment de producció.....	25
5. Resultats i discussió	27
5.1. Predicció meteorològica	27
5.2. Importància de les variables	30
5.3. Rendiments de producció i avaluació del model	34
6. Conclusions i perspectives.....	36
7. Agraïments.....	38
8. Bibliografia	39
Annex 1	42

Índex de figures

Figura 1. Factors influents en la producció de la vinya i en la qualitat del raïm.....	12
Figura 2. Evolució de la precipitació acumulada	18
Figura 3. Evolució de la temperatura anual.....	19
Figura 4. Evolució conjunta i comparativa de la precipitació la temperatura	20
Figura 5. Evolució de la humitat relativa	20
Figura 6. Evolució conjunta i comparativa de la precipitació la humitat relativa.....	21
Figura 7. Evolució de les dades de pluja predites	28
Figura 8. Evolució de les dades de temperatura predites	29
Figura 9. Evolució de les dades de humitat relativa predites	29
Figura 10. Rànquing d'importància dels diferents factors	30
Figura 11. Valoració independent de cada variable	32

Índex de taules

Taula 1. Matriu de correlació de les diferents variables climatològiques	21
Taula 2. Valors estimats de precipitació, temperatura i humitat relativa	27
Taula 3. Valors màxims i mínims de les desviacions i del RMSECV dels resultats de predicció del model	35
Taula 4. Resultats dels rendiments de producció de les 22 parcel·les estudiades amb les corresponents desviacions, RMSECV i anys extrems.....	42

1. Introducció

L'impacte del canvi climàtic en el medi ambient i en l'agricultura ha estat molt estudiat en els darrers anys. En el cas de l'agricultura, les relacions amb el canvi climàtic són nombroses i complexes perquè impliquen sistemes interdependents que es desenvolupen al llarg del temps, donant lloc a influències mútues, tant ambientals com socioeconòmiques (Pomarici & Centre, 2016). És a dir, que tota activitat agrícola és dependent i està interconnectada amb el clima i la meteorologia, influenciant directament en el cicle de vida de les plantes i els animals (Bernetti, Menghini, Marinelli, Sacchelli, & Alampi, 2012; Mozell & Thach, 2014).

El canvi climàtic i l'escalfament global són una realitat. La temperatura mitja global de la Terra ha augmentat 0,8°C des de 1880, dues terceres parts de la qual ha sigut a partir del 1975, a un rati de 0,15 – 0,20°C per dècada. A més a més, 18 dels 19 anys més càlids han ocorregut des de 2001, sent el 2016 l'any més calorós registrat en tota la història. D'aquí a 22 anys, el canvi climàtic ja haurà arrabassat un dels límits establerts a l'Acord de París que van firmar 200 països, ja que es prediu que la temperatura mitja del planeta haurà augmentat més de 1,5°C (IPCC, 2018).

D'entre els efectes de l'escalfament global s'inclouen un increment dels nivells de diòxid de carboni atmosfèric i de la temperatura. Els canvis es caracteritzaran per l'augment del nivell del mar i els patrons meteorològics imprevisibles de precipitació, els fenòmens meteorològics extrems més freqüents i la necessitat d'adaptació general a una major variabilitat de les condicions climàtiques. El problema és que aquests canvis són incerts i sense linealitat, sent molt difícils de predir i inconstants (Pomarici & Centre, 2016).

La influència del clima en l'agricultura és molt evident amb la viticultura i la producció de vi, ja que es considera la vinya com un dels cultius més sensibles a la climatologia caracteritzada per variacions anuals extraordinàriament grans en quantitat, qualitat i preu en resposta a canvis en les condicions meteorològiques, especialment en el cas del raïm de primera qualitat. És a dir, que l'escalfament global influenciarà sobre l'estil del vi (i d'un territori) i la seva qualitat amb modificacions en el creixement de les varietats (avançament de les fases fenològiques: floració, verol i collita), increment del contingut de sucres i reducció de l'acidesa (desequilibris en els perfils de maduració); afectant així la

distribució del conreu, la productivitat de la vinya, la possible propagació de plagues i infeccions de plantes i l'impacte en l'activitat fenològica (Sacchelli, Fabbrizzi, & Menghini, 2016).

A més a més, la vinya és un cultiu molt expressiu geogràficament, ja que es conrea en règims climàtics diferents arreu del món que li proporcionen les condicions ideals per a la producció de raïm i el distingeixen dels altres: és una identitat. Així, la viticultura té una relació molt estreta amb el clima perquè la producció de vi està molt lligada al concepte del *terroir*.

D'altra banda, la producció de raïm de més qualitat es troba en rangs climàtics molt delimitats per tal d'obtenir una qualitat i una producció òptimes, generalment en regions de clima temperat. (Anderson, 2017). Tanmateix, es posa en major risc el cultiu de raïm a la variabilitat climatològica tant a curt com a llarg termini, fet que generarà o bé una mobilització de les regions vitivinícoles cap a d'altres més al nord que no s'hi dediquen actualment (i que algunes àrees que avui dia són perfectes deixin de ser-ho) o bé un canvi varietal, o ambdues. Això està afectant (i afectarà) sobretot a l'hemisferi nord ja que és on més predomina el cultiu de raïm i sobretot, les regions vitivinícoles de qualitat (Mozell & Thach, 2014).

Les regions vitícoles actuals per a la producció de vi de qualitat estan situades en nínxols geogràfics i per tant, climàtics, relativament estrets, fet que incrementa el risc de cultiu degut a la variabilitat climàtica que d'altres amb un nínxol més ample (Jones, 2007). A més a més, a aquest fet se li ha de sumar que hi ha varietats que es poden adaptar fàcilment a les diferents zones climàtiques d'arreu del món ja que poden suportar variacions de fins a 10°C, i d'altres com el *Pinot Noir*, que són més sensibles i només poden variar fins a 2°C (Mozell & Thach, 2014).

El nostre territori no és una excepció. Catalunya és una regió històrica de producció de raïm, on el sector del vi i del vi espumós representa el tercer sector més important de la indústria agroalimentària catalana, sent l'Alt Penedès la comarca amb més producció (OVVC¹). Cada vegada més s'està potenciant el concepte d'una menor producció i una major qualitat, donant importància a la imatge i les característiques del vi, posicionant així a Catalunya com un territori destacat en la producció espanyola de vins de qualitat mitjançant les Denominacions d'Origen.

¹ Observatori de la vinya, el vi i el cava a Catalunya

Tanmateix, amb el canvi climàtic el rendiment experimenta canvis notables any rere any, condicionant tant la qualitat com el preu del producte final, afectant a la renda dels agricultors i repercutint sobre les mesures que cal adoptar per pal·liar els efectes negatius del clima, com les assegurances agràries. Això, unit a la preocupació i incertesa cada vegada més generalitzada pel possible canvi en les variables climatològiques fa que sigui important determinar en quina mesura les variables són un element de risc que poden afectar a la producció i si la seva variabilitat pot explicar part de la variància dels cultius de vinya (Quiroga Gómez & Iglesias, 2004).

Tenint en compte la situació actual del sector, a *Gramona S.A.* s'estan prenent mesures des de ja fa uns anys per tal de mitigar l'impacte del canvi climàtic. El celler, situat a l'Alt Penedès i pioner en el sector a nivell d'innovació i qualitat, remarca la importància de la vinya com a primer pas per a l'excel·lència, potenciant les pràctiques vitícoles ecològiques i biodinàmiques com a mesura d'adaptació i consciència al canvi climàtic. Tot i així, degut a la impredictibilitat i les tendències asimètriques en les variables climatològiques, el rendiment de producció també varia notablement, fet que pot afectar a la qualitat final del producte (veremes prematures: diferències entre maduresa tecnològica i fenòlica, dessecació del raïm i increment del grau alcohòlic; escurçament de la vida de la planta: estrès hídric, esgotament de la reserva del sòl, afectació als microorganismes positius per a la planta i increment de l'aparició de malalties, entre d'altres) i a tot l'esforç realitzat durant tot l'any.

Per aquest motiu, la temàtica del present projecte de final de màster pot resultar especialment interessant per tal d'avaluar des del punt de vista econòmic l'impacte del canvi climàtic, contribuir a una major previsió, i ajudar a la creació i implementació d'estratègies d'adaptació a aquest canvi a curt i a llarg termini tant del sector vitivinícola com d'altres sectors i cultius agrícoles, ja que és un dels que es veu més implicat directament amb el clima i amb un grau major d'afectació que la resta.

2. Marc teòric

2.1. Rendiment de producció

En l'agronomia, el rendiment és la relació entre la producció total d'un cultiu determinat conreat per hectàrea de terreny utilitzada. Depèn de la quantitat individual existent de plantes per aquella unitat de superfície (densitat de població) i de la producció particular de cadascun, juntament amb les característiques particulars de cada cultiu.

En el cas de la vinya, al tractar-se d'un cultiu perenne, el seu rendiment està determinat per les condicions de les temporades successives, on la majoria de les etapes de desenvolupament responen al medi ambient, al genotip, al maneig i a les seves interaccions (Sadras, Moran, & Petrie, 2017). És a dir, que el rendiment depèn del potencial de cultiu, de les condicions meteorològiques i tots els factors implicats en la gestió del conreu.

Com passa amb la majoria dels conreus hortícoles, els productors de vi de qualitat regulen els rendiments de producció per tal d'aconseguir una major qualitat i beneficis, considerant la importància d'unes pràctiques de gestió de cultiu de la vinya adequades com a mesura preventiva, sobretot actualment en el context de l'escalfament global (Sadras et al., 2017).

En el cas del potencial de la planta, representat pel vigor, es defineix com la taxa de creixement relatiu d'un cep o d'un brot, és a dir, la capacitat productiva tant de brots, fulles i raïms. El fet de trobar un balanç correcte entre el creixement vegetatiu (brots, fulles i arrels) i el desenvolupament reproductiu (raïm), beneficia els sistemes de producció i representa un equilibri. El vigor doncs, està relacionat amb la càrrega i el nivell de cultiu, ja que un vigor excessiu pot afectar la composició del raïm (reduint la mida i retardant la maduresa) i, si no es controlés amb la poda, augmentant el creixement segons els mecanismes de compensació, els ceps continuarien creixent indefinidament en condicions favorables (Bologna et al., 2013; Aleixandre-Tudó et al., 2016).

Tot i això, malgrat que es realitzin unes bones pràctiques de gestió i potencial del cultiu, la relació amb les condicions meteorològiques és interdependent. La dificultat de predicció a nivell d'afectació del rendiment de la vinya, fa que s'hagi estudiat poc i/o sense conclusions significatives. Aquest és l'objecte d'estudi del present projecte.

