



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

---

Escola Superior d'Agricultura de Barcelona

# ESTUDI DE LA CAPACITAT ANTIOXIDANT I EL CONTINGUT D'ÀCID ASCÒRBIC EN PEBROTS (*Capsicum annuum* L.)

Treball final de grau  
Enginyeria Alimentaria

Autor: Ingrid Pascual Pérez

Tutors: Isabel Achaerandio Puente

Montserrat Pujolà Cunill

25 / setembre / 2020

## Resum

Avui en dia, els consumidors mostren molt d'interès en saber el que mengen i les seves propietats beneficioses per la salut. La capacitat antioxidant d'alguns components en els aliments ha demostrat ser una propietat important per tal de prevenir certes malalties i per això cada vegada més es busquen aliments rics en antioxidants. Les fruites i verdures són abundants en aquests compostos, destacant el pebrot, ja que s'ha dit que conté moltes propietats antioxidants. L'àcid ascòrbic és un dels principals antioxidants que conté el pebrot fent així que sigui una de les fruites i verdures que proporcioni més quantitat de vitamina C.

La intenció d'aquest treball és revisar la capacitat antioxidant i el contingut d'àcid ascòrbic que conté el pebrot (*Capsicum annuum* L.) mitjançant l'anàlisi de diferents estudis ja publicats així com també avaluar els possibles factors que poden tenir influència, ja sigui augmentant o disminuint el contingut.

Els resultats obtinguts mostren que la capacitat antioxidant en el pebrot varia segons diferents factors, com poden ser la varietat del pebrot, però també del mètode d'assaig empleat per obtenir-la. Pel que fa a la vitamina C, aquesta presenta un rang de valors més ben determinat, independentment dels diferents factors als que pugui estar sotmès el pebrot. En conclusió, l'estudi de la capacitat antioxidant en el pebrot resulta ser complex i amb resultats divergents degut possiblement a la gran variabilitat del propi fruit i a que encara no s'ha aconseguit trobar un mètode que pugui arribar a mesurar la capacitat antioxidant de tots els components amb activitat antioxidant a la vegada.

**Paraules clau:** ABTS, DPPH, activitat antioxidant, vitamina C, pebrot

## Resumen

Hoy en día, los consumidores muestran mucho interés en saber lo que comen y sus propiedades beneficiosas para la salud. La capacidad antioxidante de algunos componentes en los alimentos ha demostrado ser una propiedad importante para prevenir ciertas enfermedades y por ello cada vez más se buscan alimentos ricos en antioxidantes. Las frutas y verduras son abundantes en estos compuestos, destacando el pimiento, ya que se ha dicho que contiene muchas propiedades antioxidantes. El ácido ascórbico es uno de los principales antioxidantes que contiene el pimiento haciendo así que sea una de las frutas y verduras que proporcione más cantidad de vitamina C.

La intención de este trabajo es revisar la capacidad antioxidante y el contenido de ácido ascórbico que contiene el pimiento (*Capsicum annuum* L.) mediante el análisis de diferentes estudios ya publicados, así como también evaluar los posibles factores que pueden tener influencia, ya sea aumentando o disminuyendo el contenido.

Los resultados obtenidos muestran que la capacidad antioxidante en el pimiento varía según diferentes factores, como pueden ser la variedad del pimiento, pero también del método de ensayo empleado para obtenerla. En cuanto a la vitamina C, esta presenta un rango de valores mejor determinado, independientemente de los diferentes factores a los que pueda estar sometido el pimiento. En conclusión, el estudio de la capacidad antioxidante en el pimiento resulta ser complejo y con resultados divergentes debido posiblemente a la gran variabilidad del propio fruto y a que aún no se ha conseguido encontrar un método que pueda llegar a medir la capacidad antioxidante de todos los componentes con actividad antioxidante a la vez.

**Palabras clave:** ABTS, DPPH, actividad antioxidante, vitamina C, pimiento



## Abstract

Nowadays, consumers are very interested in knowing what they are eating and its health benefits. The antioxidant capacity of some components in food has proven to be an important property in preventing certain diseases and that is why foods rich in antioxidants are increasingly being sought. Fruits and vegetables are abundant in these compounds, especially pepper, as it has been said to contain many antioxidant properties. Ascorbic acid is one of the main antioxidants contained in pepper, making it one of the fruits and vegetables that provides the most vitamin C.

The intention of this work is to review the antioxidant capacity and the content of ascorbic acid contained in pepper (*Capsicum annuum* L.) by analyzing different studies already published as well as evaluating possible factors that may influence, as either by increasing or decreasing the content.

The results obtained show that the antioxidant capacity of pepper varies according to different factors, such as the variety of pepper, but also the test method used to obtain it. As for vitamin C, it has a better range of values, regardless of the different factors to which the pepper may be subjected. In conclusion, the study of the antioxidant capacity in peppers turns out to be complex and with divergent results possibly due to the great variability of the fruit itself and that it has not yet been possible to find a method that can measure the antioxidant capacity of all components with antioxidant activity at a time.

**Key words:** ABTS, DPPH, antioxidant activity, vitamin C, pepper

## Sumari

<i>Índex de figures</i> .....	6
<i>Índex de taules</i> .....	8
<i>Agraïments</i> .....	9
<i>Prefaci</i> .....	10
<b>1. Introducció</b> .....	11
<b>2. Objectius</b> .....	12
<b>3. Metodologia de la revisió bibliogràfica</b> .....	13
<b>4. Pebrot</b> .....	14
4.1. Origen .....	14
4.2. Cultiu del pebrot .....	14
4.3. Principals varietats .....	15
<b>5. Antioxidants</b> .....	17
5.1. Antioxidants enzimàtics.....	18
5.2. Antioxidants no enzimàtics.....	19
5.2.1. Àcid ascòrbic .....	19
5.2.2. Carotenoides .....	20
5.2.3. Compostos fenòlics.....	21
<b>6. Capacitat antioxidant</b> .....	23
6.1. Mètodes de mesura .....	23
6.1.1. Avaluacions basades en transferència d'electrons (ET) .....	24
6.1.2. Avaluacions basades en transferència d'àtoms d'hidrogen (HAT) .....	28
6.1.3. Assajos més utilitzats.....	29
6.2. Espècies reactives d'oxigen (EROs) i sistema antioxidant en plantes.....	30
<b>7. Factors que poden afectar en el contingut en àcid ascòrbic i capacitat antioxidant del pebrot</b> .....	32
7.1. Tipus i varietat de pebrot.....	32
7.2. Estat de maduració del pebrot.....	38
7.3. Factors de pre collita.....	39



7.3.1.	Sistema de cultiu .....	39
7.3.2.	Salinitat del sòl .....	39
	.....	42
7.3.3.	Enriquiment del sòl amb bor.....	42
7.3.4.	Nivell de Nitrat en el sòl.....	46
7.3.5.	Temperatura de recol·lecció .....	47
<b>7.4.</b>	<b>Factors de post collita .....</b>	<b>48</b>
7.4.1.	Condicionament .....	48
7.4.2.	L'assecat del pebrot.....	48
<b>8.</b>	<b>Discussió .....</b>	<b>51</b>
<b>9.</b>	<b>Conclusions .....</b>	<b>56</b>
	<b>Bibliografia .....</b>	<b>57</b>

## Índex de figures

Figura 1 Diferents varietats de Capsicum _____	15
Figura 2 Estructura de la capsaïcina _____	16
Figura 3 Varietats California, Lamuyo i Italià _____	16
Figura 4 Ascorbat i deshidroascorbat _____	19
Figura 5 Contingut de vitamina C de diferents hortalisses, expressat en mg per cada 100g de producte fresc. Els cercles vermells indiquen les hortalisses amb major contingut en ascorbat. Dades extretes de CESNID. _____	20
Figura 6 Estructura del $\beta$ -carotè, licopè, luteïna, zeaxantina i astaxantina _____	21
Figura 7 Estructura bàsica del flavonoide _____	22
Figura 8 ABTS <sup>•+</sup> _____	25
Figura 9 DPPH _____	26
Figura 10 Influència de la varietat i diferents anys de cultiu en el contingut d'àcid ascòrbic en pebrots vermells _____	34
Figura 11 Influència de la varietat i l'any de cultiu en la capacitat antioxidant (%inhibició) de pebrots vermells _____	35
Figura 12 Influència de la varietat i l'any de cultiu en la capacitat antioxidant (mM FRAP/g pf) de pebrots vermells _____	35
Figura 13 Capacitat antioxidant (%inhibició) segons diferents tipus de pebrot _____	36
Figura 14 Capacitat antioxidant ( $\mu$ M TE/g pf) segons diferents tipus de pebrot _____	36
Figura 15 Capacitat antioxidant (HAA i LAA) en pebrots afectats per 0, 15 i 30 mM de NaCl (S1, S2 i S3, respectivament) _____	40
Figura 16 Contingut d'àcid ascòrbic en pebrots afectats per 0, 15 i 30 mM de NaCl (S1, S2 i S3, respectivament) _____	40
Figura 17 Capacitat antioxidant de pebrots procedents de plantes sotmeses a diferents concentracions de NaCl. (T1) Control, 0 mM de NaCl, (T2) 20 mM de NaCl durant 160 dies, (T4) 40 mM de NaCl durant 160 dies, (T3) 20 mM de NaCl durant 110 dies y (T5) 40 mM de NaCl durant 110 dies, (T6) 20 mM de NaCl durant 60 dies i (T7) 40 mM de NaCl durant 60 dies. _____	41
Figura 18 Contingut de vitamina C de pebrots procedents de plantes sotmeses a diferents concentracions de NaCl. (T1) Control, 0 mM de NaCl, (T2) 20 mM de NaCl durant 160	



dies, (T4) 40 mM de NaCl durant 160 dies, (T3) 20 mM de NaCl durant 110 dies y (T5) 40 mM de NaCl durant 110 dies, (T6) 20 mM de NaCl durant 60 dies i (T7) 40 mM de NaCl durant 60 dies. \_\_\_\_\_ 42

Figura 19 Capacitat antioxidant segons mètode FRAP i DPPH i segons diferents salinitats aplicades al pebrot \_\_\_\_\_ 44

Figura 20 Efecte de la temperatura d'assecat en el contingut de vitamina C \_\_\_\_\_ 50



## Índex de taules

Taula 1 Diferències entre l'assaig TEAC i DPPH _____	29
Taula 2 Activitat antioxidant total i contingut en vitamina C de diferents varietats de pebrot	33
Taula 3 Activitat antioxidant total i contingut en vitamina C de diferents varietats de pebrot	34
Taula 4 Contingut d'àcid ascòrbic en diferents tipus de pebrot _____	35
Taula 5 Contingut de vitamina C i capacitat antioxidant en diferents varietats de pebrot ____	37
Taula 6 Contingut d'àcid ascòrbic en diferents varietats de pebrot _____	37
Taula 7 Contingut de vitamina C en pebrots verds i vermells de cultiu ecològic i tradicional__	38
Taula 8 Valors de FRAP i DPPH a 5 concentracions de bor en 4 cultivars de pebrot (S = Solario, O = Osho, Od =Odysseo, A = Arlequí) _____	45
Taula 9 Contingut d'àcid ascòrbic segons diferent fertilitzants _____	46
Taula 10 Contingut d'àcid ascòrbic i capacitat antioxidant segons diferents mesos de recol·lecció_____	47
Taula 11 Contingut d'àcid ascòrbic després de diferents dies a 20°C _____	48
Taula 12 Capacitat antioxidant (TEAC I DPPH) de pebrot vermell segons diferents assecats __	49
Taula 13 Taula resum del diferents valors obtinguts de capacitat antioxidant segons diferents mètodes _____	53
Taula 14 Taula resum del diferents valors obtinguts d'àcid ascòrbic segons diferents varietats o colors de pebrot _____	55



## Agraïments

En primer lloc m'agradaria agrair a les meves tutores Isabel Achaerandio Puente i Montserrat Pujolà Cunill m'han donat la oportunitat de fer aquest treball amb gran ajuda sempre que ho he necessitat.

Gracies també a les meves amigues, les quals han estat animant-me en tot moment i m'han donat molt suport.

Per últim agrair a la meva família per recolzar-me també en tot moment, estar al meu costat i sempre confiar en mi.

## Prefaci

A l'hora d'escollir tema de treball, una de les meves tutores em va oferir un treball experimental relacionat amb l'efecte dels nematodes sobre la qualitat i els antioxidants del pebrot vermell. Vam fer la recol·lecció dels pebrots a començaments de Març per iniciar l'anàlisi al laboratori. Donades les circumstàncies que van arribar després amb el tema del Covid, no el vaig poder començar. Vaig esperar per veure si podria incorporar-me aviat al laboratori per seguir amb el treball experimental però la situació del confinament ens ho va fer impossible.

Tot i així, em va semblar un tema d'interès per estudiar-lo i és per això que vaig decidir fer una recerca bibliogràfica sobre el tema dels antioxidants en el pebrot i el seus mètodes d'anàlisi.

Tot el tema del Covid ha fet que no em pugui centrar únicament en el treball ja que al arribar el confinament estava realitzant les pràctiques curriculars i totes aquelles hores que hem quedaven per concloure el conveni les vaig haver de fer durant els mesos de juny-juliol. A més, he hagut de treballar també durant aquests mesos amb la meva família per ajudar.



## 1. Introducció

Aquest treball es basa en una recerca bibliogràfica sobre el tema dels antioxidants i la capacitat antioxidant que té el pebrot (*Capsicum annuum* L.). És un tema d'especial interès avui en dia ja que cada vegada més es tendeix a buscar productes alimentaris que ens proporcionin el màxim de propietats saludables. El treball està estructurat en dos apartats:

- Pel que fa a la primera part, s'ha fet una recerca bibliogràfica per adquirir coneixement i es descriu el que és la capacitat antioxidant, els mètodes més utilitzats per al seu anàlisi, com funcionen i com es mesura, i quins són els més utilitzats en el cas dels antioxidants en el pebrot. També es parla dels antioxidants majoritaris en el pebrot i les seves propietats. Per últim, s'ha buscat també informació sobre el pebrot per saber les seves propietats i la seva importància actual.
- El segon apartat està centrat també en una recerca bibliogràfica però dels diferents factors que poden repercutir en la capacitat antioxidant o bé en el contingut d'àcid ascòrbic (antioxidant majoritari en el pebrot). S'ha fet un estudi de tota aquella informació recopilada i s'ha analitzat la informació per poder fer una comparativa també pel que fa als diferents mètodes.

## 2. Objectius

L'objectiu general d'aquest treball és estudiar la seva capacitat antioxidant i els factors que poden influir en el seu valor en el pebrot (*Capsicum annuum* L.).

Per tal d'aconseguir-ho s'ha fet,

- una revisió bibliogràfica sobre els mètodes per determinar la capacitat antioxidant dels seus components i seleccionar quin serien els més destacables així com,
- un anàlisi comparatiu de diferents treballs científics per a avaluar l'efecte de diferents factors (agronòmics, postcollita i d'altres) que poden afectar a la capacitat antioxidant i al contingut en àcid ascòrbic del fruit.



### 3. Metodologia de la revisió bibliogràfica

Per tal de dur a terme aquest treball s'han utilitzat diferents bases de dades com Web of Science, PubMed, Medline o Scopus, entre d'altres. S'han recopilat uns 75 articles (a més de diferents treballs com poden ser tesis doctorals) dels quals s'han fet servir uns 50 per realitzar el treball. Les principals paraules clau fetes servir per la cerca dels diferents articles han estat antioxidants, capacitat antioxidant, pebrot, capacitat antioxidant en pebrot, pebrot vermell i pebrot verd, entre d'altres.

S'ha trobat certa dificultat en la cerca d'informació ja que hi ha més informació sobre el pebrot a nivell agronòmic que sobre la seva qualitat i la seva capacitat antioxidant. Tot i així la cerca s'ha fet de documents publicats des dels anys 90 fins a l'actualitat.

## 4. Pebrot

### 4.1. Origen

L'origen del pebrot (*Capsicum annuum* L.) es situa en Amèrica del Sud, principalment en les regions de Bolívia i Perú des d'on va ser exportat a Europa per Cristòbal Colón. El seu nom "*Capsicum*" provés del llatí i vol dir "caixa", fent referencia a la seva forma tan característica del pebrot (Rodríguez Ruiz, 2017).

El pebrot és una hortalissa de caràcter anual i el seu fruit és no climatèric en forma de baia buida de diferent coloració i mida depenent de la varietat (Mateos Bernal, 2006). Pertany a la família botànica de les Solanàcies i té una gran variabilitat genètica (Eradià Figueroa Cares et al., 2015).

