

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

**ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERÍA
AGROALIMENTARIA I DEL MEDI NATURAL**



MODELITZACIÓ DE LES ETAPES DE SECAT I COCCIÓ D'ARRÒS PRECUIT

**TREBALL FÍ DE GRAU EN ENGINYERÍA
AGROALIMENTARIA I DEL MEDI RURAL**

Curs Acadèmic: 2017-2018

ALUMNE: Mario Vendrell Calatayud

**TUTORAS ACADÈMICAS: Marisa Castelló Gómez
María Dolores Ortolá Ortolá**

DIRECTOR EXPERIMENTAL: Ruth de los Reyes Cánovas

València, Juliol de 2018

MODELITZACIÓ DE LES ETAPES DE SECAT I COCCIÓ D'ARROZ PRECUINAT

RESUMEN

En este trabajo de final de grado se busca optimizar el protocolo de obtención de arroz de tipo redondo (Senia) precocido. Este proceso consiste en realizar una etapa previa de remojo, seguida de un secado, para estabilizar el producto y finalmente una cocción que se haría ya a nivel doméstico y en la que se reduciría el tiempo de preparación. En este estudio, se han considerado diferentes condiciones de realización de las etapas de remojo (25, 35, 50 y 60 °C a 2, 4, 6, 8, 10, 20, 30, 45 y 60 minutos) y de secado (40, 50 y 60 °C, sólo con aire (SAC) o combinado con microondas (SAC-MW)) modelizando las cinéticas de evolución del contenido de agua en los granos de arroz en cada caso. Para ello, se ha utilizado el modelo de Peleg para la etapa de remojo y los modelos de Fick, Midili y Page para la fase de secado. Además, se han registrado las propiedades ópticas y mecánicas de los granos después del secado.

Los resultados ponen de manifiesto que la fase de remojo tiene una cinética similar a 35, 50 y 60 °C, por lo que se seleccionó la temperatura de 35°C por ser la que menos energía consume. En la etapa de secado se registró un aumento significativo de la eliminación de agua por el uso del secado con microondas, sin registrarse muchas variaciones por efecto de la temperatura, por lo que las condiciones recomendadas para esta etapa son 40°C y SAC+MW.

Por último, en la etapa de cocción se alcanzó en un minuto la humedad recomendada en el arroz cocido de forma tradicional (0.46 g agua/g ms), por lo que se consigue una reducción del 94% en el tiempo de cocción.

Palabras clave: Arroz precocido, Remojo, microondas, secado, color, textura

RESUM

En aquest treball de final de grau es busca optimitzar el protocol d'obtenció d'arròs de tipus redó (Senia) precuit. Aquest procés consisteix a realitzar una etapa prèvia de remull, seguida d'un assecat, per a establitzar el producte i finalment una cocció que es faria ja a nivell domèstic i en la qual es reduiria el temps de preparació. En aquest estudi, s'han considerat diferents condicions de realització de les etapes de remull (25, 35, 50 i 60 °C a 2, 4, 6, 8, 10, 20, 30, 45 i 60 minuts) i d'assecat (40, 50 i 60 °C, només amb aire (SAC) o combinat amb microones (SAC-MW))

modelitzant les cinètiques d'evolució del contingut d'aigua en els grans d'arròs en cada cas. Per a això, s'ha utilitzat el model de Peleg per a l'etapa de remull i els models de Fick, Midili i Page per a la fase d'assecat. A més, s'han registrat les propietats òptiques i mecàniques dels grans després de l'assecat.

Els resultats posen de manifest que la fase de remull té una cinètica similar a 35, 50 i 60 °C, per la qual cosa es va seleccionar la temperatura de 35 °C per ser la que menys energia consumix. En l'etapa d'assecat es va registrar un augment significatiu de l'eliminació d'aigua per l'ús de l'assecat amb microones, sense registrar-se moltes variacions per efecte de la temperatura, per la qual cosa les condicions recomanades per a aquesta etapa són 40 °C i SAC+MW.

Finalment, en l'etapa de cocció es va aconseguir en un minut la humitat recomanada en l'arròs cuit de forma tradicional (0.46 g aigua/g ms), per la qual cosa s'aconsegueix una reducció del 94% en el temps de cocció.

Paraules clau: Arròs precuit, Remulle, microones, assecat, color, textura

ABSTRACT

In this final degree assignment, the aim is seeking to optimize the protocol for obtaining round-shaped rice (Senia) precooked. This process consists of carrying out a previous soaking step, followed by a drying, to stabilize the product and finally a cooking that would be done already at the domestic level and in which the preparation time would be reduced. Studying different conditions of completion of the soaking stages (25, 35, 50 and 60 °C at 2, 4, 6, 8, 10, 20, 30, 45 and 60 minutes) and drying (40, 50 and 60°C, only with air (SAC) or combined with microwaves (SAC-MW)), modelling the evolution kinetics of water content in rice grains in each case. For this, the Peleg model has been used for the soaking stage and the Fick, Midili and Page models for the drying phase. In addition, the optical and mechanical properties of the grains after drying have been recorded.

The results show that the soaking phase has a similar kinetic among 35, 50 and 60 °C, so the temperature of 35°C was chosen because it consumes less energy. In the drying stage there was a significant increase in the elimination of water using microwave drying, without registering many variations because of temperature, so the recommended conditions for this stage are 40°C and SAC + MW.

To conclude, in the cooking stage, the humidity recommended in traditionally cooked rice was reached in one minute (0.46 g water / g ms), resulting in a reduction of 94% in the cooking time.

Keywords: Precooked rice, soaking, microwave, drying, colour, texture

Mario Vendrell Calatayud,

València, Julio del 2018

Tutor/a: Marisa Castelló Gómez

Cotutor/a: María Dolores Ortolá Ortolá

Cotutor col·laborador: Ruth de los Reyes Cánovas

Instituto de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo

Agraïments

*A la meua família, a Eva per donar-me suport i a Susana, per la seua inestimable ajuda
al laboratori.*

Índex

1.- INTRODUCCIÓ	1
1.1.- Generalitats de l'arròs	1
1.1.1.- <i>Dimensió econòmica en Espanya</i>	2
1.1.2.- <i>Superfícies i produccions en Espanya</i>	2
1.1.3.- <i>Estructura i organització del sector productor en Espanya</i>	3
1.1.4.- <i>Comerç exterior.....</i>	5
1.1.5.- <i>DO València</i>	6
1.2.- Propietats nutricionals de l'arròs.....	6
1.3.- Arròs precuinat	8
1.3.1.- <i>Remull</i>	9
1.3.2.- <i>Assecament.....</i>	9
1.3.3.- <i>Microones</i>	10
1.3.4.- <i>Cocció.....</i>	11
2.- OBJECTIUS	11
3.- MATERIALS Y MÈTODES	11
3.1.- Fase de remull.....	12
3.2.- Fase d'assecament	12
3.4.- Analítiques.....	14
3.4.1.- <i>Contingut en humitat.....</i>	14
3.4.2.- <i>Propietats òptiques.....</i>	15
3.4.3.- <i>Propietats mecàniques</i>	15
4.- RESULTATS I DISCUSSIÓ	16
4.1.- Cinètica d'absorció d'aigua durant la fase de remull	16
4.2.- Fase d'assecament	18
4.2.1.- <i>Modelització per Fick</i>	20
4.2.2.- <i>Modelització per Page i Midili</i>	22
4.4.- Caracterització del producte sec	26
4.4.1.- <i>Propietats òptiques.....</i>	26
4.4.2.- <i>Propietats mecàniques</i>	28
4.3.- Fase de cocció	31
5.- CONCLUSIONS	32
6.- REFERÈNCIES	33