2.2.Com mesurar el rendiment de producció

A la majoria de bodegues, el rendiment de la vinya no es mesura per les condicions climàtiques, sinó per les condicions físiques de la mateixa planta i, per tant, és bastant fiable. Aquest, tal i com es mostra a l'estudi Komm & Moyer, 2015, es considera que el rendiment ve donat per:

- Número de borrons que es deixen a la poda (depèn del viticultor).
- Fertilitat (depèn de las condicions climàtiques de l'any precedent i de l'estat nutricional)
- Número de flors per gotim (depèn de condicionants genètics, climàtics de l'any precedent ja que defineixen la mida del gotim i el nombre de ramificacions, condicions al desbollar, i fonamentalment de l'estat nutricional).
- Número de baies per gotim (depèn de la taxa de quallat que depèn alhora de les condicions climàtiques durant la floració, de condicionants genètics, de competència per fotoassimilats amb els àpexs en creixement i de l'estat nutricional).
- Pes de la baia (depèn fonamentalment de l'estat hídric i de que es donin fenòmens de deshidratació al final del cicle).

Considerant aquests paràmetres, es realitzen mesures durant la floració-quallat, al verol, durant el període de maduració i a la verema. A partir d'aquí, el rendiment per parcel·la es calcula mitjançant la següent equació:

$$Kg/_{parcel \cdot la} = \frac{gotims}{planta} \times \frac{kg}{gotims} \times \frac{1}{distància plantes} \times \frac{10.000 m^2}{distància files} \times superfície parcel \cdot la$$

A partir d'aleshores i com més temps es realitzi aquest procés a les parcel·les, més acurats seran els resultats, ja que s'estimaran valors com pot ser el pes dels gotims segons varietats a través d'un historial de pesos de la pròpia finca, per la qual cosa i al llarg termini, els resultats seran més fiables i també es podrien arribar a predir amb una mica més d'anterioritat.

Actualment (tot i que encara no s'està implementant àmpliament), s'està començant a combinar aquesta metodologia amb imatges multiespectrals obtingudes amb drons o mapes de satèl·lit (per saber el vigor vegetatiu i calcular el seu índex). És el que es

coneix com a viticultura de precisió, un exemple de la qual es pot observar a l'estudi Bordes & Martínez-Casanovas, 2005.

2.3. Antecedents de l'estudi

Tot i així, el projecte es vol desmarcar d'aquesta metodologia ja que es vol intentar predir el rendiment amb anterioritat, i no es pot dur a terme seguint aquest procés. Centrant-nos doncs en estudis sobre el càlcul del rendiment mitjançant les variables climatològiques i històrics de producció, es troben articles tals com Jones & Davis, 2000; Quiroga Gómez & Iglesias, 2004, entre d'altres.

Als dos estudis s'utilitzen models de regressió en base a les condicions meteorològiques i a l'històric de producció per al càlcul del rendiment. Els resultats d'ambdós posen de manifest la necessitat d'un seguiment a llarg termini i d'un monitoratge acurat de la vinya durant l'etapa de creixement, dades sense les quals els viticultors no poden tenir les eines necessàries per entendre les tendències històriques i futures. A més a més, la manca de bones dades ja sigui per canvis de propietat, mala conservació dels registres i reticència a compartir informació, és una limitació major que la variabilitat i impredictibilitat de les condicions climàtiques.

2.4. Definició de les variables climàtiques i altres condicionants

A la maduració del raïm influeixen un número considerable de factors que, al expressar-se, determinaran les característiques de la verema produïda i, consegüentment, la del vi elaborat. En alguns casos, aquests factors afectaran a la quantitat de raïm recol·lectat mentre que en d'altres, a la seva qualitat. Aquestes qüestions vénen donades per diversos factors influents que es mostren a la *figura 1* i que poden ser: permanents, variables, accidentals i modificables.

D'entre les variables permanents es troben el sòl, la varietat de raïm, la densitat i disposició de la vinya i el *terroir*, entre d'altres; mentre que els factors variables són aquells que canvien any rere any, sent normalment de tipus climàtic. Els factors accidentals es produeixen normalment per condicions meteorològiques adverses afectant a la qualitat i a la quantitat de raïm, i generalment es poden prevenir o curar. Finalment, els factors modificables són els que es fan variar voluntàriament pel viticultor.

En relació al present projecte, s'estudia majoritàriament l'efecte dels factors variables sobre la qualitat i la quantitat del raïm, tot i que també es tindran en compte altres factors condicionants de tipus accidental i modificable.

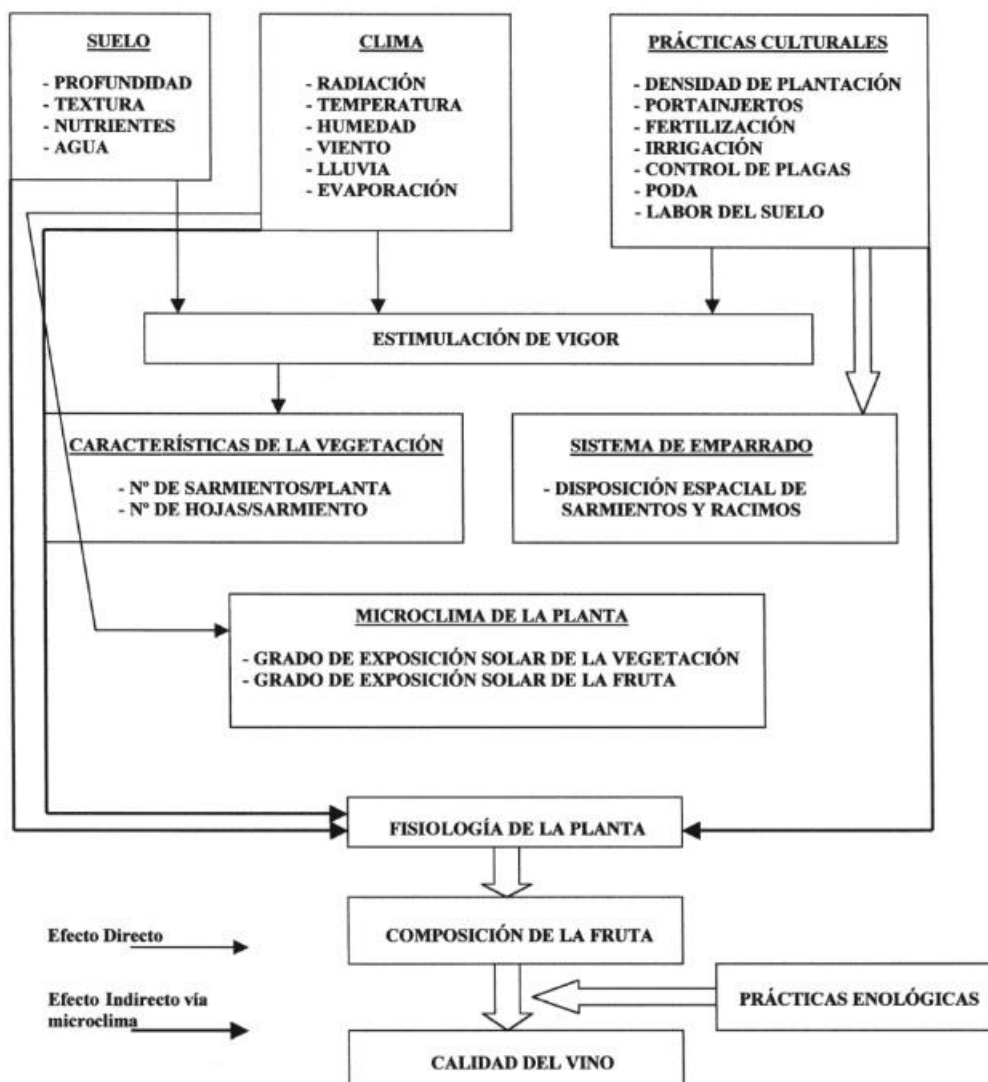


Figura 1. Factors influents en la producció de la vinya i en la qualitat del raïm.

L'agroclimatologia és una ciència relativament recent que estudia la relació intrínseca que existeix entre l'agricultura i els fenòmens i processos climatològics. Si bé la climatologia no és l'únic factor del medi físic que influeix a l'activitat agrícola, sí que és el que està sotmès a variacions més brusques al llarg del temps i, consegüentment, els seus efectes són més visibles a curt termini. És un important factor de risc que comporta, en ocasions, pèrdues substancials o totals de les collites (Hernández-Navarro, 1993).

Aquesta ciència doncs, pretén aprofundir amb dita relació i, així, proporcionar les bases científiques necessàries per optimitzar la presa de decisions en la planificació agrícola tant a escala individual com a escala regional o fins i tot nacional. Amb més informació es pot actuar i adaptar millor a certes condicions, fet que conduirà a una agricultura harmònica amb el medi, amb més regularitat i garantia de qualitat i, per tant, més d'acord amb els postulats de rendibilitat econòmica (Hernández-Navarro, 1993).

En el cas més concret de la vinya i seguint van Leeuwen, 2010, es considera interessant el fet de determinar el rendiment a través de variables climatològiques ja que, segons l'estudi, els atributs de la qualitat del raïm vénen més determinats per aquestes que pel tipus de sòl. Tot i així, Sadras et al., 2017 manifesta també la dificultat de la vinya com a planta perenne de llarga durada, ja que no és un cultiu estacionari i depèn molt també d'altres factors altament condicionants apart de la climatologia (fet que no succeeix amb els cultius anuals).

Estudiar l'afectació de les variables climàtiques amb la vinya i producció de vi és important perquè afecta no solament el rendiment sinó la seva qualitat final, molt important en aquest tipus de producte (Mozell & Thach, 2014), tant a nivell d'un celler com d'una regió (tipicitat).

Per tal d'establir les expressions quantitatives que relacionen el creixement i desenvolupament dels cultius a cada fase fenològica i la seva productivitat final amb la climatologia, és necessari analitzar els elements atmosfèrics, la seva variabilitat i freqüència d'aparició. A més a més d'aquestes dades, el banc de dades agroclimàtiques ha d'estar compost per un històric dels rendiments de cultiu (Hernández-Navarro, 1993).

Per a realitzar aquesta primera fase és necessari disposar d'una base de dades meteorològiques general, proporcionades per estacions meteorològiques. En el cas concret del cultiu de la vinya, considerant el seu cicle vital i la zona (Alt Penedès), s'han considerat les següents dades meteorològiques condicionants i determinants per al seu creixement i desenvolupament:

2.4.1. Precipitació

La pluja és beneficiosa pel creixement i supervivència de la vinya. Tot i que aquesta és resistent a períodes de sequera per les seves arrels profundes, el cultiu és adequat en

regions amb una precipitació anual entre 600 i 800 mm, encara que també pot cultivar-se en regions amb 250mm anuals si cauen ben distribuïts i convenientment (és el mínim per tal de poder continuar amb el creixement vegetatiu). Per tant, el *timing* de precipitació és crucial (Sluys, 2006; de Cara-García, 2010).

En línia amb aquesta darrera afirmació, s'ha dividit la variable pluja en tres categories:

- **Anual**
- **De brotada fins a la verema**
- **Durant la verema**

La pluja anual és important per conèixer la reserva d'aigua del sòl, ja que si plou durant la tardor o l'hivern però després de la brotada s'entra en un període de sequera, la planta sobreviurà gràcies a dita reserva. A més a més, durant la brotada és important una bona reserva d'aigua ja que en aquest període hi ha una intensa activitat radicular que s'estimula per la humitat edàfica (Sluys, 2006; de Cara-García, 2010). En aquest cas, la pluja anual s'ha calculat acumulativament d'octubre de l'any $t-1$ al mes de setembre de l'any t .