Tres espècies diferents són *Capsicum annuum*, *Capsicum chinense* (el pebrot més picant) i *Capsicum frutescens* (pebrot tabasco). Aquestes tres espècies comparteixen el mateix fons genètic ancestral i de vegades es diuen "complexe annum-chinense-frutescens" (Zhigila et al., 2014). Tot i així, molts autors accepten que *Capsicum annuum* és la espècie que agrupa pràcticament totes les varietats cultivades (Eradià Figueroa Cares et al., 2015).

### 4.2. Cultiu del pebrot

Espanya és un dels principals productors europeus de pebrot i el seu cultiu es dona principalment en dues regions: Almeria i Múrcia. A Almeria es produeix per la temporada d'hivern-tardor mentre que a Múrcia es produeix per a la de primavera-estiu. La conca mediterrània produeix pràcticament la meitat del pebrot que es consumeix en el món degut al seu clima temperat, que permet poder cultivar-lo regularment (Vallespir, 2006).

Els pebrots conreats són sensibles a les gelades (Arslan & Özcan, 2011) i per això, per al seu cultiu es requereix d'altres temperatura d'entre 18°C i 27°C durant el dia i 15°C-18°C durant la nit, amb una taxa d'humitat no molt alta, ja que així tenen una millor ramificació i més flors. La temperatura de cultiu no hauria de disminuir dels 15°C sinó es veurà afectat el seu desenvolupament i la reproducció femenina, reduint el creixement del pebrot, la producció de fruites i la seva floració s'aturarà. Tot això, provocaria grans pèrdues econòmiques. El sòl ideal ha de tenir un bon drenatge i amb aplicacions de reg lleuger. El reg es pot fer per aspersió o per degoteig, tot i que per degoteig és on es pot obtenir un màxim rendiment. En el cas d'aspersió, s'obté més rendiment si s'aplica amb una intensitat lleugera. Tot això fa que majoritàriament siguin cultivats en hivernacles ja que les condicions exteriors es poden controlar millor (FAOSTAT, n.d.; Mateos Bernal, 2006; Mateos et al., 2013).



El pebrot (*Capsicum annuum* L.) és un important cultiu agrícola, no només per la seva importància econòmica, sinó també pel seu ric contingut antioxidant, principalment pel fet que són una excel·lent font d'àcid ascòrbic, pigments naturals i altres compostos antioxidants importants per a la protecció de la salut (Ghasemnezhad et al., 2011).

### 4.3. Principals varietats

El pebrot (*Capsicum annuum* L.) és un fruit que conté alts nivells d'antioxidants. Els pebrots exhibeixen una gran diversitat genètica en termes de color, mida, forma i composició química i, per tant, varien molt en les seves propietats antioxidants, vitamines i altres fitoquímics (Chuah et al., 2008; Lozano & Bernalte, 2002). Hi ha molts cultivars locals cultivats a l'Àfrica occidental. Només Nigèria té més de 200 seleccions de pebrot (Zhigila et al., 2014).

Les formes en les que es consumeix més és en fresc o bé cuit, ja sigui verd o en estat de maduresa més avançat (Erada Figuerola Cares et al., 2015).

Les varietats i els cultivars de *Capsicum annuum* es classifiquen en funció de les seves formes fruiteres. El gènere *Capsicum* (pebrot dolç i picant) mostra diversitat en tipus de fruita, color, forma, gust i contingut bioquímic. Les espècies engloben una gran varietat de formes i mides de pebrots, tant dolços com picants (Zhigila et al., 2014) (**Figura 1**).



Figura 1 Diferents varietats de Capsicum

Font (Rodríguez Ruiz, 2017)

Com s'ha dit, segons les seves característiques culinàries i organolèptiques, es poden classificar en dolços o picants. Els picants solen ser varietats de fruit llarg i prim on el compost alcaloide anomenat capsaïcina (**Figura 2**) és el component responsable de donar-li aquest sabor amarg o picant dels fruits del gènere *Capsicum* (Abu-Zahra, 2011; Cedrón, 2013; Mateos Bernal, 2006; Rodríguez Ruiz, 2017).



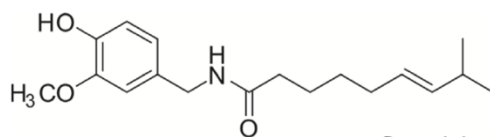


Figura 2 Estructura de la capsaicina

Font (Cedrón, 2013)

El pebrot dolç s'ha avaluat com una de les principals fonts de vitamina C (àcid ascòrbic), provitamina A ( $\beta$ -carotè) i altres pigments carotenoides com el licopè i la zeaxantina (Ghasemnezhad et al., 2011). La ingesta de 50-100 g de fruites de pebrot fresc podria proporcionar el 100% i aproximadament el 60% de les quantitats diàries recomanades de vitamina C i A, respectivament.

Els principals tipus de pebrot cultivades en les regions de Almeria i Murcia són "California", "Lamuyo" i "Dulce Italiano" (Figura 3) on tots tres són dolços (Serrano Martinez & Delicado, 2008).

Pel que fa al tipus California, són fruits d'una mida curta (entre 7 i 10 cm), amples (entre 6 i 9 cm) i de carn gruixuda (entre 3 i 7 mm) d'una mida quadrada (tenen els eixos transversals i longitudinals d'una mida similar) com de "caixa". Són cultius més sensibles i exigents pel que fa a la temperatura i per això la seva plantació es porta a terme aviat, entre el maig i l'agost (Mateos Bernal, 2006; Mateos et al., 2013; Rodríguez Ruiz, 2017).

El tipus Lamuyo són fruits grans, llargs i quadrats també de carn gruixuda. Són menys sensibles al fred i per això la seva plantació es realitza normalment més tard que els California. Els fruits verds es solen consumir en amanides i els vermells també escalivat (Lozano & Bernalte, 2002; Mateos Bernal, 2006; Rodríguez Ruiz, 2017). Té una gran demanda comercial ja que presenta bones propietats aromàtiques, colorants i aromatitzants (Vega-Gálvez et al., 2008).

Per últim, el tipus Italià que són fruits allargats, estrets, de carn fina i acabats en punta. Són més tolerants al fred i per això es solen cultivar entre setembre i octubre. Normalment es solen consumir fregits (Lozano & Bernalte, 2002; Rodríguez Ruiz, 2017).

Altres tipus coneguts com són el Morrón o el Piquillo, es destinen a conserva (Lozano & Bernalte, 2002).

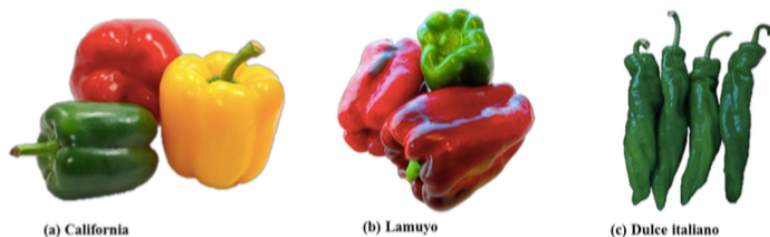


Figura 3 Varietats California, Lamuyo i Italià

Font: (Rodríguez Ruiz, 2017)

## 5. Antioxidants

Els antioxidants són aquelles substàncies sintètiques o naturals que a concentracions relativament baixes en comparació amb les dels substrats oxidables, disminueixen o prevenen de forma significativa l'oxidació dels substrats potencialment oxidables. Prevenen també el dany cel·lular oxidatiu causat per "oxidants" fisiològics que tenen un potencial de reducció clarament positiu i la formació d'espècies d'oxigen reactiu (EROs) i espècies de nitrogen reactiu (ERNs) (Apak et al., 2016a; Kiren et al., 2014; Mateos Bernal, 2006). Són molt importants en els humans per a la construcció de molècules cel·lulars, ja que impedeixen l'oxidació i el perjudici de les cèl·lules per espècies reactives d'oxigen (Sarafi, Siomos, Tsouvaltzis, Chatzissavidis, et al., 2018).

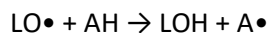
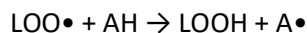
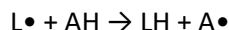
Els termes "oxidant" i "antioxidant" tenen significats complementaris en el sentit que aquests compostos neutralitzen els efectes els uns dels altres. El terme "substrat oxidable" s'entén generalment com a biomacromolècules com els lípids, les proteïnes i l'ADN (Apak et al., 2016a).

En bioquímica i medicina, els antioxidants són enzims o altres substàncies orgàniques capaces de contrarestar els efectes perjudicials de l'oxidació en els teixits animals. En la ciència dels aliments, els antioxidants inclouen components que impedeixen que els greixos de l'aliment es tornin rancs i generalment inclouen inhibidors de reaccions en cadena radicals, quelants metàl·lics, inhibidors d'enzims oxidatius i cofactors d'enzims antioxidants (Huang et al., 2005).

Els antioxidants naturals, especialment en les fruites i verdures, han tingut un interès creixent entre els consumidors i la comunitat científica, ja que estudis epidemiològics han indicat que el consum freqüent d'antioxidants naturals està associat a un menor risc de malalties cardiovasculars i càncer. Els efectes defensius dels antioxidants naturals en fruites i hortalisses estan relacionats amb tres grans grups: vitamines, fenòlics i carotenoides. L'àcid ascòrbic i els compostos fenòlics es coneixen com a antioxidants hidròfils, mentre que els carotenoides són coneguts com a antioxidants lipòfils (Thaipong et al., 2006).

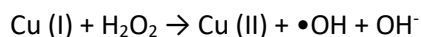
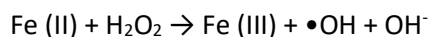
Per comoditat, els antioxidants s'han dividit tradicionalment en dues classes: antioxidants primaris o de ruptura de cadena (que actuen principalment per eliminació de EROs / ERNs) i antioxidants secundaris o preventius (que solen actuar per quelació de ions de metalls de transició) (Apak et al., 2016a).

Els mecanismes de trencament de cadenes pel que fa a la ruptura de la cadena d'oxidació dels radicals lipídics ( $L\bullet$ ,  $LOO\bullet$  o  $LO\bullet$ ) impliquen el consum sacrificial d'antioxidants (AH) per produir radicals antioxidants ( $A\bullet$ ) protegint les molècules de lípids (L):

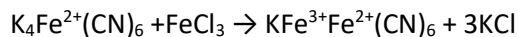
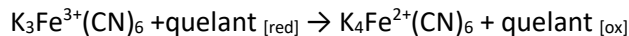


Per tant, s'inhibeixen els passos d'iniciació radical (en reaccionar amb un radical lipídic) o de propagació (en reaccionar amb radicals peroxil o alcoxil lipídics).

D'altra banda, els antioxidants secundaris (o preventius) retarden o prevenen l'oxidació dels lípids. Els ions metàl·lics en estat de valència inferior, com Fe (II) i Cu (I), descomponen els hidroperòxids i el peròxid d'hidrogen més ràpidament que els ions corresponents d'estat de valència més elevats, Fe (III) i Cu (II), respectivament. Moltes reaccions radicals es poden formar a partir de Fe (II) i Cu (I) en virtut de la seva capacitat de transferir electrons individuals:



Per tant, la quelació del ferro i del coure pot ser un enfocament eficaç podent així inhibir reaccions que produeixen radicals hidroxil, que poden provocar la degradació oxidativa de macromolècules biològiques (lípids, proteïnes, ADN, etc.) Les substàncies, que tenen potencial de reducció, reaccionen amb ferricianur de potassi ( $K_3Fe^{3+}(CN)_6$ ) per formar ferrocianur de potassi ( $K_4Fe^{2+}(CN)_6$ ), que després reacciona amb clorur fèrric per formar un complex fèrric-fèrric (Adjimani & Asare, 2015; Apak et al., 2016a; Niki & Noguchi, 2000):



Els antioxidants biològics inclouen antioxidants enzimàtics (per exemple, superòxid dismutasa, catalasa i cicle ascorbat-glutatió) i antioxidants no enzimàtics com ara l'ascorbat (vitamina C), compostos fenòlics, glutatió, bilirrubina y carotenoides, entre d'altres (González Torres & Ortiz Muñiz, 2000; Huang et al., 2005).

## 5.1. Antioxidants enzimàtics

Els antioxidants enzimàtics són enzims reductasa i els seus cofactors, que limiten la concentració cel·lular de radicals lliures i impedeixen danys oxidatius o inhibidors de l'enzim oxidasa (Apak et al., 2016a).



## 5.2. Antioxidants no enzimàtics

Els antioxidants no enzimàtics s'uneixen als radicals lliures i els transformen en radicals menys agressius o bé, els transfereixen de llocs on poden provocar molt de dany a d'altres on no en provoquin tant (González Torres & Ortiz Muñiz, 2000). Els més abundants en el cas del pebrot són els següents: àcid ascòrbic (vitamina C), carotenoides i compostos fenòlics.

### 5.2.1. Àcid ascòrbic

L'àcid ascòrbic és hidrosoluble, antioxidant no enzimàtic present en molts compartiments cel·lulars i essencial per al metabolisme cel·lular. Es considera la més important contra els radicals lliures. Pel que fa a les cèl·lules vegetals, es pot trobar de dues formes principalment: ascorbat reduït o bé oxidat (deshidroascorbat)(Figura 4) .

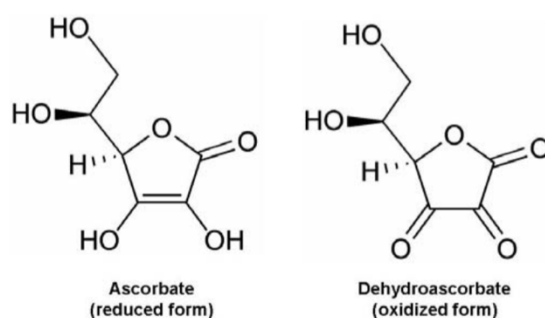


Figura 4 Ascorbat i deshidroascorbat

Font (Palma et al., 2011)

Els humans han perdut la capacitat de sintetitzar vitamina C, ja que no tenen presència de l'enzim responsable de la seva producció (L-gulono-1,4-lacoxona oxidasa (GULO)). Es classifica com a un antioxidant exogen i per això, és molt important introduir-lo en la dieta a través del consum de fruites i verdures principalment (González Torres & Ortiz Muñiz, 2000; Of et al., 2014; Palma et al., 2011).

El pebrot ha sigut reconegut durant molts anys com a una excel·lent font de vitamina C ja que és una de les hortalisses més riques pel que fa a aquesta vitamina (Chuah et al., 2008; Lozano & Bernalte, 2002). La ingesta de 50-100 g de pebrot fresc podria proporcionar el 100% de les quantitats diàries recomanades de vitamina C (Mateos et al., 2013). La Universitat de Navarra va fer un estudi on va extreure dades de les Taules de Composició d'Aliments del CESNID de diferents hortalisses (Figura 5). Aquesta informació la van comparar amb la base de dades BEDCA i coincidien les hortalisses amb major i menor contingut d'ascorbat.

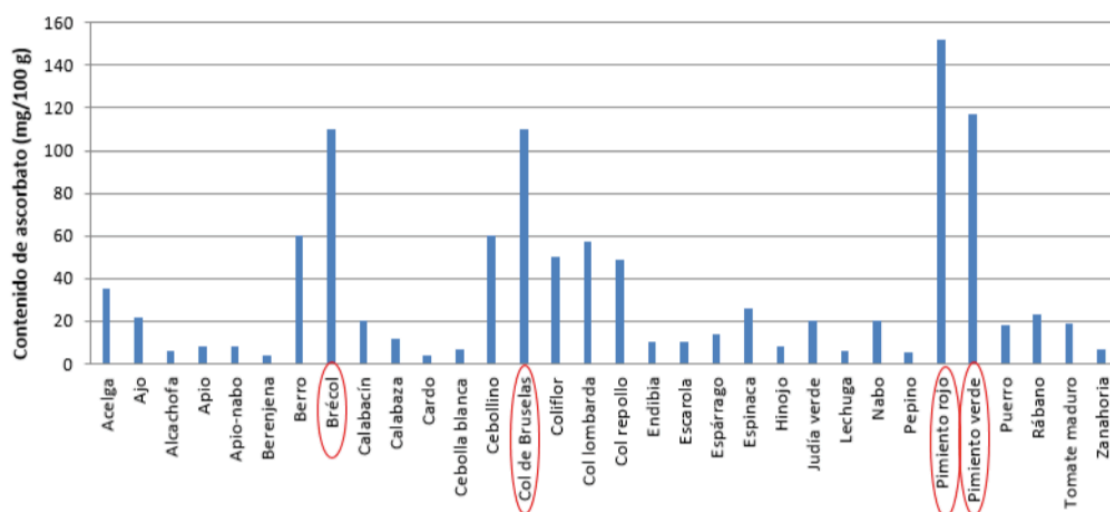


Figura 5 Contingut de vitamina C de diferents hortalisses, expressat en mg per cada 100g de producte fresc. Els cercles vermells indiquen les hortalisses amb major contingut en ascorbat. Dades extretes de CESNID.