Índex de taules:

Taula 1: Valors dels paràmetres de Peleg en l'etapa de remull a diferents temperatures i bondat del ajust.....	17
Taula 2: Valors mitjans de la difusivitat efectiva (D_e)	21
Taula 3: Paràmetres dels models de Midili i Page, R^2 de l'ajust, error estàndard estimat i error absolut mitjà	25

Índex de figures:

Figura 1: Evolució de la superfície i producció d'arròs en Espanya (Font: MAPAMA, 2018).....	2
Figura 2: Distribució de la superfície i producció d'arròs en Espanya per CCAA (Font: MAPAMA, 2018).....	3
Figura 3: Mapa de l'arròs DO a Espanya (Adaptat de MAPAMA, 2018).....	4
Figura 4: Evolució del comerç exterior de l'arròs total a Espanya (Font: MAPAMA, 2018).....	5
Figura 5: Percentatge d'energia alimentaria subministrada per l'arròs en diferents països (FAO, Rice, 2014)	7
Figura 6: Forma de distribució de l'arròs dintre de les plaquetes	12
Figura 7: Vista de l'assegador d'aire (SAC) o aire amb microones (SAC+MW).....	13
Figura 8: Procés de cocció.....	14
Figura 9: Texturòmetre TA.XT.plus	16
Figura 10: Variació de la raó màssica de les mostres d'arròs durant el temps de remull en funció de la temperatura. Línies contínues representen l'ajust del model de Peleg ..	17
Figura 11: Corbes d'assecament en funció de la temperatura i aire sec o aire sec amb microones	19
Figura 12: Linealització del model difusional de Fick fins a X_c	21
Figura 13: Valors experimentals i ajust dels models de Page i Midili a 40°C en SAC+MW	23
Figura 14: Comparació de lluminositat dels grans assecaments en funció de la temperatura i del tipus d'assecament (a) i comparació de l'índex de blancs (b).....	27

Figura 15: Coordenades a*i b*en el rang del quadrant corresponent del diagrama cromàtic	28
Figura 16: Força de fractura (a), distància a la que es produïx la força màxima (b) i àrea baix la corba (c) respecte dels diferents tractaments tèrmics.....	30
Figura 17: Contingut d'aigua de l'arròs en l'etapa de cocció respecte del temps	31

1.- INTRODUCCIÓ

1.1.- Generalitats de l'arròs

L'arròs es tracta d'una planta herbàcia monocotiledònia de cicle vegetatiu anual, en la que destaquen les tiges (cilíndriques i buides amb nuscs i entrenusos), les fulles, de làmina plana i angosta, unides a la tija mitjançant baines, la seua inflorescència es en panícula. El gra, és una cariòpside i constitueix el principal aprofitament de la planta. Fonamentalment per a alimentació humana i animal (mapama.gob.es. 2018).

En l'antiguitat l'arròs creixia de manera salvatge mentre que avui en dia, les varietats cultivades pertanyen al tipus *Oryza*, dintre d'aquest gènere, existixen una vintena d'espècies entre elles:

-*Oryza sativa* es l'arròs comú asiàtic, es el tipus més comú que hi podem trobar als països productors d'arròs. La gran majoria de les varietats cultivades pertanyen a aquesta espècie, caracteritzada per la seua plasticitat i qualitat gustativa.

-*Oryza glaberrima*, es tracta d'una espècie anual originària de l'Àfrica occidental. Es tenen evidències del seu cultiu anterior al 5000 abans de Crist en l'orient de China i abans de l'any 6000 abans de crist en una caverna al nord de Tailàndia. (www.es.scribd 2018).

L'arròs és un dels aliments més antics de la humanitat, es pot considerar que forma part de la dieta bàsica des de l'any 3000 aC. i que es domesticà entre els anys 1000 i 1300 aC. Segons molts historiadors, aquest cultiu començà a sorgir a l'est d'Àsia i posteriorment va seguir el seu avanç per l'Índia.

Els primers arrossars espanyols es van assentar l'Al-Àndalus i possiblement per aquest motiu va ser comercialitzat fins a Itàlia al voltant del segle IX dC. En aquesta època resultava ser un article de luxe.

L'arròs és una de les principals fonts d'alimentació al món, aportant hidrats de carboni que són bàsics per a qualsevol dieta, és un aliment d'un alt valor nutritiu i al mateix temps barat, la seua producció se centra a Àsia. China és el productor més gran d'arròs per a consum i exportació, la seua producció és al voltant de 187.940.000 Tn a l'any. A escala mundial, la producció en l'any 2016 fou de 3,9 milions de tones.

L'arròs és símbol d'identitat cultural i unitat, actualment està present en molts àmbits de la nostra vida; desgraciadament, les collites d'aquest cultiu van en disminució, ja que li supera el creixement demogràfic.

1.1.1.- Dimensió econòmica en Espanya

En Espanya, el sector de l'arròs, amb una producció d'un valor a 2015 de 252,83 milions d'euros, representa el 0,58% de la PRA (Producció de la Rama Agrària) i el 0,97% de la PRV (Producció de la Rama Vegetal) (Cuentas Económicas de la Agricultura, marzo 2016). En Espanya el consum mitjà és de 7 kg per persona i per any. Es preveu que per al 2017/2018 la producció mundial arribi fins als 503,2 milions de tones.

1.1.2.- Superfícies i produccions en Espanya

A Espanya, es va determinar una superfície d'arròs cultivada en la campanya 2016/17 de 109.484 ha (55% japònica i un 45% índica) segons les dades proporcionades d'Avanços de superfícies i producció de Juliol del 2016 (Figura 1) (magrama, 2016). Tot açò suposa una nova reducció respecte a la darrera campanya i respecte de la mitja de els darrers cinc anys, reduint-se en 12.647 ha des de la campanya 2011/2012.

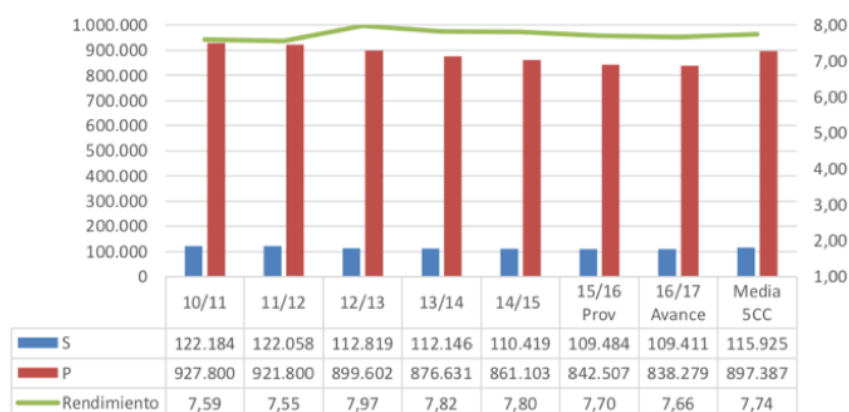


Figura 1: Evolució de la superfície i producció d'arròs en Espanya (Font: MAPAMA, 2018)

Es pot apreciar a la Figura 1 un augment del rendiment de la producció de la campanya 16/17 respecte de la campanya del 10/11, així i tot el màxim rendiment es pot situar en la temporada 12/13.