La pluja de brotada a verema inclou tot el cicle de creixement del fruit, des de floració fins al quallat, el verol i la maduració. La precipitació durant la floració pot provocar la caiguda de les fulles i és perjudicial, però en canvi, és necessària de la floració al quallat ja que es produeix una fotosíntesi intensa (Sluys, 2006; de Cara-García, 2010). Considerant el Penedès com a zona d'estudi, la pluja de brotada s'ha calculat acumulativament del mes d'abril al mes de juliol (inclòs) de l'any t .

Durant la verema la pluja és perjudicial perquè, apart de dificultar la recol·lecció del raïm, la collita es pot podrir per l'acció de fongs (*Botrytis cinerea*). S'ha considerat la pluja de verema entre els mesos d'agost i de setembre de l'any t , ja que l'Alt Penedès és un dels primers territoris catalans on es comença a veremar abans.

També s'ha considerat dins d'aquesta variable l'afectació per pedregada des de la brotada fins la verema, ja que causa danys físics als fruits, fulles i sarments, però no s'han observat casos importants d'afectació per aquesta variable al llarg del període estudiat i, per tant, s'ha obviat.

2.4.2. Temperatura

La temperatura és una variable que afecta tant la fenologia i els cicles vegetatius de la vinya com la qualitat del raïm. Unes temperatures extremes poden ser perjudicials tant per la planta com pel fruit, si estem en el cicle vegetatiu. Tot i així, la temperatura mitja òptima durant l'època de creixement és diferent per a cada varietat (de Cara-García, 2010; Mira de Orduña, 2010 Mozell & Thach, 2014).

A l'estiu, les temperatures massa altes, especialment si van acompanyades d'aire o vent sec, cremen les fulles i els raïms. La calor desseca el sòl, atura el creixement dels fruits, accelera i avança la seva maduració produint sucres i reduint l'acidesa. Aquesta tendència és la que s'ha pogut observar els últims 10 anys majoritàriament, en els quals, a causa de l'augment de temperatures pel canvi climàtic, els raïms són de més graduació i menys àcids i, a més a més, les dates del cicle vegetatiu de la vinya s'estan avançant (de Cara-García, 2010; Mira de Orduña, 2010 Mozell & Thach, 2014).

D'altra banda, temperatures molt baixes a l'hivern (per sota dels -2°C) que provoquin gelades just després de la brotada solen afectar a la collita. En zones altament afectades per aquest succés, s'ha d'optar o bé per varietats de brotada tardana o bé endarrerint la poda ja que, per molt que produeixi danys, almenys es disposa de més brots utilitzables (de Cara-García, 2010; Mira de Orduña, 2010 Mozell & Thach, 2014).

Seguint aquestes condicions relacionades amb la variable temperatura, també s'ha subdividit en tres categories:

- **Anual**
- **De brotada fins a la verema**
- **Mínima entre els mesos de març i abril**

Considerant el present projecte, s'han calculat les diferents subcategories de la variable temperatura igual que les de precipitació. La temperatura anual s'ha calculat amb la mitjana d'octubre de l'any $t-1$ al mes de setembre de l'any t , mentre que la temperatura de brotada a verema del mes d'abril al mes de juliol (inclòs) de l'any t .

2.4.3. Humitat relativa

La humitat relativa està molt relacionada amb la precipitació ja que a més pluja, més humitat. És a dir, estan correlacionades. Tal i com s'ha comentat anteriorment, en algunes etapes tals com la brotada, ajuda el fet que hi hagi una alta humitat edàfica ja que l'activitat radicular és alta. Tanmateix, la humitat també pot ser perjudicial per a l'aparició de malalties, ja que si es donen les condicions climàtiques adequades durant el cycle vegetatiu (calor humit), aquestes poden proliferar amb rapidesa, com en el cas del míldiu (de Cara-García, 2010). La humitat relativa anual s'ha calculat amb la mitjana d'octubre de l'any $t-1$ al mes de setembre de l'any t .

En relació a variables no climàtiques però que o bé estan correlacionades amb elles i/o condicionen el cycle vegetatiu de la vinya, s'han definit tres com a les més importants:

2.4.4. Edat de la vinya

A mesura que la vinya assoleix una edat més avançada, la qualitat de les veremes augmenta en paral·lel mentre que la producció decreix. Normalment, les vinyes velles contenen una gran quantitat de cicatrius produïdes per ferides de poda, que dificulten la circulació de la saba pels vasos conductors, fent que es produeixi un menor nombre de gotims i sent aquests d'una mida inferior (Hidalgo Togores, 2003).

2.4.5. Malalties

Les malalties que afecten al raïm són unes variables correlacionades amb la climatologia, concretament, amb la precipitació i la humitat relativa. En el cas de la vinya i considerant l'Alt Penedès com a regió d'estudi, les malalties més importants són:

- **Míldiu**
- ***Botrytis cinerea***

Aquestes malalties sorgeixen en diferents etapes del cycle vegetatiu i la seva acció (i tractament, si es pot) també és diferent. La majoria de les malalties que afecten al raïm (fúngiques) estan directament relacionades amb l'alta humitat (Sluys, 2006; de Cara-García, 2010).

El míldiu ve altament condicionat per la pluja i, així doncs amb períodes constants d'alta humitat a partir del quallat. És una malaltia més típica de climes atlàntics que no mediterranis, però s'han donat alguns períodes amb dites condicions i, per tant, amb l'aparició de dita malaltia (Sluys, 2006; de Cara-García, 2010).

En el cas de la *Botrytis cinerea*, la seva aparició es relaciona amb les pluges durant la verema ja que causa que els grans de raïm es trenquin i siguin més susceptibles. Aquesta redueix tant el rendiment de producció (ja que pansifica el raïm) i afecta la seva qualitat, ja que no es tracta de la podridura noble (Sluys, 2006; de Cara-García, 2010).

També s'ha de considerar que una de les malalties més importants i que apareix amb més freqüència al llarg dels anys a l'Alt Penedès és l'oïdi, per les humitats a finals de primavera i inicis de l'estiu. Tanmateix, en el període estudiat no hi ha hagut successos d'alta afectació per aquesta malaltia i, per tant, s'ha obviat.

2.4.6. Coberta vegetal permanent

Considerant les pràctiques agrícoles ecològiques, la coberta vegetal és una bona eina per tal de prevenir l'erosió i la lixiviació dels nutrients del sòl per la pluja, actua com una capa protectora envers fenòmens meteorològics adversos tals com la pedra o les gelades a l'hivern i regula la temperatura. A més a més, pot millorar les propietats físiques i biològiques del sòl i la seva diversitat (Sluys, 2006).

Tanmateix, en zones amb baixa precipitació i sòls amb poca reserva d'aigua, com és el cas de l'Alt Penedès, una coberta vegetal permanent és perjudicial ja que, durant el cicle vegetatiu de la vinya, es dona a terme un fenomen de competència de nutrients i aigua, fet que pot estressar la vinya i reduir la producció i la qualitat del raïm. Aquest fet s'ha observat en alguns dels anys d'estudi i, per tant, s'ha considerat com una variable condicionant al projecte (Monteiro et al., 2008; Trigo-córdoba et al., 2015).

Tot i així, una coberta vegetal no permanent que s'estableixi en períodes concrets i adequats en el cicle de la vinya, poden aportar els beneficis mencionats anteriorment sense els inconvenients que pot comportar la seva permanència.

2.5.Meteorologia de l'emplaçament

Per tal de conèixer les particularitats concretes del cicle de la vinya i obtenir informació sobre l'àrea d'estudi, es va analitzar la base de dades meteorològiques de l'estació de Sant Sadurní d'Anoia del 2009 a 2019.

En aquest cas, s'han agafat dades a partir del 2009 ja que el cicle de la vinya s'inicia quan finalitza la verema anterior, a l'octubre i, per tant, si es considera la producció a partir del 2010 (ja que és quan les pràctiques són comparables a l'actualitat), les dades meteorològiques han de ser estudiades des de l'any anterior. Altrament, s'han agafat les dades d'aquesta estació meteorològica perquè totes les parcel·les estan ubicades al voltant del celler i a una distància màxima de 2 quilòmetres.

A part de poder obtenir una primera idea sobre com les variables poden arribar a influir en el cicle de la vinya a les parcel·les de *Gramona S.A.*, també es pot visualitzar la sèrie temporal i les possibles causes d'afectació a la producció de cada any.

Aquest anàlisi s'ha realitzat únicament amb els factors variables, meteorològics, considerant la precipitació (*figura 2*), la temperatura (*figura 3*) i la humitat relativa (*figura 5*) del 2009 al 2019.

La precipitació, tal com s'ha mencionat anteriorment a l'*apartat 2.4*, és beneficiat pel creixement i supervivència de la vinya. És important observar la seva evolució ja que informa sobre l'estat reservori d'aigua al sòl i dels períodes de pluja més destacables, podent-los vincular amb el cicle de la vinya relacionant-los a nivell d'importància. Aquesta evolució es pot observar a la següent *figura 2*:

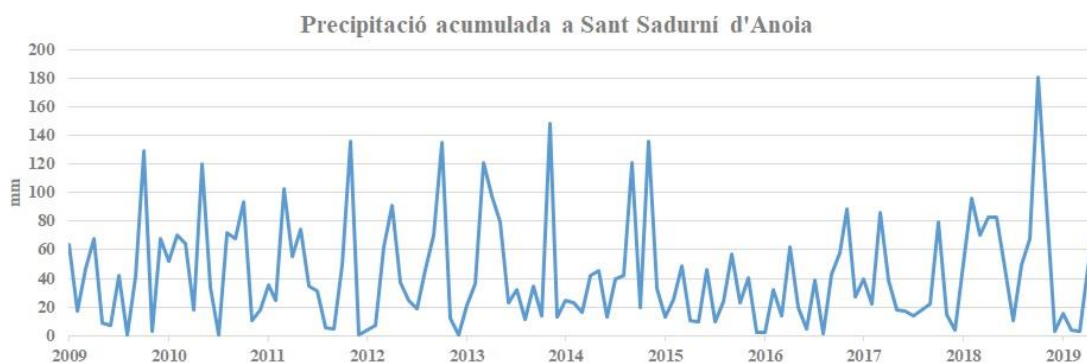


Figura 2. Evolució de la precipitació acumulada en mm a l'estació de Sant Sadurní d'Anoia del 2009 al maig de 2019.

La precipitació manté una lleugera estacionalitat (per les estacions) al llarg dels anys, però no manté una mateixa tendència, variant sobretot de manera significativa a partir del 2015. Aquí és on es pot observar millor la variació al llarg del temps, fet que es relaciona amb el canvi climàtic. La sèrie permet visualitzar la impredictibilitat de la pluja i com això condiciona les pràctiques agrícoles i pot arribar a afectar a la producció i qualitat del raïm.