Font: (Martínez, 2018)

L'àcid ascòrbic es sintetitza principalment en els mitocondris. A més de la seva capacitat per eliminar directament diverses espècies reactives d'oxigen (EROs), l'ascorbat és una substància hidrosoluble capaç de regenerar altres antioxidants oxidats prèviament com la vitamina E, i això fa que tingui encara més valor (Mauro-Martín & Garicano-Vilar, 2015; Palma et al., 2011).

Se sap que la vitamina C quela els ions metàl·lics pesats, reacciona amb oxigen senzill i altres radicals lliures i suprimeix la peroxidació, reduint el risc d'arteriosclerosi, malalties cardiovasculars i algunes formes de càncer (Ghasemnezhad et al., 2011).

### 5.2.2. Carotenoides

Els carotenoides, una classe de pigments naturals solubles en greixos, són una classe de micronutrients alimentaris principals en la dieta humana els quals són responsables dels colors variats en fruites i verdures i es poden trobar en abundància en pebrots. A les plantes tenen propietats potencials antioxidants per la seva estructura química (Chuah et al., 2008; Müller et al., 2011). Els colors groc, taronja i vermell dels pebrots s'originen a partir de pigments carotenoides produïts en el fruit durant la maduració. S'han identificat més de 30 pigments diferents en fruites de pebrot (Ghasemnezhad et al., 2011). A l'organisme humà, els carotenoides també formen part del sistema de defensa antioxidant. Els carotenoides més

importants quantitativament de la dieta humana són el  $\beta$ -carotè, licopè, luteïna, zeaxantina i astaxantina (**Figura 6**). Nombrosos estudis observacionals han donat suport a la hipòtesi que els antioxidants com els carotenoides i la vitamina E o els metabòlits d'aquests nutrients s'associen a malalties cardiovasculars. Els carotenoides es consideren antioxidants eficients, en oxidació d'oxigen molecular solitari i radicals peroxílics (Müller et al., 2011).

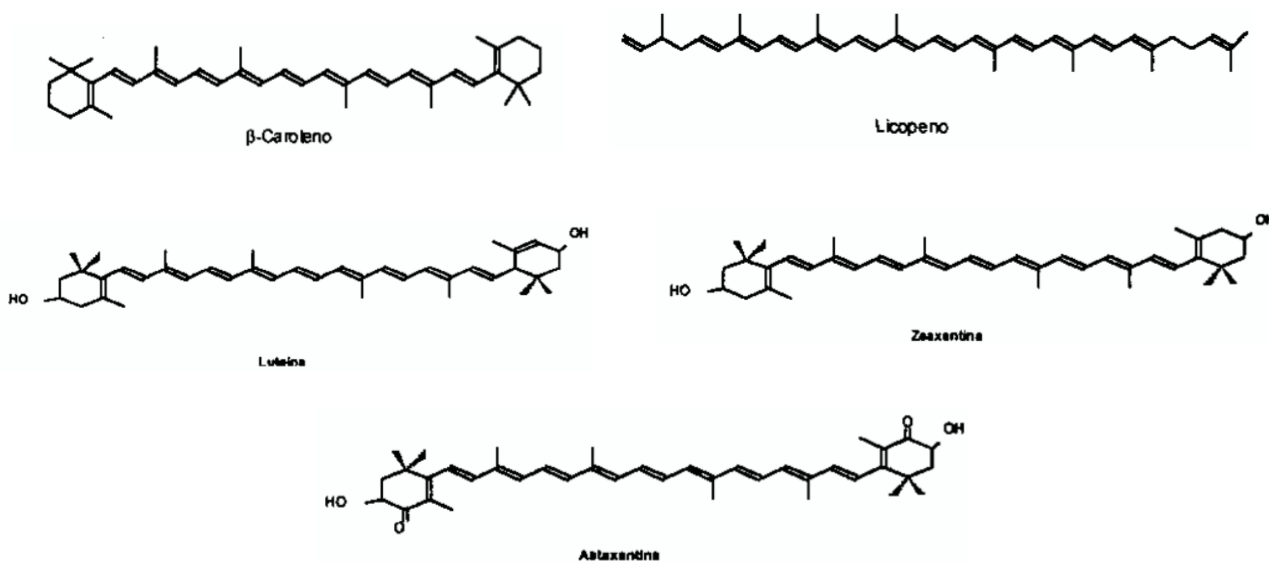


Figura 6 Estructura del  $\beta$ -carotè, licopè, luteïna, zeaxantina i astaxantina

Font: (Sanchez et al., 1999)

Els carotenoides també participen en el complex pigment/proteïna, que recull llum i transfereix l'energia a la clorofil·la (Sarafi, Siomos, Tsouvaltzi, Chatzissavvidis, et al., 2018) i per tant juguen un paper essencial en la fotosíntesi (Sarafi, Siomos, Tsouvaltzi, Chatzissavvidis, et al., 2018).

Els carotens poden donar coloració des de groga fins a púrpura. Aquests apareixen quan el fruit madura i per tant es dona una degradació de la molècula de clorofil·la que genera compostos no colorejats i fa que s'expressin aquests altres pigments (Eradi Figuerola Cares et al., 2015).

### 5.2.3. Compostos fenòlics

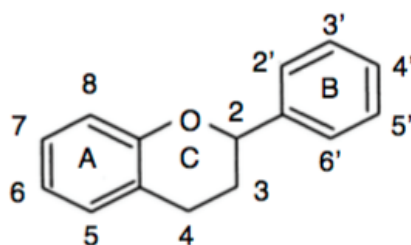
Els compostos fenòlics són importants metabòlits secundaris dels pebrots amb propietats antioxidants, els quals engloben a més de 8000 compostos diferents, que poden arribar a

suprimir diferents trastorns de salut (Martínez-Valverde et al., 2000; Sarafi, Siomos, Tsouvaltzis, Chatzissavvidis, et al., 2018).

Darrerament, han rebut molta atenció, ja que molts estudis epidemiològics suggereixen que el consum d'aliments i begudes rics en compostos polifenòlics s'associa amb un risc reduït de malalties cardiovasculars, ictus i certes formes de càncer (Ghasemnezhad et al., 2011).

Actuen com a metabòlits importants per al creixement i reproducció de les plantes i s'han relacionat amb la qualitat sensorial dels aliments així com també la seva contribució a la pigmentació a través de les antocianidines (Martínez-Valverde et al., 2000).

Els compostos fenòlics, especialment els flavonoides (**Figura 7**), són considerablement presents a les fruites i verdures (Mateos et al., 2013).



Flavonoide

Figura 7 Estructura bàsica del flavonoide

Font: (Martínez-Flórez et al., 2002)

Els flavonoides mostren activitat antioxidant per molts compostos que són fàcilment oxidables. En la planta es troben principalment en les fulles, flors i en el pol·len (Maestro Durán & Borja Padilla, 1993). Són els que formen el grup més important dins els compostos fenòlics i són de baix pes molecular (Martínez-Valverde et al., 2000).

## 6. Capacitat antioxidant

Avui en dia, saber la capacitat antioxidant i els components dels aliments que consumim està sent d'especial interès per al públic en general, els experts mèdics i nutricionals i els investigadors en ciències de la salut. La composició dels aliments és molt complexa i resulta costós i ineficient separar cada compost antioxidant i estudiar-lo individualment. Diferents assaigs i estudis epidemiològics han mostrat una correlació inversa entre la ingesta de fruites i verdures i l'aparició de malalties com la inflamació, les malalties cardiovasculars, el càncer i els trastorns relacionats amb l'envelliment. Es creu que els antioxidants dietètics, inclosos compostos polifenòlics, vitamines E i C i carotenoides, són els nutrients més efectius en la prevenció d'aquestes malalties relacionades amb l'estrès oxidatiu (Huang et al., 2005).

L'activitat antioxidant depèn bastant de la solubilitat i distribució dels antioxidants (Apak et al., 2016a). Al ser els antioxidants un tema tan complex, és difícil trobar un assaig validat capaç de mesurar de manera fiable la capacitat antioxidant dels aliments (Huang et al., 2005).

L'activitat antioxidant mesurada per un assaig individual reflecteix només la reactivitat química en unes condicions específiques aplicades (temperatura, pressió, mitjans de reacció, coreactius i punts de referència) i per tant, no és gaire adequat anomenar-ho com "activitat antioxidant total". Per això, s'utilitza la "capacitat" quan es refereix als resultats obtinguts per diferents assaigs. Termes específics per a oxidants, com ara "capacitat de depuració de radicals peroxil", "capacitat de depuració de superòxids", "capacitat de reducció de ions fèrrics" i similars serien més adequats per descriure els resultats d'assaigs específics que els termes poc definits de "capacitat antioxidant total" (Huang et al., 2005).

### 6.1. Mètodes de mesura

A partir de les reaccions químiques implicades, els assajos principals de la capacitat antioxidant es poden dividir aproximadament en dues categories: assajos basats en la reacció de transferència d'àtoms d'hidrogen (HAT) i assajos basats en reacció de transferència d'un sol electró (ET). Els valors del pH tenen un efecte important en la capacitat reductora dels antioxidants ja que en condicions àcides, la capacitat reductora es pot suprimir a causa de la protonació de compostos antioxidants, mentre que en condicions bàsiques, la dissociació de protons de compostos fenòlics augmentaria la capacitat reductora d'una mostra (Huang et al., 2005; Müller et al., 2011).



### 6.1.1. Avaluacions basades en transferència d'electrons (ET)

Els assajos basats en ET mesuren la capacitat reductora d'un antioxidant. Impliquen una reacció redox amb l'oxidant com a indicador del punt final de la reacció (mostrats mitjançant un canvi de color a mesura que l'oxidant es redueix). D'entre els més utilitzats, aquests assajos inclouen els assaigs de capacitat antioxidant (TEAC) equivalents a Trolox, els assaigs del 2,2-difenil-1-picril·hidrazil (DPPH) i l'assaig de poder antioxidant (FRAP) de reducció de ions fèrriques (Huang et al., 2005). Aquests mètodes involucren dos components en la barreja de reacció, els antioxidants i l'oxidant. Es basen en la següent reacció de transferència d'electrons (Apak et al., 2016a):

Oxidant + e (de antioxidant) → oxidant reduït + antioxidant oxidat

Un oxidant capta un electró de l'antioxidant, provocant canvis de color en la sonda (oxidant). El grau de canvi de color és proporcional a les concentracions d'antioxidants. S'arriba al punt final de la reacció quan el canvi de color s'atura. El canvi d'absorbància ( $\Delta A$ ) es presenta en contra de la concentració d'antioxidants per donar una corba lineal. La inclinació de la corba reflecteix la capacitat reductora de l'antioxidant, que s'expressa com a equivalència Trolox (TE) o equivalent a àcid gàl·lic (GAE). Per fer la correlació, se suposa que la capacitat antioxidant és igual a la capacitat reductora (Huang et al., 2005).

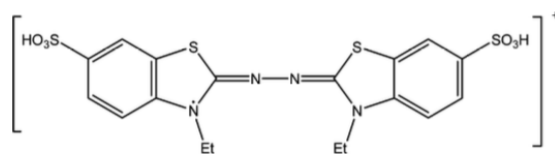
En general, els assaigs de capacitat antioxidant total basats en ET tenen una bona precisió, perquè la diferència d'intensitats d'absorbància o fluorescència de les sondes reduïdes i originals es poden mesurar directament (Apak et al., 2016a).

#### Assaig de capacitat antioxidant equivalent (ABTS/TEAC)

A causa de la seva simplicitat operativa, l'assaig TEAC (*Trolox equivalent antioxidant capacity*) s'ha utilitzat en molts laboratoris d'investigació per estudiar la capacitat antioxidant i s'informen dels valors TEAC de molts compostos i mostres d'aliments. És senzill a nivell d'operació i les reaccions són ràpides (alguns mètodes utilitzen 30 minuts o menys). Es sol utilitzar el compost químic ABTS<sup>•+</sup> (2,2'-azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)) (**Figura 8**), ja que és soluble tant en dissolvents aquosos com en dissolvents orgànics, cosa que permet la determinació de la capacitat antioxidant tant d'antioxidants hidròfils com lipòfils. Els valors TEAC per als compostos antioxidants purs no mostren una correlació clara entre els valors TEAC i el nombre d'electrons que un antioxidant pot donar. Aquests assajos corren en un ampli rang de pH però normalment es realitzen en condicions neutres (Apak et al., 2016b; Huang et al., 2005).

Els assaigs ABTS/TEAC utilitzen el catió radical intensament acolorit de color verd d'ABTS com a sonda colorimètrica útil que accepta electrons subministrats per compostos antioxidants.



Figura 8 ABTS<sup>•+</sup>

Font: (Apak et al., 2016b)

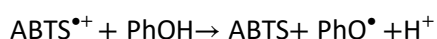
L'assaig TEAC es va basa, per tant, en un mètode de decoloració on s'oxida l'ABTS al blau-verd ABTS<sup>•+</sup> i aquest disminueix el seu color reaccionant amb antioxidants.

Segons el mètode original, per produir el radical ABTS<sup>•+</sup> es necessària l'activació de la metmioglobina amb H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (peroxidasa) que produeix el radical ferril mioglobina i que oxida l'ABTS fins al blau/verd ABTS<sup>•+</sup>.

En aquest assaig, s'afegeixen antioxidants abans que la formació d'ABTS<sup>•+</sup> sigui iniciada, donant lloc a un retard en la formació de radicals (temps de retard). Això va ser criticat ja que els antioxidants de reacció més ràpida també podrien reaccionar amb ABTS<sup>•+</sup>, causant una sobreestimació de l'activitat antioxidant. L'assaig es va modificar generant per primera vegada una forma estable de catió radical, ABTS<sup>•+</sup>.

Actualment s'ha modificat la manera de produir el radical ABTS<sup>•+</sup>. L'ABTS reacciona amb un compost oxidant (generalment H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, MnO<sub>2</sub> o persulfat de potassi), donant lloc al catió ABTS<sup>•+</sup> (Apak et al., 2016a, 2016b).

El que s'intenta fer ara és una tècnica de descoloració en què el radical es genera directament de forma estable abans de la reacció amb suposats antioxidants. La tècnica millorada per a la generació de ABTS<sup>•+</sup> implica la producció directa del cromòfor ABTS<sup>•+</sup> blau / verd mitjançant la reacció entre ABTS i persulfat de potassi (Re et al., 1999). La reacció seria com la que es pot veure a continuació:



En qualsevol cas, la seva activitat antioxidant es mesura com la habilitat que té un compost per disminuir el color del radical ABTS<sup>•+</sup> interceptant l'oxidació inicial i evitant la producció d'ABTS<sup>•+</sup> o reaccionant directament amb el catió radical preformat.

ABTS<sup>•+</sup> com a gran radical centrat en nitrogen i obstaculitzat estèricament pot no ser adequat per simular radicals petits molt reactius (per exemple, •OH, NO•, O2•-) que són actius en teixits i aliments biològics (Apak et al., 2016b).

La longitud d'ona utilitzada normalment és entre 400nm i 873nm i s'ha d'anar en compte a l'espectròmetre ja que alguns carotenoides, polifenols o els seus productes d'oxidació poden tenir una absorbància superposada. En la majoria dels casos solen presentar interferències en longituds entre 400-450nm. Fora d'aquest rang, és molt menys probable trobar interferències (Apak et al., 2016b).

### Mètode 2,2 – difenil – picril – hidracil (DPPH)

En un inici es creia que l'assaig DPPH implicava només reaccions de transferència d'àtoms d'hidrogen, però es va suggerir que la reacció de fet es comporta també com una reacció ET ja que el pas que determina la velocitat d'aquesta reacció consisteix en un procés ràpid de transferència d'electrons dels anions fenòxid al DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) (**Figura 9**) (Huang et al., 2005).

El mètode DPPH es basa en l'activitat de captació de radicals lliures, mesura l'activitat de cicatrització radical dels antioxidants contra els radicals lliures, com el radical DPPH (Deepa et al., 2006; Sarafi, Siomos, Tsouvaltzis, Chatzissavvidis, et al., 2018). El DPPH és un radical cromogen, un dels pocs radicals de nitrogen orgànics estables i disponibles comercialment. Després de la reducció, el color de la solució s'esvaeix; el progrés de la reacció es controla convenientment mitjançant un espectrofotòmetre (Apak et al., 2016b; Huang et al., 2005).