També es va estimar una producció para la campanya 2016/17 inferior a la de la campanya anterior (842.507 tn), com que la superfície sembrada era menor, tot junt una caiguda del rendiment fins i tot per davall de la mitja del rendiment dels últims cinc anys.

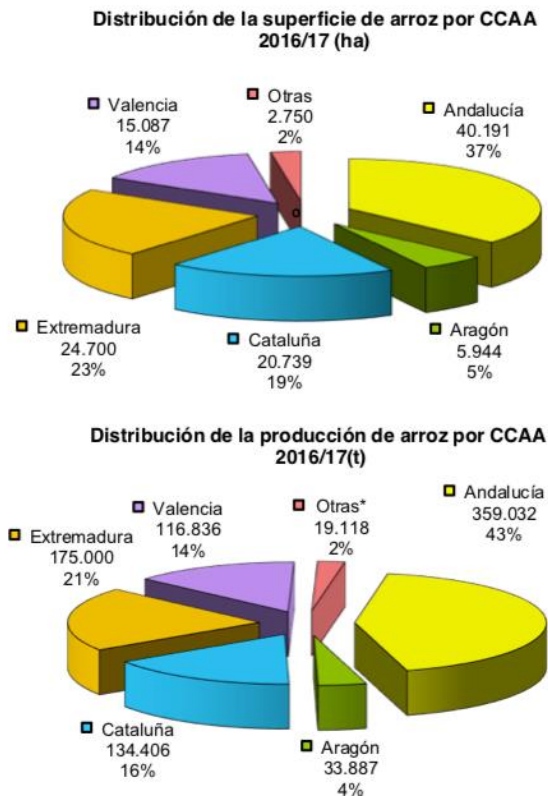


Figura 2: Distribució de la superfície i producció d'arròs en Espanya per CCAA (Font: MAPAMA, 2018)

Actualment, Andalusia és la comunitat autònoma amb la superfície més gran i producció d'arròs al nostre país, és seguida per Extremadura que ambdues juntes ja formen més del 50% de la superfície i producció del nostre país (Figura 2).

1.1.3.- Estructura i organització del sector productor en Espanya

En Espanya, l'arròs és un sector en el qual la distribució està molt localitzada en les zones d'una salinitat elevada a més d'unes importants restriccions mediambientals, tal com les deltes o les maresmes pròximes als parcs naturals, tots aquests sòls tenen una elevada quantitat d'argila, pel que s'entollen amb molta facilitat. En el nostre territori destaca el parc natural de l'Albufera, on es centra l'activitat arrossera a la província de valència.

Segons dades d'una enquesta a febrer del 2015 realitzada a les Comunitats Autònomes, al nostre país, al voltant d'unes 66.424 ha són cultivades per a la producció d'arròs en producció integrada, que suposa el 60% de la superfície del cultiu. Una major part d'aquesta producció està situada a les comunitats d'Andalusia i Extremadura, també es poden trobar petits nuclis de producció a la zona del Parc natural de la Albufera, al Delta de l'Ebre, a la marjal de Pego – Oliva i a Calasparra.



Figura 3: Mapa de l'arròs DO a Espanya (Adaptat de MAPAMA, 2018)

Encara que hagen grans nuclis de producció d'arròs com Andalusia o Extremadura, el segell de denominació d'orige al nostre país, el tenen València, Calasparra i el Delta del Ebre (Figura 3).

Aproximadament un 80% de la producció d'arròs, es comercialitza a través de les cooperatives, mentre que la resta són comercialitzadors privats.

Tenint present totes les dades procedents de sol·licituds de l'any 2013 (Últim cens registrat) respecte del cultiu de l'arròs, es pot deduir el següent: En l'any 2013 hi ha vora 9000 explotacions dedicades al cultiu de l'arròs, de les quals un 37% es concentra a València, el 23% a Catalunya, un 21% a Extremadura i l'11% restant en Andalusia. Almenys el 96,7% de les explotacions tenen menys de 50 ha i concentren el 62% de la superfície total d'arròs. En la zona d'Andalusia existixen vora 50 explotacions amb una superfície major de 500 ha.

El 81% de la superfície total d'arròs es concentra en les explotacions amb una grandària menor que 100 hectàrees. (mapama.gob.es. 2018).

1.1.4.- Comerç exterior

Al comerç de l'arròs predominen uns escassos excedents com a que existix una oferta i una demanda molt ajustades; pràcticament no hi ha compradors ni venedors, totes les exportacions provinents de l'Índia, Tailàndia, Paquistàn, Vietnam i EEUU, representen més del 80% del comerç mundial de l'arròs; existix una producció molt concentrada en pocs països, deu d'aquests fan un total de més del 73% de la producció a escala mundial.

A Espanya també s'exporta arròs, té unes produccions mitjanes dedicades a l'exportació de les cinc últimes campanyes de 240.077 Tn enfront d'un es importacions de 79.449 Tn.

Aquestes tres últimes campanyes han disminuït el saldo comercial, ja que han disminuït les exportacions i han crescut les importacions; el comerç es centra principalment en el tipus Índica. A més, es poden observar que les importacions del tipus japònica s'ha incrementat en un 43% mentre que s'ha vist en una reducció del 24% les seues exportacions. Un 76% de les importacions procedeixen de tercers països segons les dades de les cinc últimes campanyes, un 44% d'eixe arròs, es elaborat. Al voltant d'un 85% de les exportacions van destinades a països de la Unió Europea i un 52% d'aquest arròs és elaborat.

El nivell d'exportacions ha baixat de forma significativa en els últims anys, mentre que la importació encara que haja disminuït, no ha tingut un impacte tan elevat; açò pot estar relacionat a la disminució de la producció en aquests últims anys (Figura 4).