D'altra banda, la temperatura també és important en el cicle de la vinya, no tant a nivell anual sinó més a nivell concret ja que certs períodes de temperatures anormals o extremes en algun moment determinat del cicle, poden afectar i molt la vinya. L'evolució de la temperatura es pot observar a la *figura 3*:

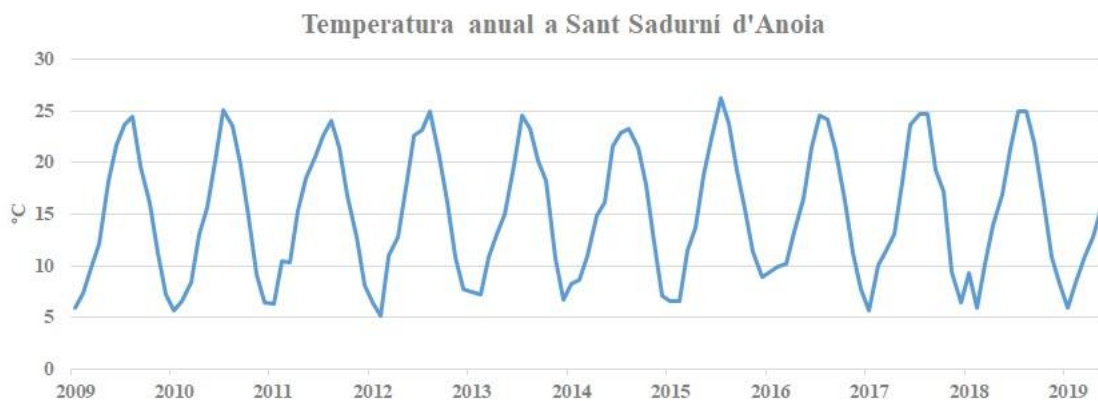


Figura 3. Evolució de la temperatura anual en °C a l'estació de Sant Sadurní d'Anoia del 2009 al maig de 2019.

En aquest cas, l'estacionalitat de la temperatura és molt visible i molt marcada al llarg de tot el període estudiat, fet que ens remarca el que s'ha mencionat a la bibliografia sobre aquesta variable: la importància del moment en el qual es produeixen variacions significatives fora de la normalitat. Així doncs, la temperatura mitjana anual és d'aproximadament 15°C, típiques d'un clima mediterrani i molt adequades per a un creixement adequat de la vinya.

Relacionant les variables de pluja i temperatura, tal com es mostra a la *figura 4*, s'observa com a valors més alts de precipitació, més baixa és la temperatura i viceversa. A partir d'aquest gràfic queden visibles les estacions, ja que a l'estiu plou poc i la temperatura és elevada, mentre que a la tardor i a l'hivern plou més i les temperatures

són més baixes. A més a més, també es visualitza millor l'estacionalitat més marcada de la variable temperatura respecte a la precipitació, la qual és més canviant.

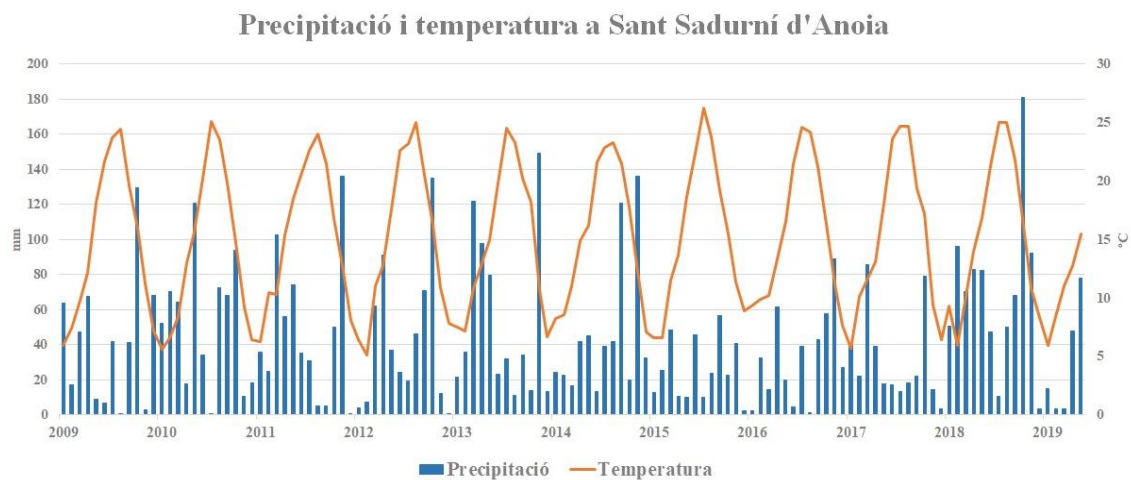


Figura 4. Evolució conjunta i comparativa de la precipitació en mm i la temperatura en °C a l'estació de Sant Sadurní d'Anoia del 2009 al maig de 2019.

La humitat relativa està molt correlacionada amb la precipitació. Tot i així, al ser una zona de clima mediterrani on no plou en excés i tampoc és massa variable, la humitat tot i no ser constant, es manté aproximadament al 70% i no experimenta variacions molt significatives, com s'observa a la figura 5. Per tant, la sèrie temporal mostra la constància de dita variable i la correlació amb la precipitació.

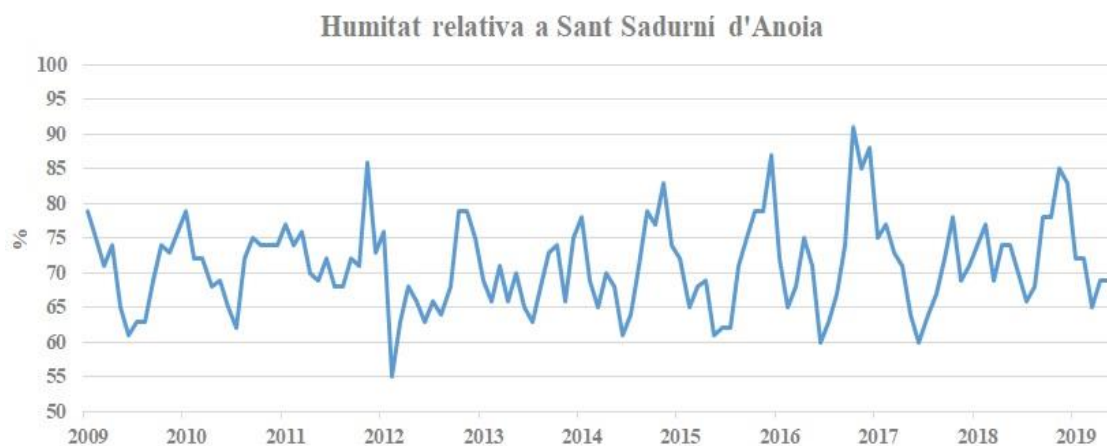


Figura 5. Evolució de la humitat relativa en % a l'estació de Sant Sadurní d'Anoia del 2009 al maig de 2019.

La comparació entre les variables de precipitació i humitat relativa es pot observar amb més detall a la *figura 6*, en la qual la correlació directament proporcional queda visualitzada. A valors més alts de precipitació, més alta és la humitat relativa, fet que concorda amb la informació revisada a la bibliografia.

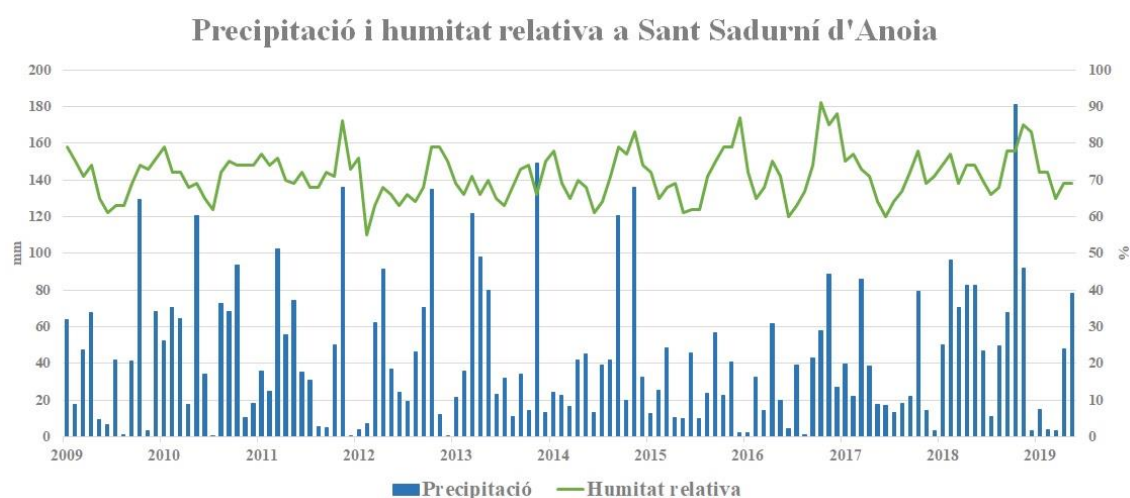


Figura 6. Evolució conjunta i comparativa de la precipitació en mm i la humitat relativa en % a l'estació de Sant Sadurní d'Anoia del 2009 al maig de 2019.

Finalment, a la *taula 1* es poden observar les correlacions entre les diferents variables de precipitació, temperatura i humitat relativa per tal de valorar el que s'ha observat a les *figures 4 i 6* anteriors.

Taula 1. Matriu de correlació de les diferents variables climatològiques.

	<i>Precipitació</i>	<i>Temperatura</i>	<i>Humitat relativa</i>
Precipitació	1		
Temperatura	-0,05786392	1	
Humitat relativa	0,3301291	-0,41976921	1

Tal i com es pot observar, la precipitació i la temperatura estan correlacionades positivament amb un coeficient de 0,33 mentre que la precipitació i la temperatura estan correlacionades negativament amb un coeficient de -0,05. Aquests valors concorden amb el que s'observa a les figures i amb el que s'ha mencionat a la bibliografia revisada.

3. Objectius i hipòtesi

La hipòtesi formulada en el present estudi és que les variables climàtiques i agronòmiques juntament amb els històrics de producció, poden generar un model estadístic estable per tal de determinar el rendiment prematur i el grau d'importància de dites variables en un territori determinat.

L'objectiu general d'aquest projecte consisteix en entendre millor la influència de la climatologia en el cultiu de la vinya, en aquest cas, a nivell concret de les parcel·les propietat de *Gramona S.A.*, per tal de poder predir i mitigar els seus efectes, no solament a nivell de rendiment sinó també de qualitat.

La mitigació del canvi climàtic al sector agrícola i, més concretament, del vitivinícola, es planteja gairebé com una necessitat. En aquesta línia i correlacionant-se amb l'objectiu general, el segon objectiu d'aquest estudi pretén obtenir informació secundària sobre les variables climàtiques i el seu grau de magnitud segons el productor, zona i cultiu, entre d'altres,

La finalitat d'aquest projecte, doncs, serà la determinació prematura del rendiment productiu dels cultius de vinya juntament amb les variables climàtiques que el condicionen a nivell personalitzat per tal de dur a terme accions preventives sobre l'efecte del canvi climàtic en el producte final i redueixi la impredictibilitat i preocupació envers aquesta situació. La informació obtinguda ens permetrà conèixer i analitzar les influències de diversos factors intrínsecs i extrínsecs del cultiu, així com aspectes que determinen i condicionen el seu rendiment i qualitat.