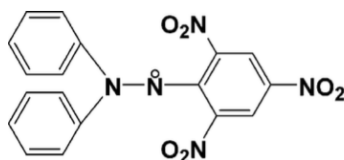


Figura 9 DPPH

Font: (Huang et al., 2005)

Els cristalls de DPPH es dissolen generalment en etanol o metanol per donar una absorbància inicial de ~1,0. A continuació, s'afegeix una alíquota de l'antioxidant, la barreja s'incuba durant 30 minuts i es registra l'absorbància final. El color porpra original de la solució s'esvaeix al groc a causa de la reducció de DPPH<sup>•</sup> a DPPH<sub>2</sub> per l'abstracció de l'àtom d'hidrogen des dels antioxidants.

L'assaig DPPH és una tècnica senzilla, alguns desavantatges però limiten les seves aplicacions. El DPPH és un radical lliure nitrogenat de llarga vida, obstaculitzat estèricament, que no té cap semblança amb els radicals de curta durada com l'hidroxil, superòxid i radicals oxil lipídics (que tenen una vida útil que oscil·la entre els nanosegons i els 10 segons). Molts antioxidants que reaccionen ràpidament amb els radicals peroxil poden reaccionar lentament o fins i tot poden ser inerts al DPPH (Huang et al., 2005).

La capacitat antioxidant s'expressa normalment com IC50 (concentració total d'antioxidants necessària per reduir l'absorbància inicial de DPPH\* en un 50%) o concentració de Trolox equivalent (TE) milimolar de la mostra provada (Apak et al., 2016b).

### Potencial antioxidant de reducció fèrrica (FRAP)

L'assaig FRAP és senzill, pràctic i econòmic on també aprofita les reaccions de transferència d'electrons, implica la reacció de transferència d'un sol electró. Aquí es fa servir com a oxidant una sal fèrrica ( $\text{Fe(III)(TPTZ)}_2\text{Cl}_3$ ) i es realitza en condicions àcides (Deepa et al., 2006; Huang et al., 2005). El conglomerat es coneix com a "reactiu FRAP". El mètode FRAP es basa en la reducció de Fe (III) a Fe (II) per part dels antioxidants en presència del lligand 2,4,6-tripiridil-s-triazina (TPTZ) que forma un complex de color blau amb Fe (II) a pH baix mesurat espectrofotomètricament a 593 nm (màxim d'absorció). Per mesurar el valor FRAP es té en compte el canvi d'absorbància ( $\Delta A$ ) i es relaciona amb  $\Delta A$  d'una solució estàndard de Fe (II).  $\Delta A$  és linealment proporcional a la concentració d'antioxidant. Una unitat FRAP es defineix arbitràriament com la reducció d'1 mol de Fe (III) a Fe (II) (Apak et al., 2016a; Huang et al., 2005; Sarafi, Siomos, Tsouvaltzis, Chatzissavvidis, et al., 2018).

La reducció de Fe (III) a Fe (II) amb un potencial de reducció superior a 1,0 V i utilitzant TPTZ pot oxidar selectivament la majoria dels antioxidants però no àcid cítric i sucres simples ja que  $E_{0 \text{ Fe(III)} - \text{Fe(II)}}$  en presència de TPTZ és només 0,70 V.

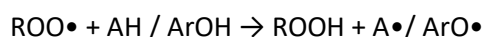
Aquest mètode ha sigut criticat per diferents motius:

- per assajar tiols i carotenoides, ja que són antioxidants que actuen principalment per transferència d'àtoms d'H.
- Les reaccions FRAP es realitzen en medi àcid fins la hidròlisi de Fe (III) (és a dir, a pH 3,6) on els antioxidants fenòlics no es dissocien i, per tant, s'esperen resultats inferiors als TAC reals perquè els fenolats s'oxiden molt més ràpidament que els fenols corresponents.
- produir Fe (II) com a producte de reducció, que podria donar lloc a la generació d'espècies reactives (com ara radicals hidroxil) provocant així un "cicle redox" de fenòlics i produint resultats TAC erronis.

### 6.1.2. Avaluacions basades en transferència d'àtoms d'hidrogen (HAT)

Els assajos basats en HAT quantifiquen la capacitat de donació d'àtoms d'hidrogen (Huang et al., 2005). Mesuren l'activitat de l'antioxidant per eliminar els radicals lliures, generalment radicals peroxil (Apak et al., 2016a; Müller et al., 2011). Controlen la cinètica de reaccions competitives i la quantificació es deriva de les corbes cinètiques. Els mètodes basats en HAT generalment es componen d'un generador de radicals lliures sintètics, una sonda molecular oxidable i un antioxidant (Huang et al., 2005).

El mecanisme HAT d'acció antioxidant, en què l'àtom d'hidrogen (H •) d'antioxidants (AH/ArOH) es transfereix a un radical ROO •, es pot resumir mitjançant la reacció



on el radical de l'antioxidant (A•) i del radical ariloxil (ArO •) format a partir de la reacció del fenol antioxidant amb el radical peroxil s'acostuma a estabilitzar per ressonància. Els antioxidants fenòlics efectius (Ar-OH) han de reaccionar més ràpidament que les biomolècules amb radicals lliures per protegir aquests últims de l'oxidació i A• s'ha de convertir ràpidament en espècies menys reactives (Apak et al., 2016a, 2016b).

### Capacitat d'absorció del radical d'oxigen (ORAC)

L'assaig ORAC proporciona una mesura directa de la capacitat antioxidant de trencament de cadena hidròfila i lipòfila enfront dels radicals peroxil (Huang et al., 2005). S'ha utilitzat àmpliament per mesurar el contingut d'antioxidants en mostres d'aliments (Apak et al., 2016b). La primera versió de l'assaig ORAC va utilitzar β-ficoeritrina (β-PE, una proteïna fluorescent). La desintegració de la fluorescència del β-PE és una indicació del dany per la seva reacció amb el radical peroxil (ROO•). Més tard, es va trobar que el β-PE patia diversos desavantatges: era un producte proteic aïllat de *Porphyridium cruentum*, té una gran variabilitat de lot a lot; es pot fotoblanquejar després de l'exposició a la llum d'excitació; i interactua amb polifenols a causa de la unió inespecífica de proteïnes i perd fluorescència fins i tot sense generador de radicals afegit (Apak et al., 2016b; Huang et al., 2005).

Amb tot això, es va substituir el β-PE per fluoresceïna (FL). FL és una substància sintètica sense proteïnes i supera les limitacions del β-PE (Huang et al., 2005). A mesura que avança la reacció, si reacciona amb el radical peroxil es consumeix fluoresceïna i disminueix la intensitat de fluorescència i si reacciona amb l'antioxidant es forma un producte estable. En presència d'antioxidants, s'inhibeix la desintegració de la FL (Apak et al., 2016b; Huang et al., 2005).

Wu et al. (2004) van demostrar que a nivell d'extractes hidròfils de fruites i verdures, els valors ORAC eren molt superiors als dels extractes lipòfils.



### 6.1.3. Assajos més utilitzats

Havent vist ara els diferents assajos, els més utilitzats en el cas del pebrot per la seva facilitat, rapidesa i sensibilitat són els que impliquen compostos cromògens de naturalesa radical per simular espècies reactives d'oxigen i nitrogen. Els antioxidants presents en aliments fan desaparèixer aquests cromògens radicals, sent els dos més utilitzats els radicals ABTS<sup>+</sup> i DPPH. Tots dos presenten reaccions cinètiques similars amb la majoria d'antioxidants però tot i així en la següent taula (**Taula 1**) es mostren les principals diferències (Arnao, 2000).

Taula 1 Diferències entre l'assaig TEAC i DPPH

	<b>TEAC</b>	<b>DPPH</b>
<b>Catió radical</b>	ABTS <sup>+</sup>	DPPH
<b>Absorbàncies màximes</b>	414 nm, 752 nm i 842 nm en medis aquosos 414 nm, 730 nm i 873 nm en medis etanòlics	515 nm en medis metanòlics
<b>Medis en que es soluble</b>	Aquosos i orgànics	Orgànics (sobretot alcohòlic)
<b>Antioxidants a interpretar</b>	Lipòfils i hidròfils	Lipòfils
<b>Generació del radical</b>	Reaccions enzimàtiques(peroxidasa o mioglobina) o químiques (diòxid de manganès, persulfat de potassi)	Sense preparació (preparat per dissoldre's)
<b>Mètode de mesura</b>	Absorbància	Absorbància

Font: (Arnao, 2000)

## 6.2. Espècies reactives d'oxigen (EROs) i sistema antioxidant en plantes

Les espècies reactives de l'oxigen (EROs) són espècies químiques molt reactives que poden promoure l'oxidació cel·lular. On majoritàriament es troben és en la membrana tilacoide dels cloroplasts. La fotoproducció de EROs es veu en gran mesura afectada per factors fisiològics i ambientals (Asada, 2006).

Tots els organismes aerobis pateixen danys quan s'exposen a concentracions d' $O_2$  més elevades del normal ja que es dona una formació en excés del radical superòxid  $O_2^{\cdot-}$  (Halliwell, 2006).

Moltes de les EROs posseeixen electrons desaparellats en els seus orbitals externs el qual genera una alta reactivitat i inestabilitat estructural i fa que es transformin en radicals lliures capaços de captar electrons de molècules biològiques per aconseguir estabilitzar-se (Darré, 2019).

Les formes més reactives del  $O_2$  són els oxígens senzills ( $^1O_2$ ) que poden oxidar directament proteïnes, ADN i lípids.

Tenir massa EROs en relació als antioxidants disponibles, causa un estat d'estrès oxidatiu (Halliwell, 2006). L'estrès oxidatiu és un estat patològic en què les espècies reactives d'oxigen o nitrogen aclaparen les defenses antioxidants de l'organisme, provocant modificacions oxidatives de macromolècules biològiques (és a dir, lípids, proteïnes, ADN), lesions tissulars i mort cel·lular accelerada com la base de moltes malalties (Apak et al., 2016a). Per això, són necessaris diferents antioxidants (enzimàtics i no enzimàtics) per oposar-se a l'oxidació cel·lular (Halliwell, 2006).

En condicions d'estrès i senescència a les plantes, generalment es produeix un augment en la generació d'espècies reactives d'oxigen (EROs) en diferents compartiments cel·lulars, inclosos els radicals superòxid ( $O_2^{\cdot-}$ ), el peròxid d'hidrogen ( $H_2O_2$ ), els radicals hidroxil ( $\cdot OH$ ), els radicals peroxils ( $ROO\cdot$ ) i oxigen senzill ( $^1O_2$ ). Aquestes espècies poden reaccionar amb proteïnes, lípids i àcids nucleics alterant la potencialitat biològica d'aquestes biomolècules. A més d'això, les plantes són especialment susceptibles als danys oxidatius produïts per EROS. El dany oxidatiu cel·lular té un paper important en la determinació de l'eficiència relativa de la funció cel·lular i, per tant, el comportament dels cultius en condicions de canvis ambientals (Huang et al., 2005; Mateos et al., 2013; Palma et al., 2011).

Per contrarestar l'efecte d'aquestes EROs, les cèl·lules vives contenen sistemes antioxidants que les converteixen en espècies inofensives i permeten a la cèl·lula fer front a les situacions d'estrès. Es sacrificaran els antioxidants per protegir les biomolècules de l'oxidació i, per tant, l'antioxidant ha complert la seva funció. Per exemple,  $O_2^{\cdot-}$  es converteix en oxigen i el peròxid



d'hidrogen per superòxid dismutasa (SOD) o reacciona amb òxid nítric (NO•) per formar peroxinitrit. L'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> es pot convertir en aigua i oxigen mitjançant la catalasa. En canvi, no es coneix cap acció enzimàtica que elimini ROO •, HO •, <sup>1</sup>O<sub>2</sub> i ONOO-. Per tant, la càrrega de la defensa es basa en una gran varietat d'antioxidants no enzimàtics com les vitamines C i E i molts fitoquímics que tenen la propietat d'eliminar oxidants i radicals lliures (Huang et al., 2005; Mateos et al., 2013).



## 7. Factors que poden afectar en el contingut en àcid ascòrbic i capacitat antioxidant del pebrot

### 7.1. Tipus i varietat de pebrot

La genètica sembla tenir un paper important pel que fa al contingut de fitoquímics i de la capacitat antioxidant de diferents cultivars o genotips de la mateixa planta (Deepa et al., 2006).

Lozano & Bernalte, (2002) van dur a terme un estudi en el que es volia veure l'efecte de diferents tipus i diferents varietats ecològiques de pebrot sobre la capacitat antioxidant i el contingut en àcid ascòrbic. Per això es van avaluar tretze varietats (algunes tradicionals i d'altres comercials) de quatre tipus diferents de pebrot fresc: Lamuyo, Italià, Morrón i Piquillo. La capacitat antioxidant es va determinar segons el mètode basat en la generació d'espècies radicals (ABTS) amb un espectrofotòmetre a  $\lambda=730$  nm i es va expressar com a mg Trolox/100g de pf (pes fresc). Més endavant, tenint en compte que 1 mol de Trolox equival a 250,29g de Trolox, es fa la conversió per tal de poder comparar. La vitamina C es va identificar mitjançant HPLC i es va expressar com a mg d'àcid ascòrbic/ 100g de pf (Santa Cruz Biotechnology, 2020).

Com es mostra en la següent taula (**Taula 2**), es pot veure que la varietat és un paràmetre que en aquest cas està afectant lleugerament a la capacitat antioxidant i al contingut en àcid ascòrbic. Es mostren certes diferències en diferents varietats de tipus Italià i Morrón pel que fa a la capacitat antioxidant, però en canvi, en àcid ascòrbic només es veuen diferències en les varietats del tipus Italià.

Tenint ara només en compte el tipus de pebrot (**Taula 3**) es pot veure que el Lamuyo és el que presenta un valor més alt de capacitat antioxidant, amb un valor de  $31,44 \pm 3,16$  mg Trolox/100 g pf, i sí que presenta diferències significatives respecte als altres tipus. Tot i així, parlant de vitamina C, no es mostren diferències significatives pel que fa als diferents tipus de pebrot.



Taula 2 Activitat antioxidant total i contingut en vitamina C de diferents varietats de pebrot

<i>Tipus</i>	<i>Varietat</i>	<i>AAT<sup>1</sup></i> <i>(mg Trolox/100 g pf)</i>	<i>Vitamina C<sup>1</sup> (mg àcid</i> <i>ascòrbic/ 100g pf)</i>
<i>Lamuyo</i>	BGV005126	32,03 ± 10,10a	97,18 ± 17,08a
<i>Lamuyo</i>	BGV001851	33,83 ± 11,49a	92,86 ± 15,73a
<i>Lamuyo</i>	MU-CA-3	33,05 ± 3,28a	84,05 ± 3,12a
<i>Lamuyo</i>	Comercial	26,83 ± 1,85a	92,06 ± 8,47a
<i>Italià</i>	BGV00672	22,17 ± 1,97b	110,95 ± 10,73b
<i>Italià</i>	MU-CA-8	20,25 ± 0,39a	84,31 ± 5,46a
<i>Italià</i>	MU-CA-23	23,80 ± 0,95b	108,96 ± 7,92b
<i>Morrón</i>	BGV004031	22,73 ± 1,07a	98,46 ± 9,62a
<i>Morrón</i>	BGV000604	28,71 ± 3,27b	113,75 ± 14,56a
<i>Morrón</i>	MU-CA-12	25,81 ± 0,89b	90,65 ± 9,98a
<i>Morrón</i>	Comercial	22,78 ± 3,62a	100,75 ± 9,52a
<i>Piquillo</i>	BGV005137	23,04 ± 1,84a	99,25 ± 8,59a
<i>Piquillo</i>	Comercial	25,71 ± 2,04a	97,28 ± 7,11a

<sup>1</sup>Per varietats d'un mateix tipus, en la mateixa columna, valors seguits per lletres diferents presenten diferències significatives  $P < 0,05$ . AAT: activitat antioxidant total pf: pes fresc

Font: (Lozano & Bernalte, 2002)

Taula 3 Activitat antioxidant total i contingut en vitamina C de diferents varietats de pebrot

Tipus	AAT <sup>1</sup> (mg Trolox/100 g pf)	Vitamina C <sup>1</sup> (mg àcid ascòrbic/ 100g pf)
Lamuyo	31,44 ± 3,16b	91,54 ± 5,48a
Italià	22,08 ± 1,78a	101,40 ± 14,84a
Morrón	25,01 ± 2,86a	84,05 ± 3,12a
Piquillo	24,38 ± 1,89a	92,06 ± 8,47a

<sup>1</sup>Per columnes, valors seguits per lletres diferents presenten diferències significatives P<0,05.