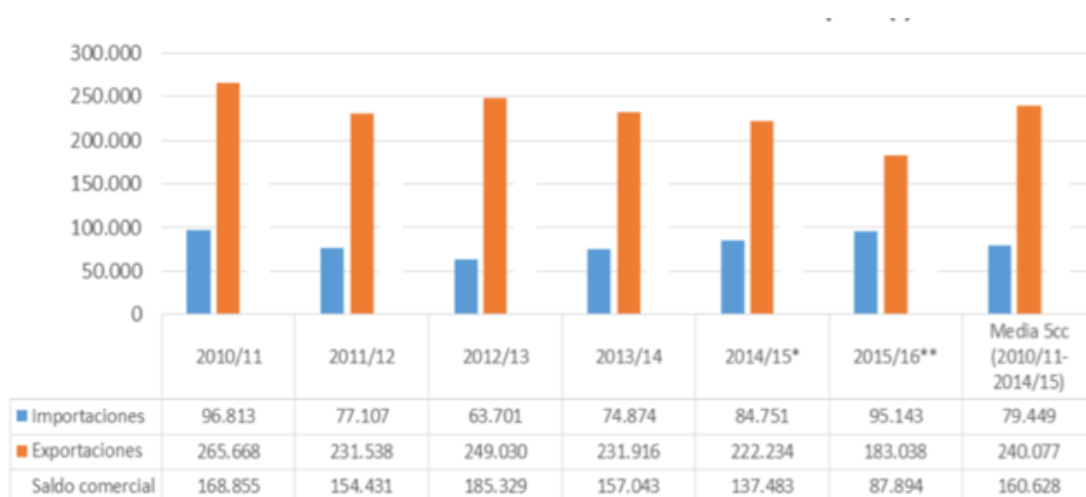


Figura 4: Evolució del comerç exterior de l'arròs total a Espanya (Font: MAPAMA, 2018)

1.1.5.- DO València

El cultiu se situa en aiguamolls naturals de les províncies d'Alacant, Castelló i València, a la Comunitat Valenciana. Principalment, municipis situats en l'àrea d'influència del Parc natural de l'Albufera de València i el Parc Natural de la Marjal de Pegó-Oliva i el Marjal d'Almenara. Tots ells espais d'altíssim valor ecològic, per als quals l'arròs complix un paper importantíssim en la sostenibilitat de l'ecosistema. (mapama.gob.es. 2018).

La zona arrossera del Parc Natural de l'Albufera a València, constitueix una font molt important de l'arròs que consumim a la Comunitat Valenciana, a més de que es un mitjà de suport de moltíssimes famílies valencianes; amb una producció d'al voltant de 133.548 Tn d'arròs en una superfície de 15.457 ha (Conselleria de Medi Ambient GVA, 2016).

La Denominació d'Origen de l'arròs de València, engloba a la varietat Senia, Bomba i Albufera, totes aquestes estan molt ben adaptades al terreny on el cultiu d'aquests supera els 1200 anys d'antiguitat (D.O. Arròs de València, 2012).

El tipus d'arròs cultivat a aquestes terres és nomenat Sénia, resulta ser una mescla de varietats com Gleva, J. Sendra, Fonsa, Montsianell, etc. Es un tipus molt característic d'arròs, ja que té un alt nivell d'amilopectina que afavorix el sabor però d'altra forma, impeditx que els grans estiguen solts entre sí, de tal forma que no suporta la sobrecocció i es passen del punt fàcilment; quant arriben al punt de cocció donat, tenen una textura cremosa i consistent, és per això que és un referent en la gastronomia espanyola.

1.2.- Propietats nutricionals de l'arròs

Respecte a la seua composició en nutrients, el midó és el component principal de l'arròs, es troba en un 70 - 80%. El midó és un hidrat de carboni present en els cereals, en les hortalisses radiculars com les carlotes i en els tubèrculs.

El contingut de proteïnes de l'arròs ronda el 7%, i conté apreciables quantitats de tiamina o vitamina B1, riboflavina o vitamina B2 i niacina o vitamina B3, així com fòsfor i potassi.

No obstant això, en la pràctica, amb el processament industrial, amb el seu refinament i polit, es perd fins al 50% del seu contingut en minerals i el 85% de les vitamines del grup B, quedant per tant convertit en un aliment sobretot energètic.

Hi ha un nou impuls de la investigació orientada cap al millorament del nivell de nutrició de les poblacions per mitjà del millorament de les varietats d'arròs . A continuació, es presenten dues de les diverses tècniques que s'estan utilitzant per a aconseguir aquesta meta:

- Les tècniques tradicionals de fitomillorament utilitzen varietats d'arròs seleccionades, amb contingut nutricional superior, i les sotmeten a processos de millorament amb les varietats més comunament cultivades a fi de millorar el contingut nutricional dels grans (Lianget *al.*, 2017)
- Els últims avanços en tecnologia científica han permès millorar el valor nutritiu de l'arròs per mitjà de la modificació del codi genètic. L'exemple més conegut d'aquesta tecnologia és el “arroz dorado” que conté carotenoides (precursors de la vitamina A) addicionats a partir dels gens del narcís (Beyer, P. 2010; Al-Babili, S., & Beyer, P. 2005).

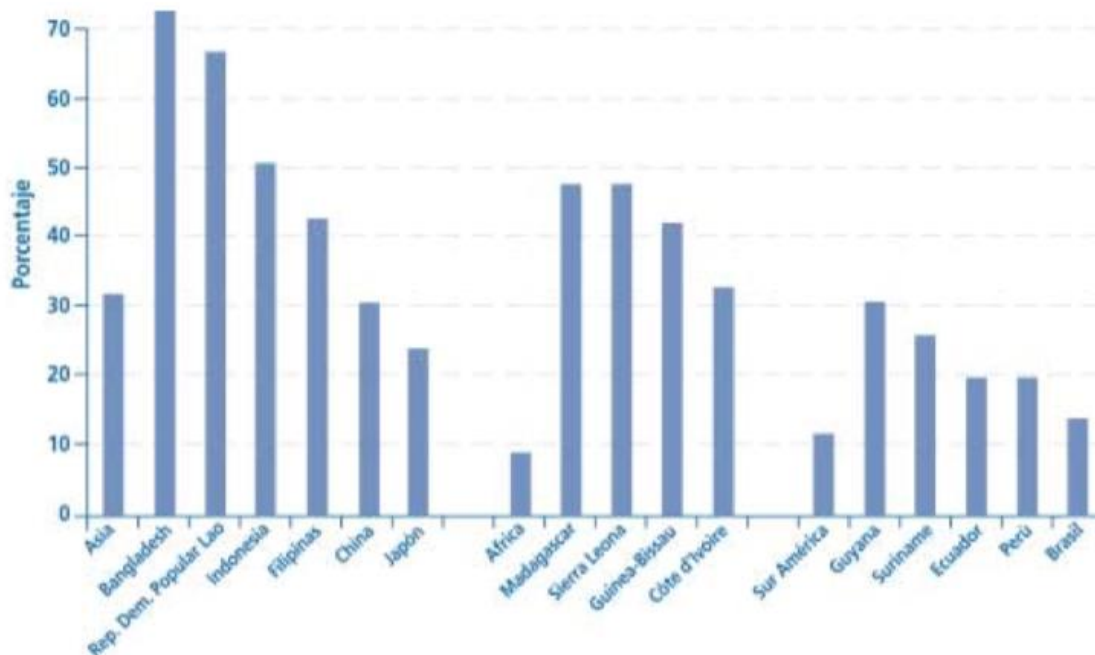


Figura 5: Percentatge d'energia alimentaria subministrada per l'arròs en diferents països (FAO, Rice. 2014)

Segons la Figura 5, als països del sud-est asiàtic, es consumix una gran quantitat d'arròs observant la quantitat d'energia subministrada mitjançant la dieta; Bangladesh es el principal país on la major part de l'energia obtinguda es per mitjà de l'arròs (72%), mentre que a Àfrica es queda a un 9% d'energia obtinguda per mitjà de l'arròs.