El present projecte pot servir com una guia per a productors no solament de vitivinícoles sinó d'altres conreus agrícoles que vulguin predir el rendiment de producció en base a les variables climatològiques de cada any, reduint així la incertesa i podent mitigar les conseqüències econòmiques resultants.

4. Materials i mètodes

La metodologia implementada per a la realització del present projecte ha sigut combinada: d'una banda, utilitzant fonts secundàries d'informació bibliogràfica i registres oficials per tal de generar una compilació de dades meteorològiques dels darrers anys i determinar les més influents en el cicle de la vinya obtenint així una visió més profunda de l'àmbit d'estudi.

I, d'altra banda, a través de dades primàries obtingudes dels registres de *Gramona S.A.* per tal d'obtenir un històric de producció que permet generar una relació amb les variables meteorològiques, personalitzant la informació.

El projecte s'ha realitzat íntegrament des de *Gramona S.A.*, amb la col·laboració del personal de la URV, tant pel disseny del projecte com per la recopilació de dades.

Els materials i metodologia utilitzats per a la seva realització s'enumeren a continuació:

- Estudi bibliogràfic previ
- Recopilació de dades meteorològiques i del sector
- Disseny del model estadístic

L'enfocament metodològic seguit i aplicat es pot resumir en les etapes següents:

1. Generar una llista determinada de les variables climàtiques i agronòmiques que afecten el cicle de la vinya a través de la revisió bibliogràfica realitzada.
2. Registre i recopilació de les dades meteorològiques i de rendiment.
3. Tractament estadístic de les dades obtingudes.
4. Avaluació del model.

4.1.Registre i recopilació de dades

Per a la realització del present estudi s'ha hagut de generar una base de dades tant meteorològic com de producció per tal de poder-les tractar posteriorment i obtenir el rendiment de producció per parcel·les. Ambdós registres s'inicien al 2010, ja que és a partir d'aquell any en el qual els terrenys de *Gramona S.A.* són oficialment ecològics i, per tant, les dades poden ser comparables i analitzades per igual fins a l'actualitat. Sinó, hauríem d'afegir altres variables relacionades amb els factors modificables i les gestions de cultius i, malgrat això, els resultats sortirien més distorsionats.

Les dades meteorològiques s'han obtingut a través del portal del Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca (DARP) *RuralCat* ² provinents del Servei Meteorològic de Catalunya³, una eina d'Internet que facilita l'accés a la informació, la formació i el servei d'interès pel sector i col·lectiu rural. Les dades són de l'estació meteorològica de Sant Sadurní d'Anoia, municipi en el qual es troba l'empresa i totes les finques a estudiar.

D'altra banda, les dades dels rendiments de producció de la sèrie d'anys que conformen l'estudi s'han hagut de registrar (ja que algunes dades encara no estaven informatitzades) i, posteriorment, recopilar de la base de dades de l'empresa segons els anys i les dades d'interès per al projecte.

4.2.Generació d'una predicció meteorològica

Per tal de generar una predicció del rendiment de producció d'aquest any, es requereixen una sèrie de dades climatològiques de les variables descrites anteriorment a l'*apartat 2.4* per tal de determinar-ho juntament amb els històrics de producció. Per tal d'obtenir-les s'ha de realitzar una predicció meteorològica en base als històrics meteorològics de la franja temporal estudiada.

Malgrat que en aquest cas es realitza una predicció en base a un model estadístic, hi ha altres possibles solucions tals com utilitzar prediccions de proveïdors externs de dades meteorològiques.

² <https://ruralcat.gencat.cat/>

³ <http://www.meteo.cat/>

Aquesta predicció es realitza mitjançant una regressió amb un model de sèries temporals, anomenat *Holt-Winters* (Holt, 1957; Winters, 1960), un tipus de model d'exponencials suavitzats. S'ha escollit aquest model ja que no tan sols efectua una regressió exponencial (on es valoren amb més pes les dades actuals) sinó que també té un component d'estacionalitat (en aquest cas, de 12 mesos). El fet de poder donar més importància a les dades actuals i considerar l'estacionalitat cíclica fa que sigui idoni per a fer prediccions climatològiques, en els quals hi ha una forta estacionalitat.

En aquest cas, s'ha trobat que la bondat de l'ajust era més gran utilitzant el mètode additiu. La implementació escollida d'aquest model és la del paquet estadístic *Statsmodel* versió 0.10.1 del llenguatge de programació *Python* versió 3.6.7.

4.3.Determinació de la importància de les variables

Altrament, també és important obtenir a nivell personalitzat, una avaluació concreta del nivell d'afectació i/o d'importància de les variables en el projecte realitzat per així, poder enfocar millor les mesures preventives i realitzar accions significatives en base a la climatologia.

Aquesta informació també s'ha obtingut mitjançant el llenguatge informàtic *Phyton* versió 3.6.7, en base a la informació dels històrics de producció i meteorològics i realitzant comparatives per saber la influència de cada variable. El model utilitzat en aquest cas s'anomena *CatBoost* de l'empresa *Yandex*, implementat en *Phyton*.

Aquest model utilitza una sèrie d'arbres de decisions per tal de proporcionar un millor ajust. Una vegada entrenat el model, s'ha analitzat utilitzant el paquet SHAP (SHapley Additive exPlanations) de *Phyton* per avaluar la influència de les variables dins del model.

4.4.Determinació del rendiment de producció

Finalment, una vegada obtinguda la previsió meteorològica de les dades mancants de l'any 2019 juntament amb els històrics tant meteorològics com de producció des de l'any 2010, s'ha determinat el rendiment de producció del present any.

El rendiment, obtingut en quilograms per hectàrea, s'ha determinat per a cada parcel·la propietat de *Gramona S.A.* mitjançant el programa estadístic *Unscrambler X* versió 10.2 (CAMO Analytics AS, Oslo, Norway).

Donada la naturalesa multicomponent de les dades, es van realitzar models de regressió multivariants per a relacionar les variables predictores (metereològiques i agronòmiques) amb la producció per hectàrea en les diferents parcel·les. El mètode utilitzat va ser la regressió PLS (*Partial Least-Squares*), implementada en el mateix software. El mètode PLS es basa en el càlcul d'unes variables latents o factors, que són combinació lineal de les variables originals i que es correlacionen el màxim possible amb la variable que es vol predir, en aquest cas el rendiment de producció per hectàrea.

Per a que els models siguin adequats és necessari que el nombre de mostres, en el nostre cas els anys de producció de les finques, sigui elevat. Així, es van realitzar models de regressió per a aquelles finques de les que es disposava d'informació d'almenys 8 anys.

Per a validar els models PLS es va utilitzar el mètode de la validació creuada (*leave-one-out cross-validation*). Aquest mètode comença deixant una mostra fora del model, construeix el model amb les mostres restants i després prediu la mostra que s'ha deixat fora. Es calcula la diferència, anomenada residual, entre el valor predit i el conegut, i després es repeteix el procés per a les diferents mostres. És a dir, al final, totes les mostres han quedat fora del model una vegada. Finalment, amb els residuals de les diferents prediccions es calcula un error mitjà, anomenat RMSECV (*Root Mean Square Error of Cross-Validation*), segons la següent equació:

$$RMSECV = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^I (y_{i,mes} - y_{i,pre})^2}{I}}$$

On $y_{i,mes}$ i $y_{i,pre}$ són els valors de les produccions per hectàrea mesurats (coneguts) i predits pel model PLS, respectivament. I és el nombre de mostres que s'han anat deixant fora del model en el procés de validació creuada, i que equival en el nostre cas amb el nombre de mostres total del conjunt de dades de cada parcel·la). El valor de RMSECV dóna una idea de l'error futur mitjà que es pot cometre amb el model calculat, en unitats de kg/hectàrea.

5. Resultats i discussió

5.1. Predicció meteorològica

Per tal de poder obtenir el rendiment de producció de les diferents parcel·les de *Gramona S.A.* de la present verema, es requereix obtenir les dades meteorològiques que falten a la base de dades. El cicle anual de la vinya es considera des de la finalització de la verema de la campanya anterior fins a la finalització de la següent. En el cas del Penedès és normalment d'octubre a setembre.

Seguint això, els factors climatològics anuals s'han analitzat segons el període temporal mencionat. Tanmateix, a la data de realització de l'anàlisi estadístic (juny del 2019), les dades que restaven eren del juny al setembre, sense les quals no es podia realitzar l'estimació de la producció d'aquest any.

Per aquest motiu, s'extrapolaren les dades meteorològiques del gener del 2009 fins al maig del 2019 a nivell estadístic i a través del llenguatge informàtic *Phyton* per tal de poder obtenir aquestes dades segons les característiques climatològiques del present any. Les dades requerides foren només les de precipitació, temperatura i humitat relativa en aquell període.

En base a aquest històric es van obtenir els següents valors per a les diferents variables tal com es mostra a la *taula 2*.

Taula 2. *Valors estimats estadísticament de precipitació, temperatura i humitat relativa de juny a desembre del 2019.*

	Precipitació	Temperatura	Humitat relativa
Juny	35,6	21,9	65
Juliol	27,2	24,7	65
Agost	36,2	24,54	69
Setembre	60,7	20,9	76
Octubre	106,1	16,9	80
Novembre	75,8	11,4	80
Desembre	17,6	7,9	80

Els valors obtinguts a través del llenguatge informàtic, es consideren correctes relacionant-los amb els altres valors de la sèrie, tal i com es pot veure als gràfics obtinguts, en els quals s'observa l'evolució de la precipitació (*figura 7*), la temperatura (*figura 8*), i la humitat relativa (*figura 9*), amb els valors predits.

La precipitació és el factor més variable dels tres, sent aquest el més difícil de predir, sobretot a llarg termini. Tanmateix, i tal i com es pot observar a la *figura 7*, els valors de les dades obtingudes (*taula 2*) es relacionen correctament amb les altres dades meteorològiques de la sèrie, considerant doncs aquests com uns valors de predicció adequats.

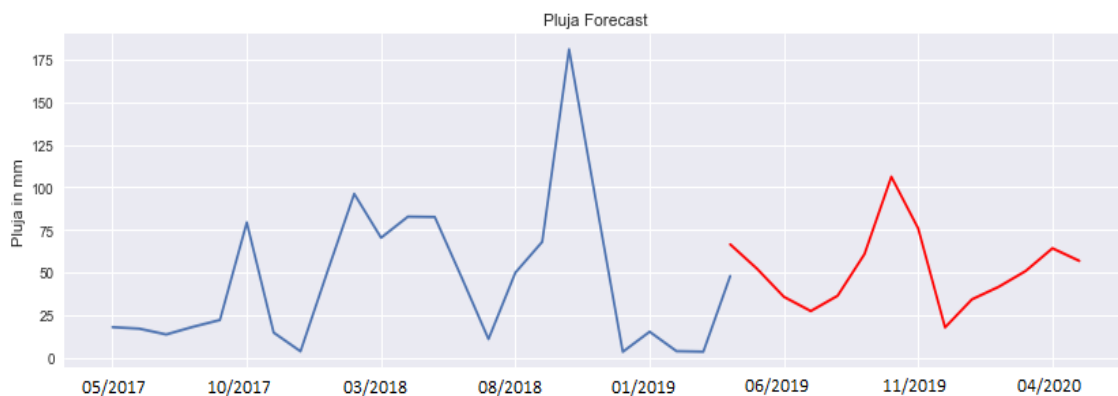


Figura 7. Evolució de les dades de pluja predites en mm mostrades en vermell en relació amb la sèrie meteorològica.