AAT: activitat antioxidant total pf:pes fresc

Font: (Lozano & Bernalte, 2002)

Per altra part, Deepa et al., (2006) van fer un estudi de com influïen 10 varietats diferents de pebrot vermell i recol·lectats en 2 anys diferents sobre la capacitat antioxidant total (mesurada segons el mètode FRAP i DPPH) i el contingut d'àcid ascòrbic (identificat mitjançant una valoració). En la següent figura (**Figura 10**) es mostra com les diferents varietats presenten diferents valors de contingut en vitamina C. El valor més alt l'obté la varietat Flamingo l'any 2003 amb aproximadament uns 80 mg/100g de pf mentre que el valor més baix estaria en uns 25 mg/100g de pf aproximadament en la varietat HA-1195. Tot i ser tot pebrot vermell, es pot observar que pel que fa a la vitamina C, hi ha diferències significatives en diferents varietats en un mateix any.

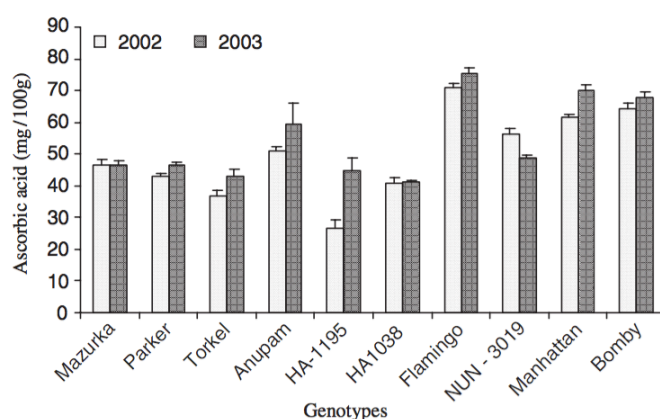


Figura 10 Influència de la varietat i diferents anys de cultiu en el contingut d'àcid ascòrbic en pebrots vermells

Font: Deepa et al., 2006

Parlant ara de capacitat antioxidant, l'activitat antioxidant mesurada pel radical DPPH (longitud d'ona 515 nm) va oscil·lar entre el 25-72% (% d'inhibició en comparació amb el control) el 2002 i del 20-71,7% el 2003 (**Figura 11**).

Segons el mètode FRAP (**Figura 12**) es pot veure que hi ha molta diferència entre certes varietats. Es va mesurar amb una absorbància amb longitud d'ona de 593 nm. La capacitat antioxidant va oscil·lar entre 6,22 mM FRAP/g a Parker i 31,9 mM FRAP/g a Flamingo el 2002 mentre que al 2003, el contingut oscil·lava entre 7,06 mM FRAP/g a Parker i per sobre de 40 mM FRAP/g a Bomby. Amb això, es pot veure com hi ha una diferència igual o superior a cinc vegades en capacitat antioxidant d'entre les varietats en tots dos anys.

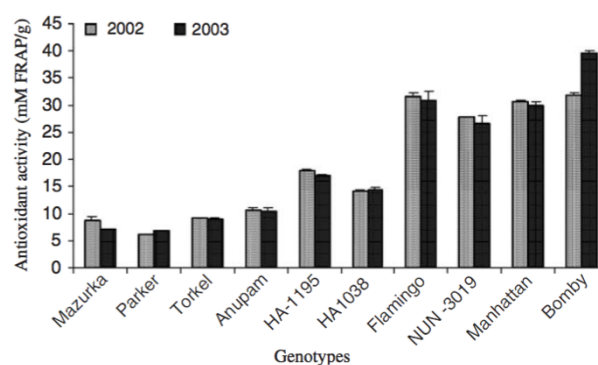
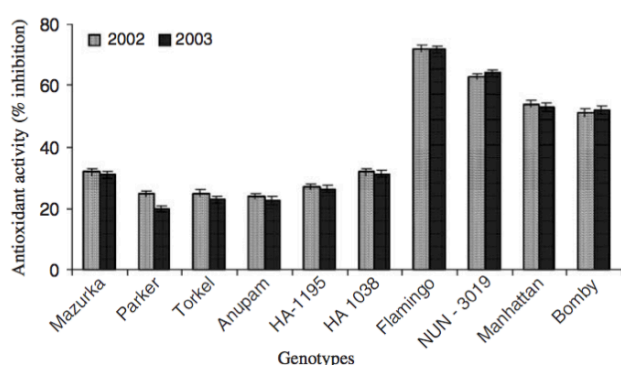


Figura 11 Influència de la varietat i l'any de cultiu en la capacitat antioxidant (%inhibició) de pebrots vermells

Font: (Deepa et al., 2006)

Figura 12 Influència de la varietat i l'any de cultiu en la capacitat antioxidant (mM FRAP/g pf) de pebrots vermells

Font: (Deepa et al., 2006)

Un altre estudi va ser el de Medina-juárez et al., (2012) que van estudiar com afectaven 5 varietats diferents de pebrot verd al contingut de vitamina C i a la seva capacitat antioxidant (mitjançant el mètode ABTS i DPPH). Pel que fa a la vitamina C, els resultats es mostren en la següent taula (**Taula 4**) on oscil·len entre 121,14 i 251,60 mg / 100 g pf.

Taula 4 Contingut d'àcid ascòrbic en diferents tipus de pebrot

Varietat de pebrot	Anaheim	Bell	Caribe	Jalapeño	Serrano
<b>Àcid ascòrbic (mg/100 g pf)</b>	121,14a	220,42c	210,81c	156,36b	251,60d

Font: (Medina-juárez et al., 2012)

Pel que fa a la capacitat antioxidant també es pot observar certa diferència pel que respecta a les diferents varietats. En el mètode DPPH (**Figura 13**), l'absorbància en l'espectrofotòmetre es va mesurar a una longitud d'ona de 515 nm. Les varietats Bell i Caribe van donar resultats de 60,41 i 83,44% d'inhibició, respectivament, mentre que Serrano, Anaheim i Jalapeño van donar 44,66, 29,08 i 8,45%, respectivament. En el mètode ABTS (**Figura 14**) la longitud d'ona utilitzada va ser de 754 nm. Els valors màxims es van donar en les varietats Bell i Caribe amb valors de  $34,44 \pm 0,43$  i  $33,60 \pm 1,35$   $\mu\text{M ET/g pf}$ , respectivament.

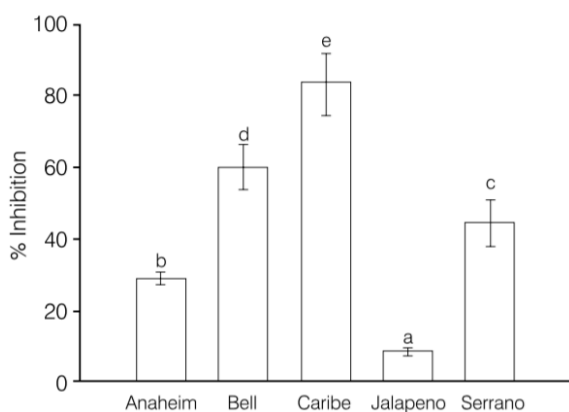


Figura 13 Capacitat antioxidant (%inhibició) segons diferents tipus de pebrot

Font: (Medina-juárez et al., 2012)

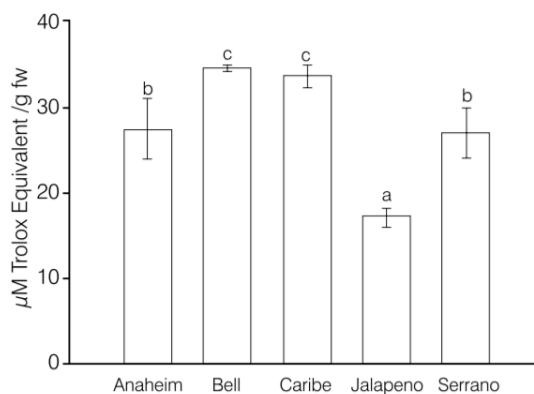


Figura 14 Capacitat antioxidant ( $\mu\text{M TE/g pf}$ ) segons diferents tipus de pebrot

Font: (Medina-juárez et al., 2012)

En un estudi fet per Eradia Figueroa Cares et al., (2015) es mostra que entre 6 varietats diferents (California, Magno, Moonset, Triple A, Triple Star i Viper), no hi ha diferències notables en el contingut de vitamina C, presentant alts continguts d'àcid ascòrbic, entre 274,3 i 355,5 mg/100g (**Taula 5**). Pel que fa a la capacitat antioxidant, es va utilitzar una longitud d'ona de 505 nm (mesurada pel mètode DMPD), la varietat de California és la que presenta el valor més alt seguida de Triple Star i Triple A. Es pot veure com ha variat notablement entre varietats diferents.

Taula 5 Contingut de vitamina C i capacitat antioxidant en diferents varietats de pebrot

Varietat	Vitamina C (mg àcid ascòrbic/100g pf)	Capacitat antioxidant ( $\mu\text{mol}$ Trolox/100g pf)
California (ataronjat)	302,4a	1281a
Magno (ataronjat)	328,6a	729a
Moonset (groc)	309,7a	844ab
Triple A (vermell)	322,3a	1071ab
Triple Star (vermell)	355,5a	1146ab
Viper (vermell)	274,3a	765b

Valors amb diferents lletra en cada columna són estadísticament diferents ( $P \leq 0,05$ ). pf: pes fresc

Font: (Eradia Figueroa Cares et al., 2015)

Palma et al., (2011) van fer recopilació de diferents estudis d'àcid ascòrbic en diferents tipus de pebrot. A més van estudiar ells el contingut d'àcid ascòrbic de dos tipus més (Taula 6). El valor més alt el va tenir la varietat Vergasa (verd) amb 149,8 mg/100g de pf. Vergasa i Biela són del tipus California mentre que Galileo i Herminio són Lamuyo. Es pot veure també relacionat amb la coloració del pebrot que el contingut d'àcid ascòrbic no sembla ser sempre major en pebrots madurs. En el cas de la varietat Herminio, sí que el vermell conté més vitamina C que el verd, però en el cas de Vergasa és al contrari. Això demostra, que el contingut en àcid ascòrbic també depèn de la varietat.

Taula 6 Contingut d'àcid ascòrbic en diferents varietats de pebrot

Cultiu	Àcid ascòrbic (mg/100 g pf)
Herminio (vermell)	148 $\pm$ 4,8
Herminio (verd)	126 $\pm$ 26,6
Biela (groc)	81 $\pm$ 3,1
Biela (groc)	126,7 $\pm$ 11,20

Cultiu	Àcid ascòrbic (mg/100 g pf)
<b>Biela (verd)</b>	<b>89 ± 1,96</b>
Biela (verd)	143,7 ± 10,7
<b>Vergasa (vermell)</b>	<b>111,8 ± 5,5</b>
Vergasa (verd)	149,8 ± 6,5
<b>Galileo (vermell)</b>	<b>108,4 ± 6,8</b>
Italià (verd)	105,9 ± 17,8

Font: (Palma et al., 2011) pf: pes fresc

## 7.2. Estat de maduració del pebrot

En gran part de les espècies de *Capsicum*, la maduració es caracteritza per un metabolisme molt intens on s'emeten compostos orgànics volàtils associats a la respiració, amb destrucció de clorofil·la i síntesi de nous pigments com els carotenoides (Mateos et al., 2013).

Un estudi fet per Serrano Martinez & Delicado, (2008) va demostrar un augment de la vitamina C amb la maduració del pebrot de cultiu Almuden. Es van realitzar estudis en cultius ecològics i tradicionals de pebrots verds i vermells i tant en un cultiu com en l'altre el contingut de vitamina C va augmentar en el pebrot vermell respecte al verd (**Taula 7**). En aquest cas, en aquesta mateixa varietat sí que és major el contingut en vitamina C en els pebrots vermells que en els verds.

Taula 7 Contingut de vitamina C en pebrots verds i vermells de cultiu ecològic i tradicional

Tipus de cultiu	Estadi de maduració	Vitamina C (mg/100 g pf)
<b>Ecològic</b>	Verd	100,13 ± 2,12
	Vermell	148,85 ± 2,41
<b>Tradicional</b>	Verd	77,96 ± 1,73
	Vermell	120,65 ± 1,82

Font: (Serrano Martinez & Delicado, 2008) pf: pes fresc



Of et al., (2014) va fer un estudi per obtenir la quantitat de vitamina C en pebrots verds i pebrots vermells segons el mètode de voltametria d'escombrat lineal i es va obtenir com a resultat que el pebrot vermell tenia  $209,042 \pm 7,950$  mg/100g i el pebrot verd tenia  $165,261 \pm 4,247$  mg/100g.

### 7.3. Factors de pre collita

#### 7.3.1. Sistema de cultiu

En els últims anys, el consumidor ha mostrat cert interès en recuperar el veritable sabor de les hortalisses, cuidar el medi ambient i sobre les conseqüències de la dieta en la seva salut. Per això, busquen que no hi hagi residus de pesticides en aliments frescs i comencen a optar per la horticultura ecològica (Lozano & Bernalte, 2002).

Seguint de referent un dels estudis comentats anteriorment (**Taula 7**) fet per Serrano Martinez & Delicado, (2008) on es van comparar pebrots cultivats en sistemes de producció ecològics i en sistemes de producció tradicionals demostra que pel que fa a la Vitamina C sí que podria influir el sistema de cultiu. En el sistema ecològic es donen valor de vitamina C més elevats en comparació amb el sistema tradicional.

#### 7.3.2. Salinitat del sòl

Navarro et al., (2006) va fer un estudi on volia veure l'efecte de la salinitat sobre la capacitat antioxidant (mesurada mitjançant el mètode ABTS) i el contingut en vitamina C. La longitud d'ona aplicada en l'absorbància va ser de 734nm. Els tractaments de salinitat consistien en aplicar sobre la varietat Orlando (tipus California) tres concentracions de NaCl (0 (S1), 15 (S2) i 30 (S3) mM de NaCl). Es van considerar 3 etapes de maduració: verds, verds-vermells, vermells. Es van seleccionar sis fruits uniformes en els estats verd, verds-vermells i vermell de cada rèplica. Els sis fruits de cada rèplica es van dividir en dos subgrups, existint un total de sis rèpliques per tractament i tres fruits per rèplica.

En la **Figura 15** es pot veure la capacitat antioxidant que es va calcular com la concentració (mM) de trolox al tampó fosfat i es va mostrar com el potencial antioxidant equivalent al ml de suc utilitzat en el minut 30 de reacció. Es va estudiar per separat la capacitat antioxidant en la part hidròfila (HAA) i la lipòfila (LAA). Els valors en la hidròfila són més elevats que en la lipòfila ja que dos dels components majoritaris (àcid ascòrbic i compostos fenòlics) són hidrosolubles. Es pot veure com en tots dos casos, el valor màxim es dona en el pebrot vermell en la salinitat màxima aplicada.



En el cas del contingut d'àcid ascòrbic s'observa que varia segons la salinitat aplicada així com també depèn del estat de maduració del pebrot (**Figura 16**). En el cas del pebrot verd i en maduració, menys sal fa que presenti més contingut en vitamina C i en canvi, en el pebrot vermell és al revés. També es pot observar que el contingut de vitamina C és més elevat quan el pebrot està en el procés de canvi de verd a vermell.