En moltes regions del món, l'arròs és el component més important del règim alimentari humà, de manera que és necessari que eixe tassó diari d'arròs sigui segur i de qualitat acceptable per al

consumidor. Han d'aplicar-se pràctiques agrícoles acceptables quan es cultiva l'arròs i es controlen les plagues.

Després de la collita, l'elaboració, l'emmagatzemament i la distribució eficients en la finca han de garantir que la qualitat no es deteriore. Per exemple, l'asseccament inadequat dels grans pot ocasionar el creixement de fongs.

En 1995, la Comissió Mixta FAO/OMS del Codex Alimentarius va acordar adoptar criteris d'innocuitat i qualitat per a l'arròs que es produïx per al consum humà (Norma Codex per a l'Arròs). Un altre treball del Codex (2017) fixa límits màxims per als residus de plaguicides i tracta els límits possibles per a certs metalls pesants com el cadmi i les micotoxines.

1.3.- Arròs precuinat

L'arròs instantani o precuinat es resultat del procés d'asseccament del gra complet prèviament hidratat llest per al consum immediat després d'un breu període de temps en aigua a ebullició (Lee & Wissgott 2001). Aquest procés inclou les fases de remull, assecament i cocció. Actualment el mercat de l'arròs precuinat residix sols en l'arròs llarg, pel que no hi ha pràcticament estudis amb l'arròs redó.

La tendència aquests dies es a cuinar de forma ràpida i fàcil, pel que el consum de l'arròs tradicional es pot veure afectat per aquest canvi de forma de viure de la població, pel que l'arròs precuinat s'ha fet un lloc al mercat per poder suplir aquestes necessitats, el desavantatge que té aquest tipus de producte és la seua conservació. Pel que s'han desenvolupat noves alternatives com arròs vaporitzat, bullit i envasat, congelat, o de cocció ràpida, etc.

Els hàbits de consum actuals exigixen productes de temps curts de cocció i alta durabilitat. Encara aixina, el mercat d'arròs precuinat, ha tardat més a desenvolupar-se que altres tipus de productes precuinats, ja que l'arròs al cuinar-se, adquirix unes propietats difícils de conservar (Infoalimentación, 2017).

No obstant això, la utilització de noves formés de conservació i la seua adaptació al mon de l'arròs, ha permés a la investigació en el desenvolupament de nous productes, tal com l'arròs vaporitzat, arròs bullit i envasat, arròs congelat o l'arròs de cocció ràpida. En la seua majoria, aquests productes es precuinen, es congelen o s'assequen i finalment cal completar el seu tractament culinari en temps curts de cocció (Sociedad Española de Nutrición Básica y Aplicada, 2004).

1.3.1.- Remull

En la fase de remull, a temperatures suficientment altes (65°C), el gra s'hidrata i el midó present en l'endosperma es gelatinitza (Bello *et al.*, 2007). La humitat es un dels factors més importants que afecta la qualitat de l'arròs durant l'emmagatzemament, perquè es puga conservar de forma correcta cal que el gra tinga al voltant d'un 11-14% (b.s.) d'humitat, açò s'aconsegueix amb un correcte procés d'assecamment.

S'ha comprovat que la retrogradació del midó pot veure augmentada si s'està emmagatzemat a una temperatura d'aproximadament 4°C (Lu *et al.*, 1997; Mohamed *et al.*, 2006). Les conseqüències d'aquesta retrogradació es l'augment de la duresa del gra, la qual no es desitjable (Kadan *et al.*, 2001; Yu *et al.*, 2016). Encara que durant la retrogradació, les cadenes polimèriques del midó són reassociades en un nivell més ordenat o una estructura més cristal·lina la qual no és susceptible a fractures de caràcter enzimàtic; el midó gelatinitzat és fàcilment atacat pels enzims a causa dels enllaços inter- i intra-moleculars d'hidrogen entre els grànuls de midó (Holm *et al.*, 1988; Chung *et al.*, 2006).

1.3.2- Assecament

L'assecamment és considerat el període més crític del procés d'elaboració de l'arròs, en aquest punt es determina la qualitat del producte final (Ramésh & Rao, 1996). L'operació d'assecamment és vital per a condicionar l'estructura porosa de forma que tinga la major capacitat de rehidratació sense que la seua estructura és vega compromesa a ruptures o que el seu color es vega altament modificat.

El procés d'assecamment per un flux d'aire calent, és un mètode molt comú en la deshidratació dels aliments encara que la qualitat del producte pot vindre determinada per la temperatura d'assecamment; aquesta pot causar una degradació de les propietats de l'aliment com el color, contracció, propietats nutricionals, capacitat de rehidratació i microestructura (Aguilera, 2005; Attanasio *et al.*, 2004; Bello *et al.*, 2006; Silva & Ávila, 1999; Leelayuthsoontorn & Thipayarat, 2006). Tots aquests canvis són els que repercutiran en l'acceptació del consumidor.

El que aquest consumidor busca des d'un punt de vista pràctic és que aquest producte tinga una bona relació de rehidratació al mateix temps que una estructura sòlida i un color acceptablement blanc. La capacitat de rehidratació depén en major mesura de l'estructura del gra (Aguilera, 2005).

Diferents condicions d'asseccament i diferents tècniques poden crear diferents estructures (Attanasio *et al.*, 2004; Chou, 2000). El canvi de l'estructura del gra d'arròs ve determinada per la seua contracció deguda a la pèrdua d'aigua o per l'expansió del gas generat (Krokida & Marinos-Kouris, 2003; Wang & Brennan, 1995).

Utilitzant el flux d'aire calent per a la dessecació del gra juntament amb un tractament de microones, la humitat es eliminada de la superfície ràpidament. En conseqüència el temps d'asseccament és menor encara que les microones poden afectar a algunes propietats estructurals del gra.

El procés d'asseccament no sols redueix el nivell d'humitat sinó que afecta les propietats tèrmiques, capacitat de ruptura, color i activitat antioxidant; tot açò depén per del mètode i condicions del calfament elegit.

1.3.3.- Microones

Les microones és una energia no ionitzant; en penetrar en qualsevol material, la calor és produïda per la fricció entre les molècules en un camp electromagnètic alternant,. La calor generada per la fricció molecular produïx l'evaporació de l'aigua superficial al mateix temps que la migració de l'aigua interna cap a les capes més externes del gra d'arròs.

L'estudi sobre l'asseccament mitjançant microones de l'arròs prèviament hidratat ha sigut comparat junt el procés d'asseccament tradicional, que consistia en un flux d'aire calent. El valor màxim de la taxa d'asseccament d'un flux d'aire calent, és fins a 50 vegades menor que la taxa d'asseccament observada en microones (Kaasová *et al.*, 2001).