D'altra banda, a la *figura 8*, la temperatura experimenta la seva característica estacionalitat, seguint les dades predites la tendència anterior. En aquest cas es confirma el que s'ha comentat amb anterioritat: l'efecte de la temperatura sobre el cultiu de la vinya no és a nivell global sinó més a nivell concret d'algun període anormal o amb valors extrems.

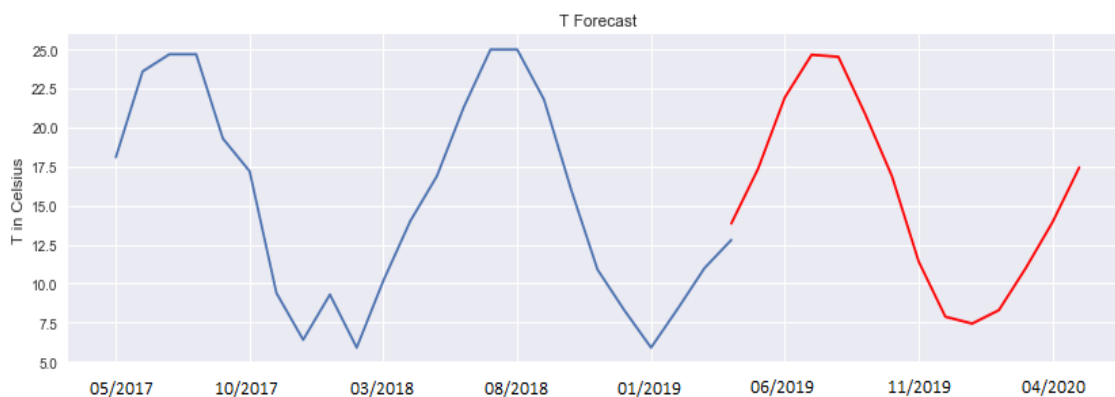


Figura 8. Evolució de les dades de temperatura predites en °C mostrades en vermell en relació amb la sèrie meteorològica.

Finalment, i igual que en el cas de la precipitació, la humitat relativa és variable i no estacional tal i com es mostra a la *figura 9*. Tot i així, aquest factor a nivell individual no és tan important als altres dos, ja que la humitat relativa està correlacionada amb la precipitació i, per tant, s'utilitza per a complementar i donar més informació respecte amb respecte a aquest factor.

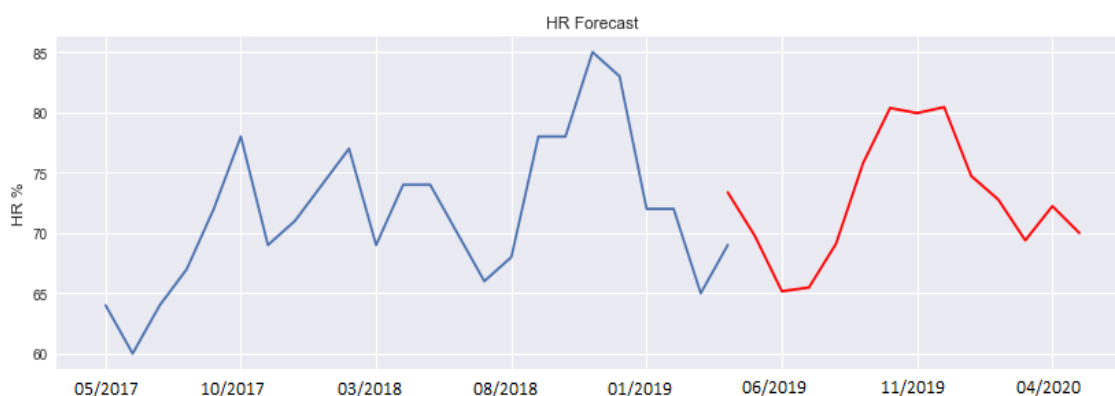


Figura 9. Evolució de les dades de humitat relativa predites en % mostrades en vermell en relació amb la sèrie meteorològica.

5.2.Importància de les variables

Les variables que més afecten a nivell de rendiment de producció al cicle de la vinya i al raïm tant en quantitat com en qualitat són les que s'han mencionat a l'apartat 2.4 anterior segons la bibliografia revisada i considerant les característiques determinants del territori.

Les variables s'han analitzat i comparat amb l'històric de producció de cada parcel·la des del 2009 per tal de determinar quines són les variables climatològiques que més condicionen el rendiment en base a l'històric mencionat i relacionant-ho amb l'històric de les dades meteorològiques. Els resultats obtinguts són els que es poden observar a la figura 10.

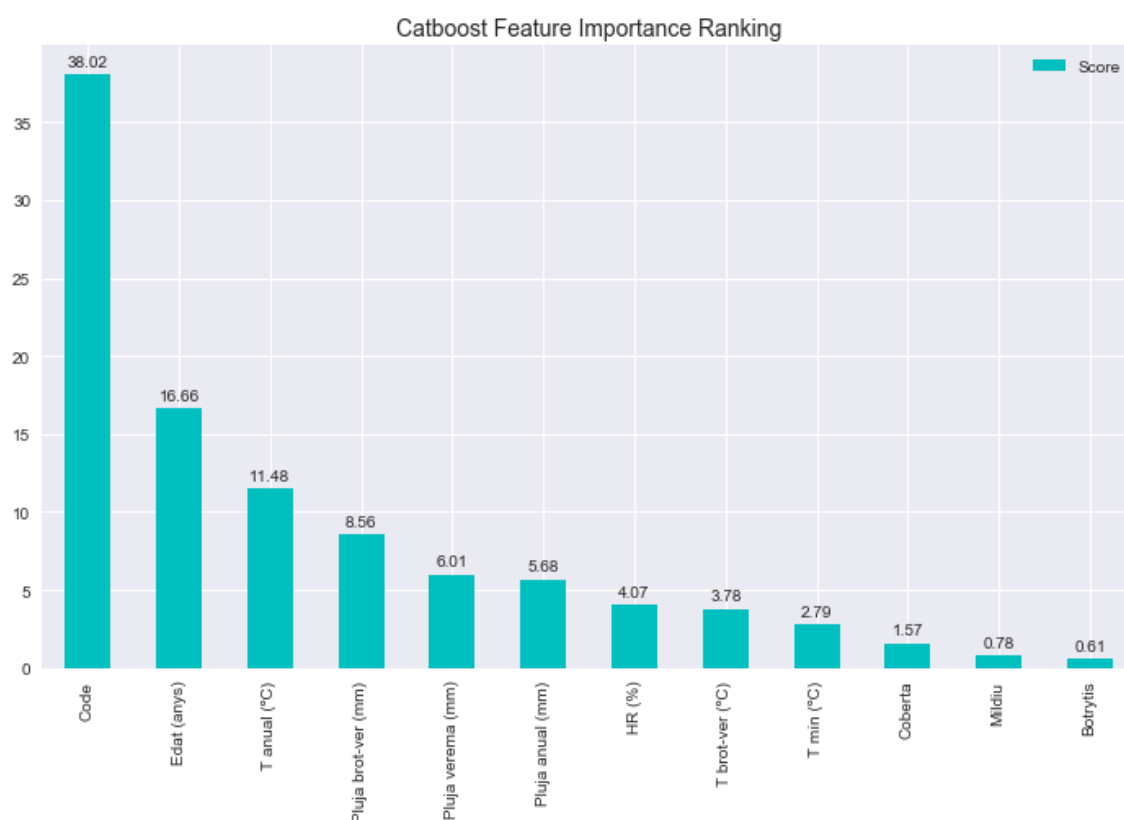


Figura 10. Rànquing d'importància dels diferents factors tant climatològics com accidentals i modificables que determinen el rendiment de producció de Gramona S.A. De més important (esquerra) a menys important (dreta).

Tal i com es pot observar, el factor que més influeix en el rendiment és el codi, és a dir, la parcel·la. Això és degut a que, a nivell de determinació de variables s'haurien d'haver

considerat les varietats de vinya plantades, el tipus de sòl, la densitat i la disposició de la vinya, entre d'altres. Tanmateix s'ha omès ja que són factors permanents que formen part de la pròpia parcel·la i que ja queden registrats i considerats amb l'històric de rendiments propi de cada parcel·la. Per tant, és lògic que hagi sortit aquest factor com el més important.

En segon lloc i ja centrat en les variables d'estudi del projecte, es troba l'edat seguida de la temperatura anual, la pluja de brotada a verema i la pluja de verema. Aquests resultats són determinants ja que es vinculen amb la bibliografia sobre el cicle de la vinya i amb el canvi climàtic.

L'edat determina el rendiment de producció ja que a més edat menys es produeix i viceversa. Altrament, la temperatura anual segueix cicles molt estacionals, fet que no condiciona molt el rendiment a aspectes generals, però sí que pot ser una dada interessant a nivell de canvi climàtic ja que segueix una estacionalitat però amb un increment de la temperatura i, a la llarga, aquella zona pot arribar a deixar de ser apta per al conreu de raïm.

La pluja de brotada a verema i durant el període de verema són més importants que la precipitació anual. Això és degut a que, tal com s'ha mencionat a la introducció, es donen en moments determinants del cicle de la planta: des de la formació del fruit fins a la recol·lecta i, unes precipitacions anormals o fortes afecten a un nivell més alt que no el global de la pluja anual.