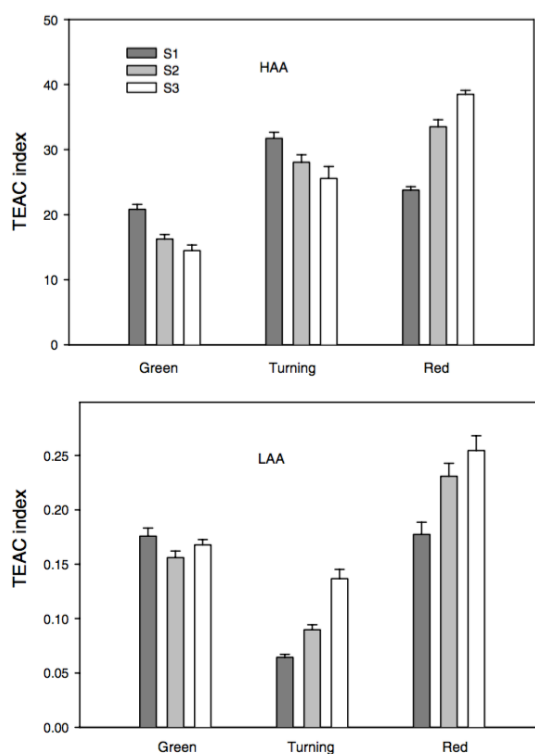


Figura 15 Capacitat antioxidant (HAA i LAA) en pebrots afectats per 0, 15 i 30 mM de NaCl (S1, S2 i S3, respectivament)

Font: (Navarro et al., 2006)

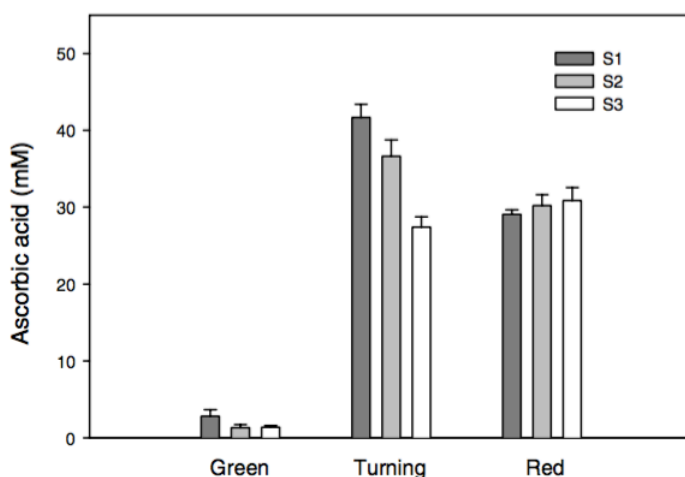


Figura 16 Contingut d'àcid ascòrbic en pebrots afectats per 0, 15 i 30 mM de NaCl (S1, S2 i S3, respectivament)

Font: (Navarro et al., 2006)

Per altre part, Serrano Martinez & Delicado, (2008) va fer un experiment on va aplicar diferent salinitat en l'aigua de reg de les plantes de pebrot tipus Lamuyo, varietat Herminio: 20mM de NaCl i 40 mM de NaCl i apart, hi havia la control amb 0 mM de NaCl. 50 DDT (dies després del trasplant) es va començar a regar algunes plantes ja amb la solució salina, 100 dies després unes altres més i les últimes als 150 dies del trasplant.

En la **Figura 17**, els valors T2, T3 i T6 han estat regats amb solució 20mM de NaCl mentre que T4, T5 i T7 amb solució 40 mM de NaCl. Es pot veure que quanta més solució salina s'incorpora en l'aigua de reg, menys capacitat antioxidant s'obté (segons mètode ORAC). En quant al temps de reg, quant més temps està sotmesa la planta a estrès salí, més capacitat antioxidant presentarà. Les plantes que es van regar amb solució salina 150 dies després del trasplant van tenir menys capacitat antioxidant que les que es van regar 50 dies després del trasplant. Pel que fa a la vitamina C, en la **Figura 18**, no es mostren diferències significatives si es retarda l'aplicació del tractament a la planta, tant a 20 com a 40 mM de NaCl.

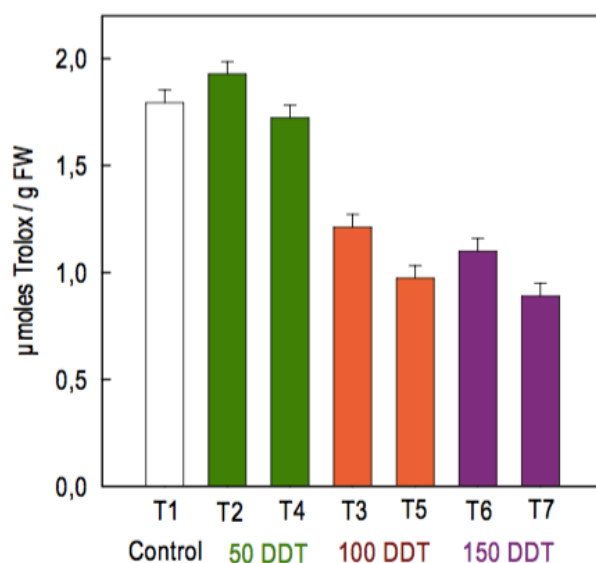


Figura 17 Capacitat antioxidant de pebrots procedents de plantes sotmeses a diferents concentracions de NaCl. (T1) Control, 0 mM de NaCl, (T2) 20 mM de NaCl durant 160 dies, (T4) 40 mM de NaCl durant 160 dies, (T3) 20 mM de NaCl durant 110 dies y (T5) 40 mM de NaCl durant 110 dies, (T6) 20 mM de NaCl durant 60 dies i (T7) 40 mM de NaCl durant 60 dies.

Font: (Serrano Martinez & Delicado, 2008)

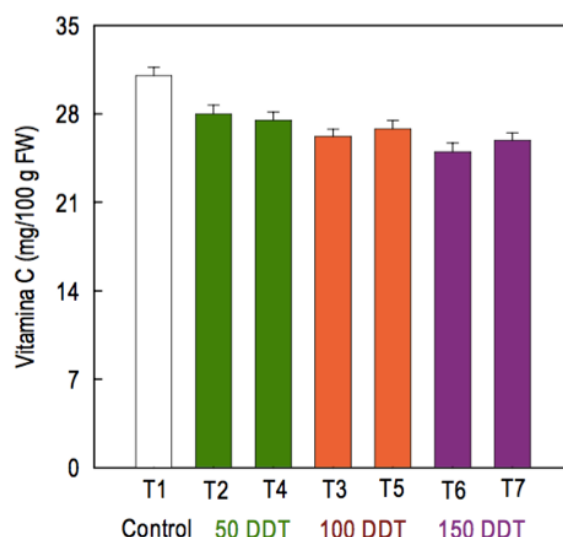


Figura 18 Contingut de vitamina C de pebrots procedents de plantes sotmeses a diferents concentracions de NaCl. (T1) Control, 0 mM de NaCl, (T2) 20 mM de NaCl durant 160 dies, (T4) 40 mM de NaCl durant 160 dies, (T3) 20 mM de NaCl durant 110 dies y (T5) 40 mM de NaCl durant 110 dies, (T6) 20 mM de NaCl durant 60 dies i (T7) 40 mM de NaCl durant 60 dies.

Font: (Serrano Martinez & Delicado, 2008)

### 7.3.3. Enriquiment del sòl amb bor

El bor (B) és un micronutrient essencial per al creixement de les plantes, però, a altes concentracions en el medi de cultiu, arriba a ser tòxic (Sarafi et al., 2017). La disponibilitat de bor en el sòl i en les aigües de reg és un determinant important per a la producció agrícola (Camacho-cristóbal et al., 2008). La concentració de bor en els sòls és variable a moltes zones del món i es freqüent que l'acumulació de B al sòl o a l'aigua de reg sigui tòxica (Sarafi, Siomos, Tsouvaltzis, Therios, et al., 2018). En el sòl, el B existeix principalment com a àcid bòric ( $H_3BO_3$ ). Aquest es pot filtrar fàcilment si hi ha pluges elevades, provocant deficiències en plantes que hi creixen. Per contra, en condicions de pluges baixes, el bor no es pot filtrar suficientment i s'acumula fins a nivells que poden resultar tòxics per al creixement de les plantes (Camacho-cristóbal et al., 2008). A més, la contaminació industrial també pot influir en l'augment del nivell de B en sòls agrícoles (Sarafi, Siomos, Tsouvaltzis, Therios, et al., 2018). Les plantes de pebrot (*Capsicum annuum* L.) són moderadament sensibles al Bor, arriben a tolerar entre 1 i 2 mg/L. (Sarafi et al., 2017) Una concentració baixa de B pot produir la cessació del creixement de les arrels i de les fulles, la necrosi de la primòrdia de les fulles, la necrosi del floema de les

fulles i de la tija, la divisió de l'escorça o la germinació reduïda del pol·len. Per altre part, la toxicitat per bor es produeix a la regió marginal de les fulles madures, les porcions de les quals es converteixen en cloròtiques o necròtiques (Sarafi, Siomos, Tsouvaltzis, Chatzissavidis, et al., 2018). Aquesta toxicitat es pot donar naturalment al sòl o bé, afegir-se al medi mitjançant l'aigua de reg i fertilitzants (Sarafi et al., 2017) (Nable et al., 1997), que per sobre de les modificacions òptimes de forma significativa és l'activitat de molts enzims, el metabolisme de les plantes i les funcions fisiològiques (Landi et al., 2012). A més, el subministrament de B al substrat pot afectar el comportament d'altres nutrients en les plantes, com a la seva absorció total (Sarafi, Siomos, Tsouvaltzis, Therios, et al., 2018).

Això és molt freqüent a les regions àrides i semiàrides amb aigües subterrànies amb alt bor, on l'acumulació de B en el sòl superior a causa de l'evaporació de les aigües subterrànies arriba a nivells tòxics que redueixen els rendiments dels cultius (Reid 2007b)

Un estudi experimental realitzat per Sarafi, Siomos, Tsouvaltzis, Chatzissavidis, et al., (2018) sobre les varietats de pebrots Solario, Osho, Odysseo i Arlequin demostra que la concentració de bor en el sòl té efecte sobre el contingut total d'antioxidants en el pebrot i que els compostos que més participen en l'activitat antioxidant també varien en funció de la varietat i de la concentració de Bor.

En aquest experiment es va estudiar com afectava la intensitat de cinc concentracions de bor (B) (0,5, 1, 2,5, 5 i 10 mg B/L) en l'aigua de reg en les 4 varietats diferents de pebrot. Les plantes es regaven amb una solució de nutrients modificada per així poder incloure les diferents concentracions de B.

Per determinar l'activitat antioxidant es van fer servir dos mètodes diferents: FRAP i DPPH. Els resultats en el mètode FRAP van estar donats en  $\mu\text{mol/g}$  mentre que els de DPPH estan donats en %inhibició.

Els efectes de la concentració de B i del color en els valors FRAP i DPPH i la seva interacció van ser significatius (**Figura 19**). Pel que fa al valor FRAP ( $\mu\text{mol/g}$  FF) va ser baix en fruites verdes per a les quatre primeres concentracions de Bor, però, a 10 mg B/L, va augmentar significativament (2-3 vegades).

La maduració del pebrot va fer augmentar significativament el valor FRAP. El major augment de FRAP es va donar a la concentració de 1 mg B/L.

Pel que fa al valor DPPH (% inhibició), no hi va haver cap efecte significatiu de la concentració de B en els pebrots verds. La concentració de bor només va variar del 10% al 16% en fruits verds, mentre que en els fruits vermells aquesta variació va estar entre el 14% i el 32%.

La maduració per tant, va doblar el nivell del valor DPPH. En els fruits vermells, les concentracions d'1, 2,5, 5 i 10 mg B/ L van ser significativament majors en comparació amb 0,5 mg B/ L.

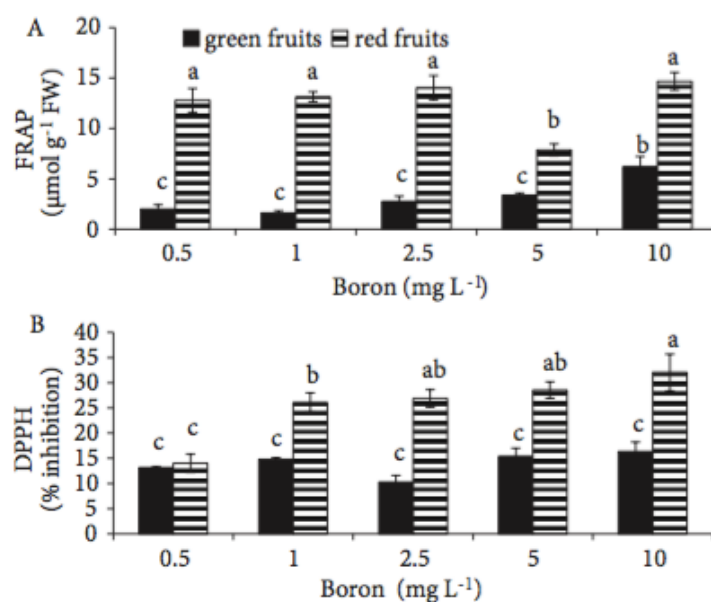


Figura 19 Capacitat antioxidant segons mètode FRAP i DPPH i segons diferents salinitats aplicades al pebrot

Font: (Sarafi, Siomos, Tsouvaltzis, Chatzissavvidis, et al.,2018)

Pel que fa a l'estudi de la capacitat antioxidant en les diferents varietats i amb diferents concentracions de bor, es va trobar que els efectes van ser altament significatius. Les mesures es van realitzar en el període de 40 dies i en el de 70 dies des de l'inici de l'experiment. En la següent taula (**Taula 8**) es mostren els resultats. Pel que fa al assaig FRAP, en les varietats Solario i Odysseo les capacitats més elevades es van donar amb una concentració de 5 mg B/L i la més baixa amb 0,5 mg B/L.

Parlant de l'assaig DPPH, sembla ser (exceptuant la varietat de Solario) que hi ha un major % d'inhibició amb concentració de 10 mg B/L.

Taula 8 Valors de FRAP i DPPH a 5 concentracions de bor en 4 cultivars de pebrot  
(S = Solario, O = Osho, Od =Odysseo, A = Arlequí)

	Concentracions de Bor (mg B·L <sup>-1</sup> )				
	0,5	1	2,5	5	10
<b>FRAP (μmol/g pf)</b>					
<b>S</b>	2,32	9,12	11,54	25,69	10,40
<b>O</b>	26,90	5,33	6,04	7,84	10,44
<b>Od</b>	1,55	3,32	4,78	13,51	8,68
<b>A</b>	6,81	9,33	17,50	5,67	29,03
<b>DPPH (%inhibició)</b>					
<b>S</b>	10,62	7,28	17,10	5,77	10,46
<b>O</b>	3,94	2,79	9,50	5,50	13,85
<b>Od</b>	3,81	9,33	11,44	13,34	17,39
<b>A</b>	11,22	21,33	19,06	9,07	23,34

Font: (Sarafi, Siomos, Tsouvaltzis, Chatzissavvidis, et al., 2018) pf: pes fresc

### 7.3.4. Nivell de Nitrat en el sòl

Un estudi fet també per Serrano Martinez & Delicado, (2008) va estudiar l'efecte de diferents tractaments de fertilització sobre el contingut en àcid ascòrbic del pebrot verd i vermell. A la següent taula (**Taula 9**) es pot veure que el màxim valor de vitamina C s'obté quan s'aplica un 40%N+ rizobacterias tant pel que fa al pebrot verd com vermell. Els resultats estan expressats en g/100 ml, que segurament serà perquè ho hauran determinat per 100ml de la dissolució utilitzada per a la seva determinació.

Taula 9 Contingut d'àcid ascòrbic segons diferent fertilitzants

Estadi	Fertilització	Àcid ascòrbic (g/100ml)
Verd	100% N	0,08 ± 0,015
	40%N+ rizobacterias	0,14 ± 0,01
	40% N	0,11 ± 0,01
Vermell	100% N	0,194 ± 0,091
	40%N+ rizobacterias	0,25 ± 0,01
	40% N	0,22 ± 0,02

Font: (Serrano Martinez & Delicado, 2008)



### 7.3.5. Temperatura de recol·lecció

Com s'ha comentat abans, el pebrot és originari de regions tropicals el que implica que requereixi de condicions d'altres de temperatures i aquesta no hauria de disminuir dels 15°C per assegurar un bon creixement.

Mateos et al., (2013) van fer un estudi de dos cultivars diferents de pebrot (Vergasa i Biela), tots dos del tipus California, per saber si hi havia diferències a nivell de capacitat antioxidant (mesurada segons el mètode ABTS) i de contingut en àcid ascòrbic. Es van fer dues recol·leccions en 2 mesos diferents: Gener i Febrer. Pel que fa al cultiu que es va recol·lectar al gener, vas assolir una temperatura mitjana de  $14,9^{\circ}\text{C} \pm 0,3^{\circ}\text{C}$  però la que es va recol·lectar al Febrer, va ser de  $12,4^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ . Els resultats, que es mostren a continuació (**Taula 10**), mostren que hi ha diferències significatives tant en contingut de vitamina C com en capacitat antioxidant pel que fa a les dos recol·leccions o a la diferent varietat de pebrot, obtenint la varietat Biela majors valors en vitamina C. En canvi a nivell de capacitat antioxidant, obté majors valors la varietat Vergasa al gener i la Biela al Febrer.

Taula 10 Contingut d'àcid ascòrbic i capacitat antioxidant segons diferents mesos de recol·lecció

Recol·lecció	Gener		Febrer	
	Vergasa	Biela	Vergasa	Biela
Àcid ascòrbic total (mg/100 g pf)	$5,5 \pm 0,1118$	$11,2 \pm 0,1267$	$16,0 \pm 0,1079$	$22,3 \pm 0,1225$
Capacitat antioxidant total ( $\mu\text{M}/100\text{g}$ )	$285 \pm 3,656$	$150 \pm 4,410$	$125 \pm 4,155$	$127 \pm 3,920$

Font: (Mateos et al., 2013) pf: pes fresc



## 7.4. Factors de post collita

### 7.4.1. Condicionament

Palma et al., (2011) també va estudiar la influència sobre el contingut d'àcid ascòrbic al emmagatzemar el pebrot a una temperatura de 20°C durant 7 i 19 dies. En la taula (**Taula 11**), es pot observar com augmenta el contingut de vitamina C si està més dies a una temperatura de 20°C. El valor màxim és en pebrot vermell als 19 dies amb un valor de 318,01mg/100g pf.