Les característiques de gelatinització i atapeïment es van utilitzar per avaluar la influència del tractament de microones sobre les característiques químiques i fisicoquímiques de l'arròs, paràmetres com el contingut de midó malmés i total i la capacitat de sorció d'aigua a 70°C. (Kaasová *et al.*, 2001).

El tractament de microones es diferencia de forma significativa del tractament en aire calent. Al llarg de tot el tractament de microones, aquesta energia és transmesa per mitjà d'ones dirigides dins de la cambra que conté l'arròs a assecar. Les microones penetren el gra, on les molècules d'aigua altament polars absorbixen aquesta energia ionitzant; les molècules carregades amb una alta energia, ràpidament fluïxen a través del gra fins a la superfície d'aquest evaporant-se.

1.3.4- Cocció

Recentment, la qualitat comestible del gra d'arròs ha tret una notable atenció (Yau & Huang, 1996; Suwansri & Meullenet, 2004; Tomlins *et al.*, 2005). La qualitat del gra a l'hora de tastar-lo, no sols depèn d'una qualitat independent de cada persona, sinó d'unes propietats fisicoquímiques que determinen la seua duresa, textura i sabor; les condicions de l'emmagatzemament o assecament, afecten també a aquestes propietats a més dels factors i mètodes de cocció i processament (Crowhurst & Creed, 2001).

L'òptima absorció d'aigua en el cuinat s'ha tingut en compte com a un paràmetre d'alta importància en les propietats finals de gra, afectant la qualitat final de l'arròs (Juliano & Perez 1983).

2.- OBJECTIUS

L'objectiu del present treball és l'estudi de les operacions per obtenir un arròs redó blanc (var. Senia) de ràpida cocció.

Per poder dur-ho a terme, s'avaluarà la cinètica d'absorció d'aigua durant la fase de remull a diferents temperatures i se seleccionarà la temperatura òptima per a la posterior fase d'assecament.

En la fase d'assecament dels grans, s'avaluarà la cinètica de la pèrdua d'aigua en funció de diferents variables del procés: Temperatura de l'aire i l'assecament sols amb aire o combinat junt microones.

Les característiques del producte obtingut en diferents condicions, s'avaluarà en les propietats fisicoquímiques (propietats mecàniques i òptiques).

Per finalitzar, s'estudiarà el temps necessari de cocció dels grans en funció de les condicions químiques avaluades anteriorment.

3.- MATERIALS Y MÈTODES

En aquest estudi, s'ha utilitzat arròs redó de la varietat Bahía- Senia, proporcionat per l'empresa Arrocerías Antonio Tomás S.L. (Sollana, València).

3.1.- Fase de remull

Per poder determinar les propietats d'absorció d'aigua del gra es va fer una relació d'una part d'arròs per tres parts d'aigua, de forma que en el cas de l'experiment dut a terme, es pesa 15 g d'arròs i 45 g d'aigua.

Es van establir les següents temperatures en la fase de remull: 25, 35, 50 i 60°C, utilitzant per a aquesta etapa un bany termostatat (Selecta Precisdig, Espanya) on es temperà l'aigua abans d'introduir els grans d'arròs. Les mostres es van pesar abans i després de: 2, 4, 6, 8, 10, 20, 30, 45 i 60 minuts de remull per establir la cinètica d'absorció d'aigua.

Per poder-ho dur a terme, les mostres van ser eixugades durant 30 segons per poder eliminar l'excés d'aigua i posteriorment es determinà el seu contingut en humitat pel mètode gravimètric (Fig. 6) (934.06 AOAC, 2000).

Cal destacar que tots els experiments es fan per triplicat. Els resultats d'humitat es van expressar en grams d'aigua per matèria seca per poder comparar la variació d'aigua en la cinètica d'absorció d'aquest component.



Figura 6: Forma de distribució de l'arròs dintre de les plaquetes

3.2.- Fase d'asseccament

L'objectiu d'aquesta segona part de l'experimental, se centra en l'asseccament dels grans hidratats prèviament; amb les dades exposades en l'apartat de resultats, s'ha deduït que la temperatura i el remull òptims són de 20 minuts a 35°C, pel que el procés d'asseccament es va a dur a terme en grans hidratats amb eixes condicions.

L'etapa d'asseccament es du a terme en un assecador, muntat en la planta piloto del IUAD (Figura 9) configurat per poder treballar sols amb aire o amb aire juntament amb microones. Com es pot

veure en la Figura 9, s'utilitzà una plataforma de plàstic amb una malla per poder col·locar les mostres d'arròs que al mateix temps està connectada per mitjà d'un filament a la bàscula per poder registrar la variació de pes al llarg del procés, el pes d'aquesta plataforma és de 5,447 g, cal tenir en compte aquesta dada per posteriors càlculs.

En aquesta plataforma es col·loquen 5 g de l'arròs hidratat de forma que els grans estiguen en una sola capa, per garantir així que tots es puguin assecar correctament.

Amb l'arròs a la malla i amb l'ajuda d'un petit ganxo la col·loquem en el fil que penja de la bàscula a l'interior de l'assecador de forma que el muntatge es queda segons la Figura 7:

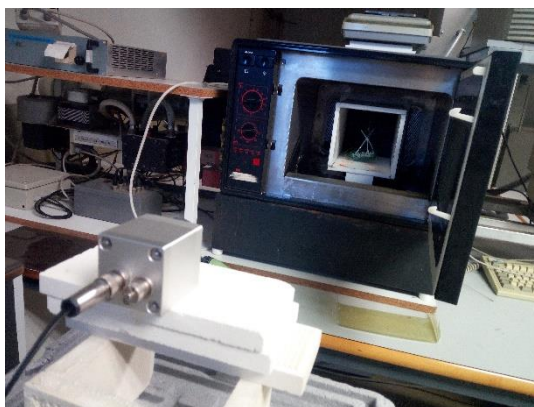


Figura 7: Vista de l'assecador d'aire (SAC) o aire amb microones (SAC+MW)

S'utilitza tres temperatures (40, 50 i 60°C) diferents per veure quina és la més òptima per a un assecament ràpid i al mateix temps que el gra resultant no presenta danys de tipus tèrmic com un torrat superficial o una fractura del propi.

Dins d'aquests temperatures s'utilitzen dues tipus de tractament: Assecament per aire calent (SAC) i assecament per aire calent juntament microones (SAC + MW). En els dos casos, es va fixar la velocitat de l'aire en aproximadament 4 m/s per evitar que l'assecador treballi en regim continu (S'acumula humitat en l'ambient disminuint així la velocitat d'assecament). La potencia de microones es va fixar en 140 W.

El corrent d'aire calent permet eliminar l'aigua superficial amb molta facilitat, mentre que les microones permeten eliminar l'aigua més interna. Cal tenir en compte que no es recomanable les altes temperatures, ja que s'asseca la part externa d'una manera més ràpida que l'aigua interna migra cap a la superfície, pel que es podria produir un encrostant del gra.