A més a més del rànquing d'importància de les variables, també s'ha determinat a nivell individual com aquestes afecten al rendiment, tant si el seu valor és alt com si és baix. Aquestes valoracions es poden observar a la *figura 11* següent:

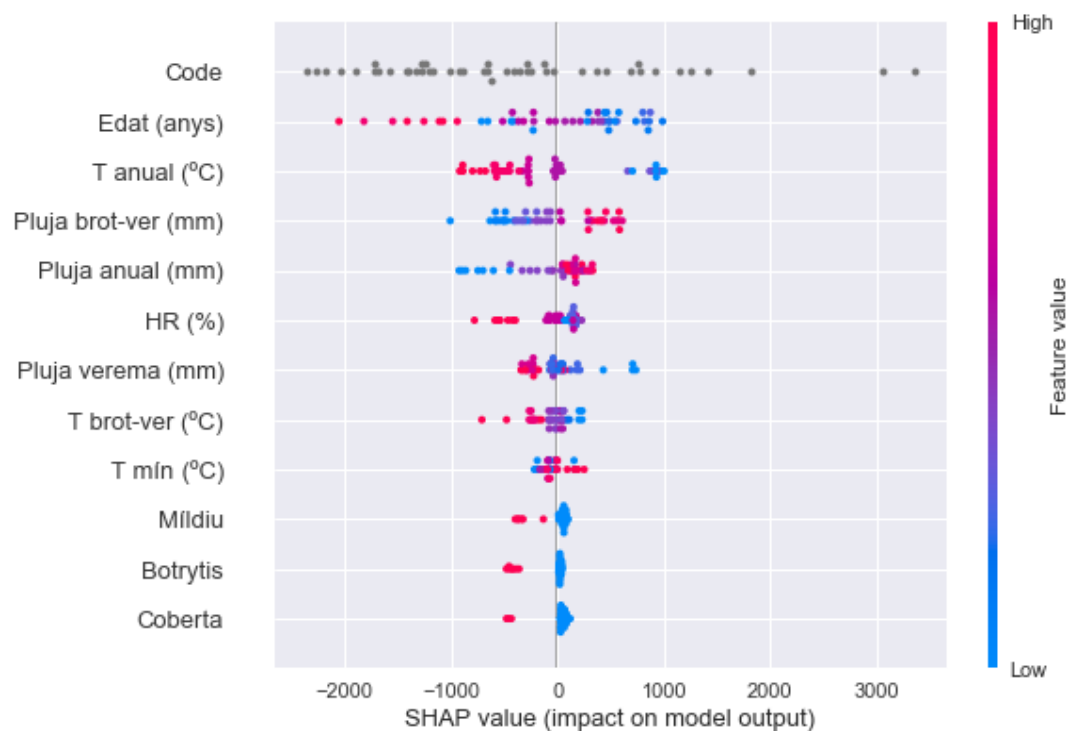


Figura 11. Valoració independent de cada variable segons el seu impacte al rendiment de producció. En color blau, els valors baixos de les variables, i en vermell les altes.

A la figura 11, l'eix horitzontal indica l'impacte directe sobre la predicció, és a dir, actua com un additiu o com un reductor en funció del valor. Si una variable té un valor de 1000, augmentarà la producció en 1000 kg/ha, mentre que si és -1000, la reduirà. En blau s'indica els valors baixos de les variables i el vermell les altes.

D'aquesta manera, s'observa com afecten positivament al rendiment de producció els valors alts de la pluja de brotada a verema, la pluja anual i les temperatures mínimes entre els mesos de març i abril. En el cas de la pluja és important i ho relaciona amb la bibliografia revisada ja que si les precipitacions anuals són elevades, hi haurà una bona reserva d'aigua al sòl per si ho requereix la planta, sobretot en períodes de sequera com poden ser els mesos d'estiu, i també serà important per al seu creixement i desenvolupament.

Altrament, la pluja de brotada a verema és de les variables més importants del cicle de la vinya a l'hora de determinar la seva producció i qualitat, sent aquesta determinant si és elevada, ja que significa que l'aigua tindrà aigua durant el cicle vegetatiu. Finalment, cal destacar que els valors alts de les temperatures mínimes entre els mesos de març i

abril siguin favorables per al rendiment si són més elevades de l'habitual, ja que indica que no hi haurà gelades que puguin malmetre tant la planta com els brots que s'estan començant a formar i, consegüentment, al fruit i a la futura producció.

Just al contrari, es troben la resta de les variables. En relació a l'edat, com menor sigui aquesta, més produirà, tal com s'ha mencionat a la bibliografia de l'*apartat 2.4*. El mateix succeeix amb la temperatura anual, ja que com major sigui la mitjana d'aquesta, més pot arribar a patir la planta en períodes de sequera i, relacionant-ho amb el canvi climàtic, com més vagi augmentant, arribarà un punt en el qual aquella zona ja no serà adient per al cultiu de la vinya.

La humitat relativa està inversament correlacionada amb la humitat i directament correlacionada amb les malalties (míldiu i *Botrytis*). A més pluja, més humitat, fet que influeix en el desenvolupament de dites malalties que afecten tant la producció com la qualitat del raïm. La pluja de verema també està directament correlacionada, en aquest cas tant amb la humitat relativa com amb el desenvolupament de *Botrytis cinerea*, ja que si plou durant els mesos de collita (agost i setembre), apareixerà aquest fong, tal com es menciona a la introducció.

La temperatura des de brotada a verema no mostra extrems molt diferenciats, però si que es pot observar com a valors més alts, aquest afecta negativament al rendiment ja que engloba el cicle vegetatiu de la vinya i, si no plou molt, pot incidir en el creixement i desenvolupament del fruit, ja que la planta pateix més. Aquesta relació també es pot observar relacionant aquest valor amb la variable precipitació durant el mateix període, una correlació inversament proporcional.

Finalment, i en el cas de la coberta vegetal permanent durant tot el cicle de la vinya, l'afectació a nivell de rendiment és molt alta, sent negatiu. Aquest fet és degut a que es produeix una competència pels mateixos recursos, sobretot en el cicle vegetatiu, fet que afecta directament i negativament en la producció de raïm.

5.3. Rendiments de producció i avaluació del model

Els rendiments de producció de les parcel·les de l'empresa *Gramona S.A.* s'han calculat a través dels històrics meteorològics i de producció de les parcel·les des del 2010, any en el qual la producció va esdevenir ecològica i, per tant, les condicions poden ser comparables a l'actualitat. Aquests rendiments en quilograms per hectàrea s'han realitzat mitjançant el programa estadístic *Unscrambler X* versió 10.2, tal i com s'ha mencionat a l'*apartat 4.4*.

Totes les parcel·les segueixen pràctiques agrícoles biodinàmiques i, per tant, es poden analitzar. D'entre aquestes s'han descartat les que es lloguen ja que o bé la majoria en conversió a ecològic però encara no ho són i/o el registre de producció d'aquella parcel·la és recent i es tenen poques dades. Altrament, també s'han descartat aquelles parcel·les que o bé s'ha empeltat, s'ha canviat de varietat, s'ha arrancat o s'ha comprat recentment, degut a la manca de dades de producció.

Considerant aquests factors, s'han analitzat estadísticament un total de 22 parcel·les, de propietat, biodinàmiques, a un màxim de 2 quilòmetres del celler i amb un històric de producció registrat ampli.

Els rendiments de producció depenen de cada terreny, varietat plantada, entre d'altres; i, per tant, no poden informar sobre el model abans de la verema. Tanmateix, sí que es pot avaluar el model en base a la desviació dels rendiments de producció i el RMSECV. La desviació dels rendiments predits indica la incertesa en la predicció, i està relacionada amb el valor d'RMSECV però també té en compte la particularitat de cada mostra (dades meteorològiques i agronòmiques per a l'any que es vol predir, 2019).

Els rendiments de producció obtinguts es poden veure a la *taula 4* de l'*Annex 1*, i els valors màxims i mínims tant de les desviacions com del RMSECV, es poden observar a la *taula 3* següent:

Taula 3. *Valors màxims i mínims de les desviacions i del RMSECV dels resultats de predicció del model.*

	Desviació	RMSECV
	kg/ha	kg/ha
Màxim	2611,435	3846
Mínim	370,2527	700

Tal i com es pot comprovar a la taula, d'entre tots els rendiments obtinguts amb el model de predicció escollit, la desviació màxima és de 2611 kg/ha aproximadament, mentre que la mínima és de 370 kg/ha. Això vol dir que dels valors de producció de raïm de la verema 2019 calculats, aquests poden variar un màxim de 2611 kg/ha.

D'altra banda, els valors màxim i mínim del RMSECV són de 3846 i 700 kg/ha. Tal com s'ha mencionat anteriorment, el RMSECV dóna una idea de l'error futur mitjà que es pot cometre amb el model calculat.

Per tal d'avaluar el model i saber si realment aquest model és adequat per a la determinació del rendiment de producció, s'ha calculat la desviació relativa en percentatge. Aquest valor és la divisió entre la desviació estàndard i el rendiment predit, sent millor si és més baix. A la *taula 4* de l'*Annex 1* es poden observar les desviacions relatives per a cada parcel·la. A nivell general del model, la desviació relativa té un valor de 15,3%, considerant així que la predicció és adequada al ser inferior al 20% (té un error relativament petit al tractar-se d'una predicció basada majoritàriament en variables altament impredecibles).

Finalment, també s'ha de considerar que malgrat que aquest mètode hagi resultat concloent i adequat en aquest estudi, també depèn de les condicions de cada propietari i que està basat en factors contínuament variables i inconstants. La fiabilitat d'aquest mètode no es pot comparar a altres mètodes de predicció del rendiment de producció que es basen en les condicions físiques de la pròpia planta, tal com s'ha mencionat a l'*apartat 2.2*. Tanmateix, sí que pot resultar un mitjà útil per tal de realitzar accions preventives i decisives més prematurament i, d'aquesta manera, mitigar millor les possibles conseqüències.

6. Conclusions i perspectives

Les condicions meteorològiques cada vegada són més variables, sent determinants en l'agricultura. La seva afectació i condicionament en la producció i la qualitat causen preocupació i incertesa entre els agricultors.

En el cas de la vinya, aquest conreu està molt condicionat per la climatologia de la zona i, a més a més, és un dels principals cultius en el qual la qualitat del producte és primordial més enllà de la producció.

En els darrers anys, la impredictibilitat dels factors climatològics ha augmentat i, amb els mètodes utilitzats actualment en la predicció dels rendiments de producció, s'obtenen aquests valors gairebé un mes abans de la verema, fet que no permet actuar ni decidir amb molta antelació. Seguint les bases de l'agroclimatologia, s'ha realitzat un mètode de predicció del rendiment de producció segons les variables meteorològiques juntament amb alguns factors accidentals i modificables segons la gestió del cultiu determinada per *Gramona S.A.*

Considerant l'emplaçament de les 22 parcel·les estudiades i la bibliografia revisada, les variables escollides per a la determinació de la producció són la precipitació (anual, de brotada a verema i durant verema), temperatura (anual, de brotada a verema i mínima entre març i abril), humitat relativa, edat de la vinya, malalties i coberta vegetal permanent.

Les dades de l'històric tant meteorològic com de producció utilitzades per a l'estudi es consideren des de 2010, any el qual es consideren les parcel·les d'agricultura ecològica i es poden comparar amb la realitat i analitzar-les estadísticament.

De l'anàlisi estadístic s'obté, d'una banda, la importància dels factors determinants considerats envers el rendiment de producció al llarg del període temporal estudiat. D'entre aquests, l'edat, la temperatura anual, la pluja de brotada a verema i la pluja de verema són les variables més importants, i són significatius perquè vinculen la bibliografia revisada sobre el cicle de la vinya amb el canvi climàtic.