Taula 11 Contingut d'àcid ascòrbic després de diferents dies a 20°C

		Tractament a 20°C		
			7 dies	19 dies
<b>Ascorbat (mg/100 g pf)</b>	Pebrot verd	136,0 ± 0,1	215,0 ± 0,5	221,0 ± 0,2
	Pebrot vermell	204,4 ± 0,2	204,0 ± 0,2	318,0 ± 0,1

Font: (Palma et al., 2011) pf: pes fre

### 7.4.2. L'assecat del pebrot

El pebrot és una hortalissa perible ja que degut a la seva activitat respiratòria, contingut d'humitat i activitat enzimàtica, és altament susceptible a la deterioració microbiològica i a la degradació de la qualitat i per tant es deteriora als pocs dies després de la seva collita (Tunde-Akintunde et al., 2005; Wang et al., 2018). Cada vegada més, es demanen verdures seques (Arslan & Özcan, 2011) ja que és un bon mètode de conservació i permet perllongar la seva vida útil (Tunde-Akintunde et al., 2005) i obtenir una bona qualitat final del producte sec (Arslan & Özcan, 2011). El pebrot deshidratat s'ha de rehidratar per al consum d'aliments preparats com pizzes, cassoles, sopes, guisats i altres aliments i per això seleccionar les condicions d'assecat adequades és molt important per disminuir l'estrès tèrmic i mantenir les qualitats dels compostos clau del producte rehidratat (Vega-Gálvez et al., 2008). Durant l'assecat, les verdures experimenten canvis físics, estructurals, químics, organolèptics i nutricionals que causen degradació de la qualitat. Un bon mètode de conservació ha de disminuir l'activitat de l'aigua (fins a valors on s'inhibeixen l'activitat microbiana i altres reaccions) mantenint la textura, propietats mecàniques, valors nutricionals, propietats físiques.... (Arslan & Özcan, 2011).

L'assecat del pebrot es pot fer al sol (mètode tradicional) o bé industrialment utilitzant assecadors solars o bé assecats per aire calent (Tunde-Akintunde et al., 2005).



Habitualment, el pebrot deshidratat s'ha obtingut a través de l'assecat a l'aire calent ja que és un mètode que permet un processament ràpid i massiu però el manteniment de la qualitat nutricional i comercial d'aquest pebrot durant el procés ha presentat alguns problemes greus en el passat (Arslan & Özcan, 2011).

Un estudi fet per Arslan & Özcan, (2011) mostra diferències en l'activitat antioxidant del pebrot (segons mètode ABTS, longitud d'ona en l'absorbància de 734 nm) segons diferents mètodes d'assecat. En aquest experiment es van analitzar pebrots vermells assecats en un forn a 50°C i 70°C, en un microones a 210 W i a 700 W o bé amb llum solar (entre 20°C -30°C). Tal i com es mostra en la **Taula 12** l'assecat del pebrot provoca un augment en la capacitat antioxidant. L'assecat que va oferir resultat més alts va ser l'assecat al sol, seguit de l'assecat al microones. Observant les temperatures i potències dels microones es veu que quant més baixa és, menys contingut antioxidant presenta. Això demostra que els temps de deshidratació llargs són més destructius que les altes temperatures aplicades durant l'assecat en termes de activitat antioxidant.

Taula 12 Capacitat antioxidant (TEAC I DPPH) de pebrot vermell segons diferents assecats

	Capacitat antioxidant ( $\mu\text{mol TEAC}/100 \text{ g pf}$ )	Capacitat antioxidant (% inhibició)
<b>Fresc</b>	1733,33 $\pm$ 137, 69d	48,00 $\pm$ 2,00c
<b>Assecat al sol</b>	5564,60 $\pm$ 192,46a	76,14 $\pm$ 2,68a
<b>Assecat al forn (50°C)</b>	4431,14 $\pm$ 399,21c	67,02 $\pm$ 2,46b
<b>Assecat al forn (70°C)</b>	5000,53 $\pm$ 280,32b	73,25 $\pm$ 3,24a
<b>Assecat en un microones (700 W)</b>	5271,92 $\pm$ 40,18ab	74,03 $\pm$ 2,55a
<b>Assecat en un microones (210W)</b>	4840,89 $\pm$ 487,72bc	68,97 $\pm$ 2,36b

Valors amb diferent lletra són estadísticament diferents  $P < 0,05$  . pf: pes fresc

Font: (Arslan & Özcan, 2011)

Un estudi fet per Di Scala & Crapiste, (2008) en pebrots vermells mostra que un augment en la temperatura d'assecat té un efecte negatiu pel que fa a la quantitat de vitamina C (**Figura 20**). L'àcid ascòrbic es va determinar mitjançant un mètode de valoració i es va expressar en mg d'àcid ascòrbic / 100g de teixit vegetal sobre base humida i seca. El valor mitjà del pebrot fresc va ser de 224,4 mg d'àcid ascòrbic / 100 g de producte fresc.

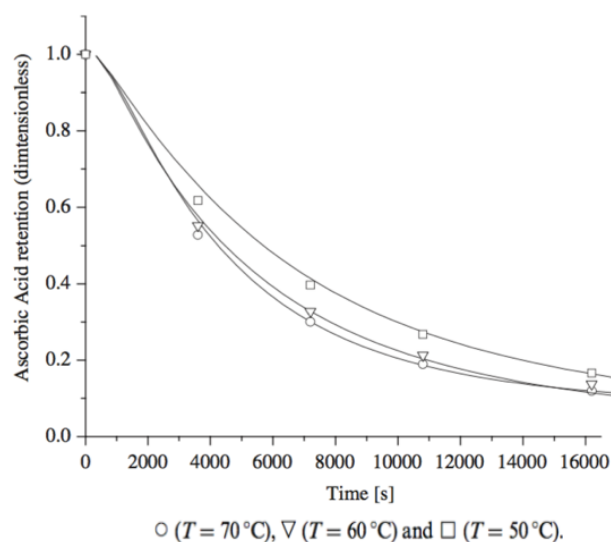


Figura 20 Efecte de la temperatura d'assecat en el contingut de vitamina C

Font: (Di Scala & Crapiste, 2008)

## 8. Discussió

Una vegada ja feta la recerca bibliogràfica de diferents factors que poden afectar al contingut de vitamina C o bé a la capacitat antioxidant, s'han unificat els resultats pel que fa a la capacitat antioxidant per tal de poder comparar-les també segons el mètode emprat per a la seva determinació. Per poder fer la comparativa s'han convertit certs valors dels diferents estudis a les unitats de mM Trolox/ 100 g pf, ja que hi havia resultats amb unitats diferents i sinó no era possible la seva comparativa. Els valors extrets de Lozano & Bernalte, (2002) s'han transformat utilitzant l'equivalència del seu pes molecular de 1 mol Trolox= 250,29 g de Trolox (Equació 1):

$$\frac{X \text{ mg Trolox}}{100 \text{ g pf}} \times \frac{1 \text{ g Trolox}}{1000 \text{ mg Trolox}} \times \frac{1 \text{ mol Trolox}}{250,29 \text{ g Trolox}} \times \frac{1000 \text{ mmol Trolox}}{1 \text{ mol Trolox}} = Y \text{ mM } \frac{\text{Trolox}}{100\text{g}} \text{ pf}$$

Equació 1

Altres valors han estat determinats segons el següent factor de conversió (Equació 2):

$$\frac{X \text{ } \mu\text{mol Trolox}}{\text{g pf}} \times \frac{1 \text{ mmol Trolox}}{1000 \text{ } \mu\text{mol Trolox}} \times 100 = Y \text{ mM } \frac{\text{Trolox}}{100\text{g}} \text{ pf}$$

Equació 2

A la **Taula 13** es presenten les grans diferències entre els mètode emprats.

Primerament, pel que fa a l'assaig ABTS es pot observar que el valor més petit el tenim en 0,088 mM Trolox/100g pf i el valor més gran està en 5,564 mM Trolox/100g pf. És una diferència superior a 50 vegades més un valor respecte l'altre.

Un dels motius podria ser a que l'absorbància hagués estat mesurada amb diferents longituds d'ona. Com s'ha comentat abans i tal i com van demostrar Arnao, (2000), la longitud d'ona pot provocar problemes d'interferències per presència de compostos de color o bé per aparició de productes de reacció secundària entre el cromogen i les mostres que s'estan analitzant. Van estudiar la capacitat antioxidant de diferent suc de fruita i vins amb el mètode ABTS (a 730 nm i a 414 nm) i amb DPPH. Es va comprovar que a 730 nm tots els resultats de capacitat antioxidant eren valors més elevats que els mesurats a 414 nm. Els resultats de l'assaig DPPH (515nm) també eren inferiors als de ABTS 730nm i per tant hi ha una major interferència quan menor es la longitud d'ona. A més, per altra part, els resultats de l'assaig DPPH van resultar ser més baixos ja que aquí no es tenen en compte el compostos antioxidants hidrosolubles.

Observant a la taula però, les longituds d'ona emprades en els assajos de ABTS, entre elles no varien gaire i per tant, tanta diferència no podria ser donada per aquesta raó.

Tornant al valor mínim de capacitat antioxidant mesurada pel mètode ABTS (0,088 mM Trolox/100g pf), pertany a l'estudi fet en varietats cultivades ecològicament. De fet, els 4

primers valors són resultat d'un cultiu ecològic i si es comparen tots 4 valors amb la resta de ABTS, es pot veure que són els més baixos. Això ens fa entendre que el cultiu ecològic faria disminuir la capacitat antioxidant del pebrot.

Un dels valors també baixos és 0,125-0,285 mM Trolox/100g pf que pertany al resultat de l'estudi fet segons el cultiu del pebrot en condicions de temperatura baixa ( $12,4^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ ). Tal i com s'ha dit abans, el pebrot neix de regions tropicals i per tant necessita una temperatura mínima de  $15^{\circ}\text{C}$ . Podria ser possible que el factor temperatura fos vital per tal d'aconseguir una bona capacitat antioxidant en el pebrot.

Pel que fa als valors més grans (1,5-3,44 mM Trolox/100 g pf i 1,733-5,564 mM/100 g ) provenen dels estudis fets d'una comparativa de varietats i de l'efecte de l'assecat, respectivament. Amb això, es pot veure que l'assecat del pebrot sembla ser un factor important en el augment de capacitat antioxidant. Pel que fa al primer estudi de Medina-Juárez et al., (2012), s'ha de recordar que era de varietats verdes i tot i així es pot veure que la seva capacitat antioxidant ha donat valors elevats.

Tot i així, s'hauria de veure també com s'ha aplicat l'ABTS, ja que com s'ha dit abans, podria ser que es donés una sobreestimació de la capacitat antioxidant depenent del mètode d'inclusió del radical ABTS\*<sup>+</sup>.

L'últim mètode d'ABTS amb resultat de 15-40 mM Trolox/ml suc es dona amb unitats que no es poden comparar amb els altres ja que estan segons el ml de suc utilitzat per fer la determinació de la capacitat antioxidant.

Pel que fa als assajos ORAC i DMPD amb resultats de 0,1-0,2 mM Trolox/100 g pf i 0,73-1,285 mM/100g pf, respectivament, es pot veure que tenen un rang similar als donats per el mètode ABTS. Això arriba a ser coherent ja que tots tres mètodes serveixen per determinar tant antioxidants lipòfils com hidròfils.

En els assaigs FRAP es troben diferències molt grans entre els dos estudis fets. Un d'ells dona resultats de 600-4000 mM Trolox/ 100g pf que si comparem el valor amb l'altre obtingut també per FRAP és molt gran. Les condicions del cultiu, la longitud d'ona utilitzada o bé les varietats de pebrot podrien ser causa de l'obtenció d'aquest rang. Tot i així es un valor tan gran que sembla ser que hi hagi alguna errada.

Parlant per últim del mètode DPPH, es veu que els percentatges d'inhibició dels radical són molt diferents. Recordar que aquest mètode només és vàlid per antioxidants lipòfils i no hidròfils. El valor més baix està en 2,79% mentre que el més elevat és 86,14%. Pel que fa al rang més elevat 48-86,14% es correspon a l'estudi fet en l'assecat del pebrot vermell. Per tant igual que amb el mètode de ABTS s'ha obtingut el valor més alt. Pel que fa al 2,79%, és en pebrots on s'aplicava bor al substrat.



Taula 13 Taula resum del diferents valors obtinguts de capacitat antioxidant segons diferents mètodes

MÈTODE EMPRAT	VARIETAT	CAPACITAT ANTIOXIDANT	LONGITUD D'ONA PER L'ABSORBANCIA	REFERÈNCIA
ABTS	Lamuyo	0,126 mM Trolox/100 g pf	730 nm	(Lozano & Bernalte, 2002)
ABTS	Italià	0,088 mM Trolox/100 g pf	730 nm	(Lozano & Bernalte, 2002)
ABTS	Morrón	0,10 mM Trolox/100 g pf	730 nm	(Lozano & Bernalte, 2002)
ABTS	Piquillo	0,097 mM Trolox/100 g pf	730 nm	(Lozano & Bernalte, 2002)
ABTS		1,5-3,44 mM Trolox/ 100 g pf	754 nm	(Medina-juárez et al., 2012)
ABTS	California	0,125-0,285 mM Trolox/100g pf		(Mateos et al., 2013)
ABTS		1,733-5,564 mM Trolox/100 g		(Arslan & Özcan, 2011)
ABTS	California	15-40 mM Trolox/ml suc	734 nm	(Navarro et al., 2006)
ORAC	Lamuyo	0,1-0,2 mM Trolox/100 g pf		(Serrano Martinez & Delicado, 2008)
DMPD		0, 73-1,285 mM/100g pf	505 nm	(Eradia Figueroa Cares et al., 2015)
FRAP		0,155-2,903 mM FRAP/100 g pf		(Sarafi, Siomos, Tsouvaltzis, Chatzissavvidis, et al., 2018)
FRAP		600-4000 mM FRAP/ 100g pf	593 nm	(Deepa et al., 2006)
DPPH		8,45-83,44%	515 nm	(Medina-juárez et al., 2012)
DPPH		48-86,14%		(Arslan & Özcan, 2011)
DPPH		2,79-23,34%		(Sarafi, Siomos, Tsouvaltzis, Chatzissavvidis, et al., 2018)
DPPH		20-72 %	515 nm	(Deepa et al., 2006)

Pf: pes fresc

A continuació a la **Taula 14**, es pot observar el resum dels valors obtinguts pel que fa al contingut en àcid ascòrbic. S'ha classificat segons varietat o pigmentació verda/vermella depenent de la informació aportada per cada estudi. Pel que fa a les diferents varietats trobades, la varietat California és la que presenta el valor més alt (302,4 mg/100 g) però també el més baix (5,5 mg/100g). Amb això es pot veure que no només la varietat afecta sinó que dins d'un mateix tipus de pebrot també hi ha molta diferència segons com es cultivi o les condicions a les que estigui sotmès el pebrot. El rang baix de 5,5 – 22,3 mg/100 g pertany al estudi fet en condicions de baixes temperatures. Això demostra que també afecta notablement en el contingut d'àcid ascòrbic fent veure que aquest paràmetre de la temperatura és extremadament important.

Dels altres valors, tret del 26-30 mg/100 g que és baix i pot ser degut a l'estrès salí que se li va aportar i 1-42 mM que no es pot comparar degut a les seves unitats, es pot veure que no hi ha cap diferència extrema i que per tant es podria fer un rang d'entre 80 i 110 mg/100 g de pf pel que fa al contingut d'àcid ascòrbic en pebrots.

Pel que fa ara a la comparativa segons la coloració o grau de maduresa del pebrot, els pebrots verds (tret del valor 0,08-0,11 g/100ml que no es pot comparar ja que ho han expressat sobre ml de la dissolució utilitzada) presenten uns valors que no són extremadament diferents. El valor més alt és de 165,26 mg/100g pf i el mínim és de 77,96 mg/100g de pf. El valor de 77,96 mg/100g pf pertany a l'estudi fet quan la planta està sotmesa a estrès salí i es podria dir que un estrès salí a la planta podria ser negatiu per la quantitat d'àcid ascòrbic tot i que en el mateix estudi es va demostrar que no hi havia diferències significatives si perllongàvem durant més temps aquest estrès. Per tant aquestes diferències podrien ser donades també per la varietat.