3.3.- Etapa de cocció

Després de l'etapa d'asseccament, es va procedir a avaluar l'etapa de cocció. Per poder-la dur a terme, es van utilitzar gots de precipitats submergits en un bany d'aigua a 96°C (Figura 8). En cada un dels gots es col·locaren 2 g d'arròs seguint una proporció d'arròs: aigua de 1:3. L'arròs s'introduí en el got quan l'aigua va assolir la temperatura de 96°C. A diferents temps (1, 2, 3, 4 i 5 min) es va traure la mostra d'un got cada minut, enfredant amb aigua per poder paraitzar el procés de cocció.

En cada una de les mostres s'avaluà el contingut d'aigua final. Paral·lelament i seguint la mateixa metodologia s'avaluà una mostra d'arròs comercial (de la mateixa varietat) per poder utilitzar-lo com a control.

La idea d'aquesta etapa és que el gra pugui absorbir la mateixa quantitat d'aigua en un temps menor que el mètode de cocció de l'arròs clàssic, el qual tarda al voltant de 17 minuts a una temperatura de 96°C.



Figura 8: Procés de cocció

La humitat del gra comercial es de 0,11 g aigua/g ms, per saber si el temps de cocció es l'adequat, la humitat de la mostra tractada deu ser equivalent a la humitat obtinguda en el procés de cocció tradicional.

3.4.- Analítiques

3.4.1.- Contingut en humitat

El contingut d'humitat dels grans, s'analitza pel mètode gravimètric (934.06 AOAC, 2000). Per a dur-se a terme s'utilitza una estufa (Selecta España) a una temperatura de 60°C durant 48 h i

posteriorment en una estufa de buit Selecta España fins que la mostra arribe a pes constant. La humitat es determinà per diferència de pes.

3.4.2.- Propietats òptiques

Durant el procés d'asseccament, el color dels grans poden vore alterats, ja que aquests es sotmeten a unes temperatures que torren lleument el gra.

Per poder determinar les coordenades cromàtiques dels grans amb els diferents tractaments, s'utilitzà un espectrofotòmetre (Konica Minolta CM-3600D).

Els resultats van ser expressats segons el sistema de referència CIE $L^*a^*b^*$ amb l'il·luminant D65 i un angle de visió de 10° . Es va determinar la lluminositat L^* , la coordenada a^* ((+) direcció del roig i (-) direcció del verd) , la coordenada b^* ((+) direcció del groc i (-) direcció del blau) .

Per a realitzar aquest experiment amb tan poca quantitat de mostra, s'utilitza la placa d'apertura de 4 mm de diàmetre junt una cubeta de plàstic d'espectrofotometria de 4 mL recoberta de cartolina negra als dos costats per evitar que entre llum i puga alterar el color de la mostra. Les mesures es realitzen per quadruplicat.

Es va determinar l'índex de blancor dels grans d'arròs amb la següent equació (eq. 1) (Jaiboon *et al.*, 2009)

$$WI = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^2 + b^2]^{0.5} \quad (1)$$

3.4.3.- Propietats mecàniques

Després de l'asseccament en diferents condicions, es van analitzar les propietats mecàniques dels grans. Es va dur a terme un assaig de compressió TPA (Texture Profile Analysis) (Figura 9) a una velocitat de 10 mm/s, 5 g de pressió i una deformació del 90%, utilitzant un texturòmetre (TA.XT.plus, Microsystems aqwestable, Godalming, UK). Es va fer us d'una sonda de 4mm de diàmetre. Es realitzaren 15 repeticions per tipus de tractament d'asseccament.

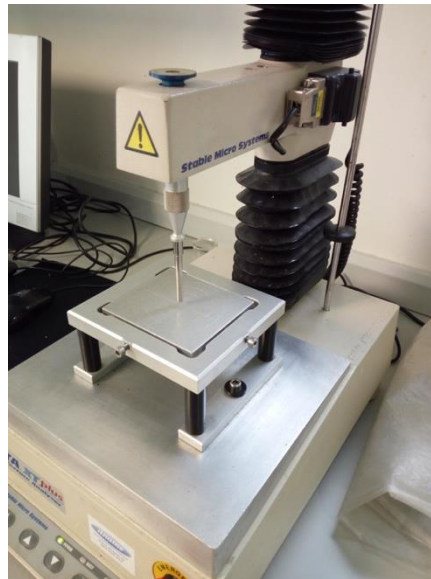


Figura 9: Texturòmetre TA.XT.plus

4.- RESULTATS I DISCUSSIÓ

En aquest apartat ens centrarem en els resultats obtinguts durant la fase experimental, els seus valors i la seua conseqüent interpretació.

4.1.- Cinètica d'absorció d'aigua durant la fase de remull

L'augment d'humitat durant la fase de remull dels grans a diferent temperatura es mostren en la Figura 10. Com pot observar-se, en general, totes les mostres van assolir una humitat d'equilibri d'aproximadament 0,5 g aigua/ g ms.

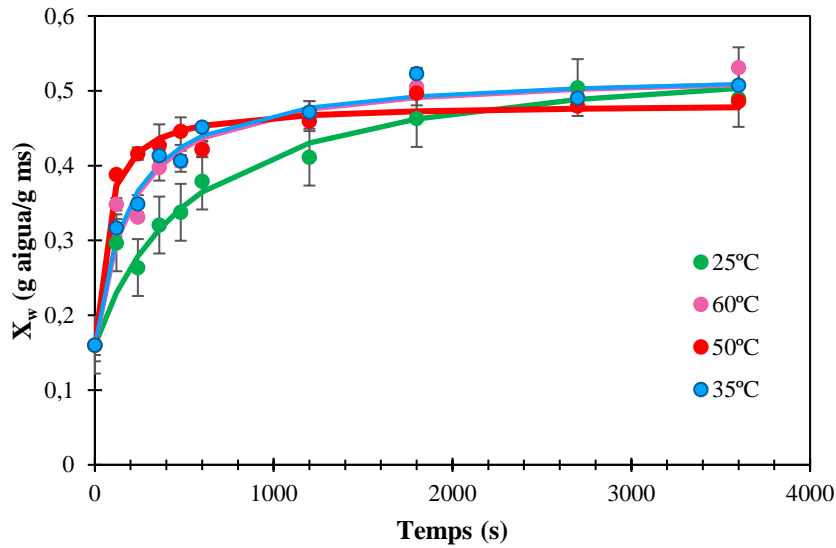


Figura 10: Variació de la raó màssica d'aigua de les mostres d'arròs durant el temps de remull en funció de la temperatura. Línies contínues representen l'ajust del model de Peleg

L'augment del contingut d'aigua de l'arròs durant la fase de remull es va modelitzar d'acord amb el model de Peleg (Peleg, 1988) (eq. 2). Aquesta modelització també s'inclou en la Figura 10.

$$X_W^t = X_W^0 + \frac{t}{K_1 + K_2 t} \quad (2)$$

Sent X_w^0 el contingut d'humitat inicial (b.s.), X_w^t el contingut d'humitat a temps t (b.s.), y k_1 y k_2 les constants cinètiques del model.

En la Taula 1 es mostren els paràmetres del model i el valor de l'ajust obtinguts.