D'altra banda, amb l'anàlisi també s'ha obtingut una predicció meteorològica dels mesos restants del 2019 per tal de poder realitzar la predicció del rendiment. A part d'obtenir els valors de producció d'aquesta verema de les parcel·les estudiades, s'ha avaluat el model per tal de determinar si és un bon mètode mitjançant els valors de

desviació del rendiment, el RMSECV i la desviació relativa. És aquest darrer valor el que ens indica que el model és adequat per a aquest tipus d'anàlisi amb el cultiu de la vinya a *Gramona S.A.*, amb un error del 15,3%, relativament petit considerant l'alta impredictibilitat de les variables en les quals es basa.

Com a perspectives futures a aquest projecte, una possible via d'investigació seria estudiar altres factors a part dels climatològics que també afecten al rendiment de producció de la vinya i que, o bé en el present estudi s'han omès, o bé no s'han considerat perquè no afecten a les parcel·les de *Gramona S.A.*

Seguint aquest mateix fil, s'hauria d'investigar les possibles variacions amb cultius de vinya d'altres regions per tal d'observar si aquest model es pot extrapolar a un nivell extern, i si hi ha diferències significatives amb regions de clima fred o càlid. D'aquesta manera, i si és possible, es podria generar un model predictiu general i aplicable arreu del món en el sector vitivinícola.

Finalment, una altra possible via d'estudi seria el fet d'observar directament l'impacte del canvi climàtic en el rendiment i si realment afecta significativament a l'actualitat a aquest tipus de cultiu. Així, també es podrien determinar els següents passos a realitzar al sector, si centrar-se en l'adaptació a l'escalfament global o en la collita primerenca i la composició del raïm més que en el rendiment.

Amb aquest estudi s'ha vinculat majoritàriament les variables climatològiques amb el cultiu de la vinya a l'hora de determinar els rendiments de producció, reduint amb gran mesura la impredictibilitat d'aquests factors sobretot considerant el canvi climàtic. Al tenir això com a referent, ha brindat llum a un àmbit del sector vitivinícola poc explorat i que pot ser una secció interessant a potenciar per tal de reduir la incertesa i poder realitzar bones pràctiques de gestió del cultiu amb major antelació, no solament a *Gramona S.A.* sinó a d'altres bodegues o, fins i tot, amb altres cultius.

7. Agraïments

Després d'un període curt però intens, poso punt i final a una altra etapa acadèmica, molt enriquidora tant a nivell personal com professional. La realització del present treball ha suposat la culminació de tot l'esforç, dedicació i passió per l'àmbit, en aquest cas, d'estadística aplicada a la viticultura.

En primer lloc, m'agradaria agrair a tota la família i amics que m'han acompanyat i recolzat no solament en la realització del treball sinó també del màster, el postgrau i la carrera. Sense vosaltres no hagués sigut ni la meitat d'emocionant ni gratificant, i no hauria arribat fins on sóc ara.

A més a més, m'agradaria agrair sincerament a tot l'equip universitari de la facultat d'enologia de la Universitat Rovira i Virgili per tots els coneixements adquirits i la informació brindada per crear el nostre camí en aquest sector. Especialment, m'agradaria agrair al meu tutor acadèmic tant de pràctiques com del projecte Ricard Boqué per guiar-me, animar-me, pels “¡Hola chica!”, per saber-me portar i, de tant en tant, fer-me patir. No ha sigut fàcil però ens n'hem sortit i ens ho hem passat bé.

Finalment, el meu sincer i principal agraïment a tot l'equip de *Gramona S.A.*, lloc on he realitzat les pràctiques i la base del meu projecte de final de màster. M'han brindat totes les oportunitats possibles i infinit coneixement sobre el sector: allà he après tot el que no podria haver après enlloc i més. Concretament, voldria agrair al Roc Gramona: has fet de tutor, professor, company i amic. És la millor persona que em podria haver guiat en aquest camí i sóc feliç de saber que m'acompanyaràs més enllà d'aquesta etapa.

Per suposat, el camí no ha sigut fàcil: ningú va dir que ho fos. Però si realment val la pena, s'ha de lluitar per aconseguir-ho. El bagatge que m'enduc de per vida són l'experiència, els coneixements adquirits, i a totes aquelles persones amb les quals he recorregut aquest camí i que, de ben segur, continuarem recorrent plegats.

8. Bibliografia

- Anderson, K. (2017). How might climate changes and preference changes affect the competitiveness of the world's wine regions? *Wine Economics and Policy*, 6, 23–27. <https://doi.org/10.1016/j.wep.2016.12.001>
- Bernetti, I., Menghini, S., Marinelli, N., Sacchelli, S., & Alampi, V. (2012). Assessment of climate change impact on viticulture: economic evaluations and adaptation strategies analysis for the Tuscan wine sector. *Wine Economics and Policy*, 1, 73–86. <https://doi.org/10.1016/j.wep.2012.11.002>
- Bologna, U., Arboree, C., Viticola, S., Pastore, C., Colucci, E., & Intrieri, C. (2013). Influence of vigour on vine performance and berry composition of CV. Sangiovese. *Journal International Des Sciences de La Vigne et Du Vin*, 47, 21–33.
- Bordes, X., & Martínez-Casanovas, J. A. (2005). Viticultura de precisión: predicción de cosecha a partir de variables de cultivo e índices de vegetación. *Revista de Teledetección: Revista de La Asociación Española de Teledetección*, (24), 67–72.
- de Cara-García, J. A. (2010). *Características agroclimáticas de la vid. Calendario meteorológico*.
- Hernández-Navarro, M. L. (1993). La agroclimatología, instrumento de planificación agrícola. *GEOGRAPHICALIA*, 30, 213–228.
- Hidalgo Togores, José. (2003). *Tratado de enología*, tomo I. (1a edición). Ediciones Mundi-Prensa.
- Holt, C. E. (1957). *Forecasting seasonals and trends by exponentially weighted averages* (O.N.R. Memorandum N°. 52). Carnegie Institute of Technology, Pittsburgh USA. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2003.09.015>
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2018). *Global warming of 1,5°C*. Disponible a: www.ipcc.ch. Darrera consulta el 31 de juliol de 2019.
- Jones, G. V. (2007). *Climate change: observations, projections and general implications for viticulture and wine production*. In *Whitman College Economics Department working paper* (pp. 1–7). Whitman College.

- Jones, G. V, & Davis, R. E. (2000). Climate influences on grapevine phenology, grape composition, and wine production and quality for Bordeaux, France. *American Society for Enology and Viticulture*, 51(3), 249–261.
- Komm, B., & Moyer, M. M. (2015). *Estimación del Rendimiento del viñedo* (No. EM086E). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1557/mrs2004.265>
- Mira de Orduña, R. (2010). Climate change associated effects on grape and wine quality and production. *Food Research International*, 43(7), 1844–1855. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.05.001>
- Monteiro, A., Lopes, C. M., Machado, J. ., Fernandes, N., & Araújo, A. (2008). Cover cropping in a sloping non-irrigated vineyard: II - Effects on vegetative growth, yield, berry and wine quality of Cabernet Sauvignon grapevines. *Ciência e Técnica Vitivinícola*, 23(1), 37–43.
- Mozell, M. R., & Thach, L. (2014). The impact of climate change on the global wine industry: challenges and solutions. *Wine Economics and Policy*, 3, 81–89. <https://doi.org/10.1016/j.wep.2014.08.001>
- OVVC. Observatori de la Vinya, el Vi i el Cava a Catalunya. Disponible a: <http://agricultura.gencat.cat/ca/departament/estadistiques/agricultura/sectors-agraris/vitivinicultura/informes/index.html>. Darrera consulta el 15 d’agost de 2019.
- Pomarici, E., & Centre, I. (2016). *Economic and social impacts of climate change on wine production. Reference Module in Food Science*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03062-6>
- Quiroga Gómez, S., & Iglesias, A. (2004). *Influencia del clima sobre la productividad agrícola en España*.
- Sacchelli, S., Fabbriizzi, S., & Menghini, S. (2016). Climate change, wine and sustainability: a quantitative discourse analysis of the international scientific literature. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 8, 167–175. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.090>
- Sadras, V. ., Moran, M. ., & Petrie, P. . (2017). Resilience of grapevine yield in response to warming. *OENO One*, 51(4), 381–386. <https://doi.org/10.20870/oenone.2017.51.4.1913>

- Sluys, S. L. (2006). *Climatic influences on the grapevine: A study of viticulture in the waipara basin*. University of Canterbury.
- Trigo-Córdoba, E., Bouzas-Cid, Y., Orriols-Fernández, I., Díaz-Losada, E., & Mirás-Avalos, J. M. (2015). Influence of cover crop treatments on the performance of a vineyard in a humid region. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 13(4), 0–12. <https://doi.org/10.5424/sjar/2015134-8265>
- van Leeuwen, C. (2010). *Terroir: the effect of the physical environment on vine growth, grape ripening and wine sensory attributes. Managing wine quality Volume 1: Viticulture and wine quality*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9781845699284.3.273>
- Winters, P. R. (1960). Forecasting sales by exponentially weighted moving averages. *Management Science*, 6, 324–342. <https://doi.org/10.1287/mnsc.6.3.324>

Annex 1

Taula 4. Resultats dels rendiments de producció de les 22 parcel·les estudiades amb les corresponents desviacions, RMSECV i anys extrems.

Nom parcel·la	Varietat	Producció 2019	Desviació	RMSECV	Anys extrems	Desviació relativa
		kg/ha	kg/ha	kg/ha		%
Mas Escorpí vell	Pinot noir	4163,952	370,2527	741	2013 i 2015	8,9
Mas Escorpí jove	Pinot noir	8889,785	782,1879	1349	2012	8,8
Solanes	Macabeu	14451,6	2611,435	3846	2010	18,1
Mas Escorpí	Chardonnay	3932,324	1562,741	2660	2012	39,7
Serralet	Chardonnay	3162,613	1109,084	1582	2011 i 2015	35,1
La Plana	Macabeu	4852,066	973,1293	1387		20,1
Moliner	Xarel·lo	11682,31	1010,333	1594	2011	8,6
La Plana	Xarel·lo	6123,492	1081,173	1686	2011	17,7
Font de Jui	Macabeu	5682,264	633,3668	1003	2011 i 2015	11,1
Solanes	Chardonnay	4085,935	712,7532	819	2012	17,4
Font de Jui	Xarel·lo	7327,004	847,2101	1315	2011 i 2015	11,6
Solanes	Xarel·lo vermell	4236,25	764,1653	1106	2010 i 2018	18,0
Solanes	Xarel·lo	4742,664	1209,657	1676	2011 i 2012	25,5
Prunamala	Macabeu	9153,156	1366,825	2327	2011, 2012 i 2015	14,9
Galimany	Macabeu	4505,572	629,6668	841	2011	14,0
Zeto	Macabeu	3942,002	443,0367	700	2011	11,2
Zeto	Parellada	2582,859	443,0789	877	2015	17,2
Mas Escorpí	Garnatxa negra	5121,809	480,8652	1118	2010, 2014 i 2015	9,4
Benzinera	Xarel·lo	7414,389	757,9059	1124	2012	10,2
Gibert	Muscat Frontignan	6306,479	674,2216	998	2012 i 2013	10,7
Prunamala	Xarel·lo	6064,227	1167,769	1610	2011 i 2012	19,3