Per últim, el pebrot vermell (tret de 0,194 – 0,25 g/100ml) mostra en conjunt un rang d'entre 120,65-209,04 mg/100 g pf el qual és més elevat que en el cas del pebrot verd. Amb això es podria dir que el pebrot vermell sol tenir més quantitat d'àcid ascòrbic que el pebrot verd, tot i que depèn molt d'altres factors com s'ha pogut observar al llarg del document. L'últim anàlisi aportat per Eradia Figueroa Cares et al., (2015) forma part de l'estudi en el que hi ha pebrots de diferents varietats i diferents coloracions i dona uns resultats elevats d'àcid ascòrbic.



Taula 14 Taula resum del diferents valors obtinguts d'àcid ascòrbic segons diferents varietats o colors de pebrot

VARIETAT/COLOR	ÀCID ASCÒRBIC	REFERÈNCIA
LAMUYO	91,54 ± 5,48 mg/100 g pf	(Lozano & Bernalte, 2002)
LAMUYO	108,4 – 148 mg/100 g pf	(Palma et al., 2011)
LAMUYO	26-30 mg/100 g pf	(Serrano Martinez & Delicado, 2008)
CALIFORNIA	5,5 – 22,3 mg/100 g pf	(Mateos et al., 2013)
CALIFORNIA	1-42 mmol Trolox/ml suc	(Navarro et al., 2006)
CALIFORNIA	81- 149,8 mg/100 g pf	(Palma et al., 2011)
CALIFORNIA	302,4 mg/100 g pf	(Erada Figuerola Cares et al., 2015)
ITALIÀ	105,9 ± 17,8 mg/100 g pf	(Palma et al., 2011)
ITALIÀ	101,40 ± 14,84 mg/100 g pf	(Lozano & Bernalte, 2002)
MORRÓN	84,05 ± 3,12 mg/100 g pf	(Lozano & Bernalte, 2002)
PIQUILLO	92,06 ± 8,47 mg/100 g pf	(Lozano & Bernalte, 2002)
VERD	77,96–100,13 mg/100 g pf	(Serrano Martinez & Delicado, 2008)
VERD	165,26±4,247 mg/100 g pf	(Of et al., 2014)
VERD	0,08-0,11 g/100ml solució extractant	(Serrano Martinez & Delicado, 2008)
VERD	136 – 221 mg/100 g pf	(Palma et al., 2011)
VERD	121,14 – 251,60 mg/100 g pf	(Medina-juárez et al., 2012)
VERMELL	204 – 318 mg/100 g pf	(Palma et al., 2011)
VERMELL	0,194 – 0,25 g/100ml solució extractant	(Serrano Martinez & Delicado, 2008)
VERMELL	209,04 ±7,95 mg/100 g pf	(Of et al., 2014)
VERMELL	25-80 mg/100 g pf	(Deepa et al., 2006)
VERMELL	120,65–148,85 mg/100 g pf	(Serrano Martinez & Delicado, 2008)
	274,3 – 355 mg/100 g pf	(Erada Figuerola Cares et al., 2015)

Pf: pes fresc



## 9. Conclusions

A partir de les dades revisades en el present treball podem concloure que,

- Pel que fa a la capacitat antioxidant:
  - La varietat del pebrot afecta de forma rellevant.
  - L'estat de maduració del pebrot comporta també valors diferents, essent generalment més elevats els pebrots vermells (madurs).
  - La salinitat en el sòl, presenta influència també. Si s'aplica una concentració més elevada de sal en el sòl, s'obté un pebrot amb més capacitat antioxidant.
  - Enriquir el sòl amb Bor sembla tenir efectes positius, però tot i així, s'ha vist que varia molt en funció de la varietat ja que en alguns casos un sobre enriquiment produeix efectes negatius.
  - La temperatura de recol·lecció produeix també canvis. Una temperatura per sota dels 15°C s'ha trobat que fa disminuir la capacitat antioxidant del pebrot.
  - L'assecat del pebrot produeix efectes positius en quant a la capacitat antioxidant, ja que fa que augmenti.
  - El mètode analític empleat per tal de determinar la capacitat antioxidant del pebrot té també molta influència en el valor obtingut ja que com s'ha vist poden haver interferències varies amb diferents compostos de l'aliment.
  
- Pel que fa a l'àcid ascòrbic:
  - La varietat del pebrot no es veu que presenti gran influència tot i que entre estudis diferents sí que s'han trobat valors amb diferències remarcables.
  - L'estat de maduració és clau, quan més madur és el pebrot, valors més elevats de vitamina C s'obtenen.
  - El sistema de cultiu ecològic podria fer que el pebrot presentés més contingut de vitamina C (augment d'un 22,14% en pebrot verd i un 18,95% en vermell).
  - La salinitat en el sòl sembla que quanta menys sal presenti, majors valors de vitamina C s'obtenen.
  - El nivell de nitrat en el sòl, afecta també i un enriquiment més baix serà millor.
  - La temperatura de recol·lecció produeix també canvis. Una temperatura per sota dels 15°C s'ha estudiat que fa disminuir la quantitat de vitamina C.
  - La temperatura d'assecat influeix també en el contingut de vitamina C.

Com a conclusió de tot el projecte, cal destacar que l'estudi de la capacitat antioxidant del pebrot és molt més complex que el de la vitamina C ja que presenta molts factors que poden afectar en el contingut i donar valors de capacitat antioxidant més variables. A més, el pebrot presenta un gran nombre de varietats diferents cosa que complica més la seva comparació.



## Bibliografia

- Abu-Zahra, T. R. (2011). Influence of agricultural practices on fruit quality of bell pepper. In *Pakistan Journal of Biological Sciences* (Vol. 14, Issue 18, pp. 876–881). <https://doi.org/10.3923/pjbs.2011.876.881>
- Adjimani, J. P., & Asare, P. (2015). Antioxidant and free radical scavenging activity of iron chelators. *Toxicology Reports*, 2, 721–728. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2015.04.005>
- Apak, R., Özyürek, M., Güçlü, K., & Çapanoğlu, E. (2016a). Antioxidant activity/capacity measurement. 1. Classification, physicochemical principles, mechanisms, and electron transfer (ET)-based assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(5), 997–1027. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04739>
- Apak, R., Özyürek, M., Güçlü, K., & Çapanoğlu, E. (2016b). Antioxidant Activity/Capacity Measurement. 2. Hydrogen Atom Transfer (HAT)-Based, Mixed-Mode (Electron Transfer (ET)/HAT), and Lipid Peroxidation Assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(5), 1028–1045. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04743>
- Arnao, M. B. (2000). Some methodological problems in the determination of antioxidant activity using chromogen radicals: A practical case. *Trends in Food Science and Technology*, 11(11), 419–421. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(01\)00027-9](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(01)00027-9)
- Arslan, D., & Özcan, M. M. (2011). Dehydration of red bell-pepper (*Capsicum annuum* L.): Change in drying behavior, colour and antioxidant content. *Food and Bioprocess Processing*, 89(4), 504–513. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.09.009>
- Asada, K. (2006). Production and scavenging of reactive oxygen species in chloroplasts and their functions. *Plant Physiology*, 141(2), 391–396. <https://doi.org/10.1104/pp.106.082040>
- Camacho-cristóbal, J. J., Rexach, J., & González-Fontes, A. (2008). Boron in plants: Deficiency and toxicity. *Journal of Integrative Plant Biology*, 50(10), 1247–1255. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2008.00742.x>
- Cedrón, J. C. (2013). La Capsaicina. *Revista de Química PUCP*, 27, 816–824. <http://revistas.pucp.edu.pe/quimica>
- Chuah, A. M., Lee, Y. C., Yamaguchi, T., Takamura, H., Yin, L. J., & Matoba, T. (2008). Effect of cooking on the antioxidant properties of coloured peppers. *Food Chemistry*, 111(1), 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.022>
- Darré, M. (2019). *FACTORES DE PRE Y POSCOSECHA QUE AFECTAN EL CONTENIDO DE COMPUESTOS ANTIOXIDANTES EN HORTALIZAS* (Vol. 116, Issue Cp 1900).
- Deepa, N., Kaur, C., Singh, B., & Kapoor, H. C. (2006). Antioxidant activity in some red sweet pepper cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(6–7), 572–578. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2005.03.005>
- Di Scala, K., & Crapiste, G. (2008). Drying kinetics and quality changes during drying of red pepper. *LWT - Food Science and Technology*, 41(5), 789–795. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.06.007>

- Eradia Figueroa Cares, I., Teresa Martínez Damián, M., Pérez, J. E. R., Álvarez, O. C., Teresa Beryl Colinas León, M., Valle Guadarrama, S., & Ramírez, S. P. R. (2015). Capacidad antioxidante en variedades de pimiento morron (*Capsicum annum* L.). *Interciencia*, *40*(10), 696–703.
- FAOSTAT. (n.d.). Retrieved September 25, 2020, from <http://www.fao.org/faostat/es/#home>
- Ghasemnezhad, M., Sherafati, M., & Payvast, G. A. (2011). Variation in phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity of five coloured bell pepper (*Capsicum annum*) fruits at two different harvest times. *Journal of Functional Foods*, *3*(1), 44–49. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2011.02.002>
- González Torres, M. C., & Ortiz Muñiz, M. B. R. (2000). Daño Oxidativo y Antioxidantes. *Bioquímica*, *25*(1), 3–9.
- Halliwell, B. (2006). Reactive species and antioxidants. Redox biology is a fundamental theme of aerobic life. *Plant Physiology*, *141*(2), 312–322. <https://doi.org/10.1104/pp.106.077073>
- Huang, D., Ou, B., & Prior, R. L. (2005). The Chemistry behind Antioxidant Capacity Assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *53*(1841–1656), 16.
- Kiren, Y., Deguchi, J., Hirasawa, Y., Morita, H., & Prajogo, B. (2014). Justidrusamides A-D, new 2-aminobenzyl alcohol derivatives from *Justicia gendarussa*. *Journal of Natural Medicines*, *68*(4), 754–758. <https://doi.org/10.1007/s11418-014-0862-8>
- Lozano, M., & Bernalte, M. C. A. M. J. (2002). *Actividad antioxidante y vitamina C en variedades tradicionales de pimiento bajo condiciones de cultivo ecológico*. 555–559.
- Maestro Durán, R., & Borja Padilla, R. (1993). Actividad antioxidante de los compuestos fenólicos. *Grasas y Aceites*, *44*(2), 101–106. <https://doi.org/10.3989/gya.1993.v44.i2.1105>
- Martínez-Flórez, S., González-Gallego, J., Culebras, J. M., & Tuñón, M. J. (2002). Los flavonoides: Propiedades y acciones antioxidantes. *Nutricion Hospitalaria*, *17*(6), 271–278. <https://doi.org/10.3305/nutr>
- Martínez-Valverde, I., Periago, M. J., & Ros, G. (2000). Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, *50*(1), 5–18.
- Martínez, S. S. (2018). *Ácido Ascórbico En Hortalizas De Uso Frecuente En Navarra*. 3–48.
- Mateos Bernal, R. M. (2006). *Antioxidantes de pimiento (Capsicum annum L.): estudio bioquímico y molecular de la maduración del fruto y de la respuesta a estrés abiótico* [Granada: Universidad de Granada]. <http://hdl.handle.net/10481/980>
- Mateos, R. M., Jiménez, A., Román, P., Romojaro, F., Bacarizo, S., Leterrier, M., Gómez, M., Sevilla, F., Del Río, L. A., Corpas, F. J., & Palma, J. M. (2013). Antioxidant systems from pepper (*Capsicum annum* L.): Involvement in the response to temperature changes in ripe fruits. *International Journal of Molecular Sciences*, *14*(5), 9556–9580. <https://doi.org/10.3390/ijms14059556>
- Mauro-Martín, I. S., & Garicano-Vilar, E. (2015). Papel de la vitamina C y los  $\beta$ -glucanos sobre el



- sistema inmunitario: Revisión. *Revista Espanola de Nutricion Humana y Dietetica*, 19(4), 238–245. <https://doi.org/10.14306/renhyd.19.4.173>
- Medina-juárez, L. Á., Molina-quijada, D. M. A., Toro-sánchez, C. L. Del, González-aguilar, G. A., & Gámez-meza, N. (2012). *Antioxidant Activity of Pepper & Phenolic Contents*. 37, 588–593.
- Müller, L., Fröhlich, K., & Böhm, V. (2011). Comparative antioxidant activities of carotenoids measured by ferric reducing antioxidant power (FRAP), ABTS bleaching assay ( $\alpha$ TEAC), DPPH assay and peroxy radical scavenging assay. *Food Chemistry*, 129(1), 139–148. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.045>
- Navarro, J. M., Flores, P., Garrido, C., & Martinez, V. (2006). Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. *Food Chemistry*, 96(1), 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.057>
- Niki, E., & Noguchi, N. (2000). Evaluation of antioxidant capacity. What capacity is being measured by which method? *IUBMB Life*, 50(4–5), 323–329. <https://doi.org/10.1080/15216540051081119>
- Of, D., In, V. C., Capsicum, P., By, A., & Scanning, L. (2014). Capsicum Annuum Por Voltametria De Barrido Lineal Determination of Vitamin C in Peppers Capsicum. *Revista de Investigacion Talentos*, 2, 1–9.
- Palma, J. M., Jiménez, A., Corpas, F. J., Mateos, R. M., Martí, M. C., Sevilla, F., & del Río, L. A. (2011). Role of ascorbate on the fruit physiology of pepper (*Capsicum annuum* L.). *Functional Plant Science and Biotechnology*, 5(January), 56–61. <https://doi.org/10.1155/2018/3086167>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*, 26, 7.
- Rodríguez Ruiz, M. (2017). *Dinámica de los antioxidantes en la maduración y post-cosecha de frutos de pimiento (capsicum annuum L.)*. <http://mendeley.csuc.cat/fitxers/1516821d22175dcd6e694c6f906840b7>
- Sanchez, A., Flores-Cotera, L. B., Langley, E., Martín, R., Maldonado, G., & Sánchez, S. (1999). Carotenoides: Estructura, Función, Biosíntesis, Regulación y Aplicaciones. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 41, 25–34.
- Santa Cruz Biotechnology*, 2020. Retrieved October 16, 2020, from <https://www.scbt.com/es/p/trolox-53188-07-1>
- Sarafi, E., Siomos, A., Tsouvaltzi, P., Chatzissavvidis, C., & Therios, I. (2018). Boron and maturity effects on biochemical parameters and antioxidant activity of pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivars. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 42(4), 237–247. <https://doi.org/10.3906/tar-1708-31>
- Sarafi, E., Siomos, A., Tsouvaltzi, P., Therios, I., & Chatzissavvidis, C. (2018). The influence of boron on pepper plants nutritional status and nutrient efficiency. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 18(3), 653–667. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162018005001903>

- Sarafi, E., Tsouvaltzis, P., Chatzissavvidis, C., Siomos, A., & Therios, I. (2017). Melatonin and resveratrol reverse the toxic effect of high boron (B) and modulate biochemical parameters in pepper plants (*Capsicum annuum* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, *112*, 173–182. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.12.018>
- Serrano Martinez, A., & Delicado, E. N. (2008). Efectos de diferentes factores: Fertilización, salinidad y procesado, sobre parámetros objetivos de calidad en pimiento. *Departamento de Tecnología de La Alimentación y Nutrición*, 185.
- Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L., & Hawkins Byrne, D. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, *19*(6–7), 669–675. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.01.003>
- Tunde-Akintunde, T. Y., Afolabi, T. J., & Akintunde, B. O. (2005). Influence of drying methods on drying of bell-pepper (*Capsicum annuum*). *Journal of Food Engineering*, *68*(4), 439–442. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.06.021>
- Vallespir, A. N. (2006). El pimiento en el mundo. *Pimientos*, 13–20.
- Vega-Gálvez, A., Lemus-Mondaca, R., Bilbao-Sáinz, C., Fito, P., & Andrés, A. (2008). Effect of air drying temperature on the quality of rehydrated dried red bell pepper (var. Lamuyo). *Journal of Food Engineering*, *85*(1), 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.06.032>
- Wang, J., Yang, X. H., Mujumdar, A. S., Fang, X. M., Zhang, Q., Zheng, Z. A., Gao, Z. J., & Xiao, H. W. (2018). Effects of high-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) pretreatment on the change of antioxidant capacity, the degradation kinetics of red pigment, ascorbic acid in dehydrated red peppers during storage. *Food Chemistry*, *259*(November 2017), 65–72. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.123>
- Zhigila, D. A., Abdulrahman, A. A., Kolawole, O. S., & Oladele, F. A. (2014). Fruit morphology as taxonomic features in five varieties of *Capsicum annuum* L. *Journal of Botany*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/540868>