Taula 1: Valors dels paràmetres de Peleg en l'etapa de remull a diferents temperatures i bondat de l'ajust

T (°C)	K ₁ (s g ms/gw)	K ₂ (g ms/gw)	R ²
25	1418 ± 110	2,52 ± 0,09	94,6
35	506 ± 38	2,72 ± 0,06	93,8
50	191 ± 27	3,09 ± 0,06	74,2
60	531 ± 62	2,72 ± 0,09	84,8

La constant K_1 de Peleg està relacionada amb el coeficient de transferència de matèria, de forma que quant menor siga el valor d'aquesta constant, major és la velocitat de transferència de massa. La constant K_2 del model de Peleg està relacionada amb la capacitat d'absorció d'aigua, de manera que com més petit siga el valor, major absorció d'aigua tindrà el producte (Corrêa *et al.*, 2017).

En aquest sentit, els resultats obtinguts posen de manifest que a 25°C tant la velocitat com la capacitat d'absorció d'aigua és molt menor que en les altres temperatures estudiades. No obstant això, entre 35°C i 60°C no s'observen diferències. En coherència, les corbes presentades en la Figura 10 per aquestes dues temperatures estan molt solapades. Cal destacar que les dades obtingudes a 50°C no s'ajusten tant bé al model ($R^2 = 74,2$) com en els altres casos, manifestant una pendent més acusada al principi del remull, però sense diferències en el temps i el valor final de la humitat d'equilibri.

A més, excepte per a 25°C, la humitat d'equilibri (0,45 g aigua/g ms) s'assoleix aproximadament al cap de 20 minuts de remull. A 25°C es necessiten aproximadament 30 min per arribar a la humitat d'equilibri.

Aquest model també ha sigut utilitzat per modelitzar processos d'hidratació de grans de cereals (Vasudeva *et al.*, 2009), pèsols i cigrons (Shafaei *et al.*, 2014).

D'acord a aquests resultats, per estudiar la fase d'asseccament, es va seleccionar per a totes les mostres una temperatura de remull de 35°C durant 20 minuts.

4.2.- Fase d'asseccament

En la Figura 11 es presenten les corbes d'asseccament dels grans d'arròs en funció de la temperatura de procés i del sistema d'asseccament considerant (SAC o SAC+MW).

Durant aquesta fase, la humitat dels grans disminueix, pel que l'eixida de l'aigua dels grans cap a l'exterior pot comprometre l'estructura del gra, a més que la temperatura podria tractar d'una forma més agressiva el producte com més elevada siga.

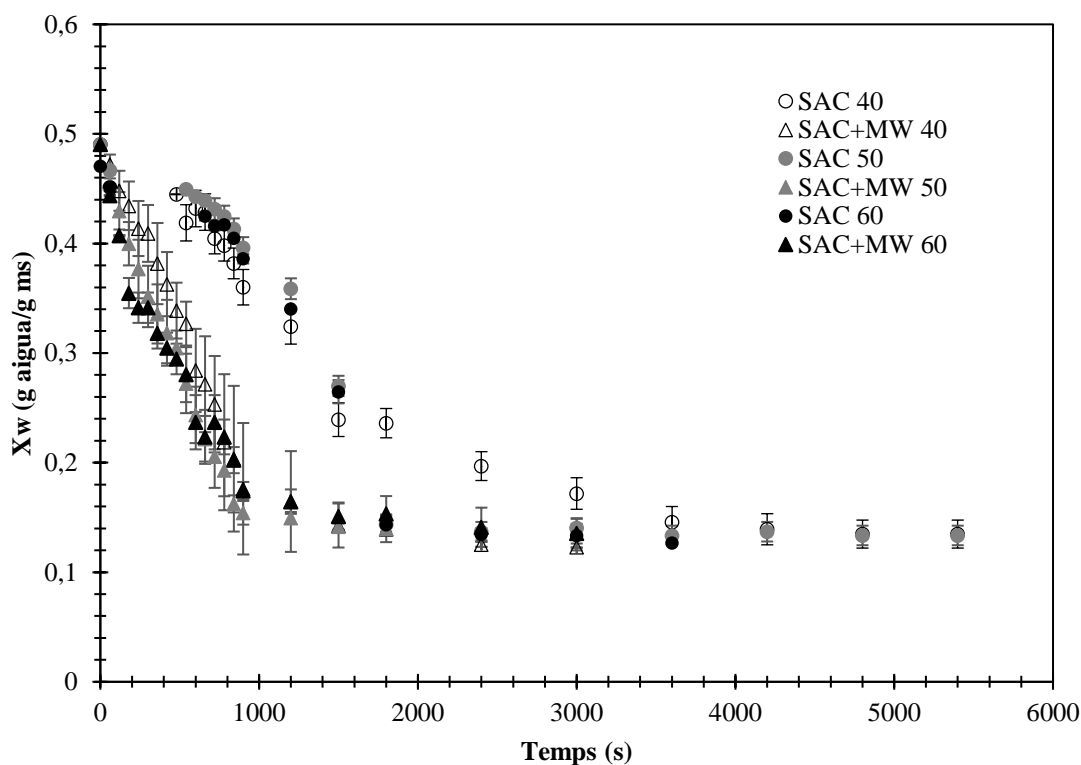


Figura 11: Corbes d'assecat en funció de la temperatura i aire sec o aire sec amb microones

En general, s'observa unes corbes típiques d'assecat, amb un període de velocitat d'assecat constant fins assolir una humitat crítica (X_c) a un temps crític (t_c).

Com es pot observar, hi ha diferències en el procés per efecte del tipus de calfament utilitzat, aire o aire amb microones, sense diferències per la temperatura empleada en cada cas. Quan s'utilitza sols aire calent, s'observa inicialment una fase d'inducció, que no es registra quan es combina l'aire amb microones. Aquest comportament ha sigut observat en altres estudis de deshidratació amb microones en làmines de poma (Cuccurullo *et al.*, 2018), làmines de carabasseta (Cuccurullo *et al.*, 2017) i làmines de creïlla (Wang *et al.*, 2004), o inclús en altres materials no alimentaris, com el lignit (Chao *et al.*, 2018). A més, s'observen diferències en els valors de X_c ($0,158 \pm 0,014$ en SAC+MW i $0,258 \pm 0,016$ en SAC), i t_c (900 s en SAC+MW i 1800 s en SAC).

Els valors de la velocitat d'assecat en funció del contingut en humitat de la mostra al llarg del procés es pot atribuir a diferents mecanismes de transport de l'aigua en la matèria. A valor majors que la X_c , el mecanisme que predomina és la difusió del vapor d'aigua en l'interior del gra, sortint fins a la superfície a través de la seua estructura porosa. Una vegada el contingut en humitat és inferior a la X_c , l'aigua residual està molt lligada a l'estructura del gra (Ndukwu, 2009).

Respecte a la humitat d'equilibri, és semblant en tots els casos (0,15 g agua/g ms), les mostres assecades amb SAC+MW perden l'aigua més ràpidament, aconseguint-la en un temps més curt (15 minuts front 1 hora en SAC).

4.2.1.- Modelització per Fick

Per a modelitzar la pèrdua d'aigua dels grans en diferents condicions d'asseccament, i com a primera aproximació, es va considerar que el procés pot seguir un model difusiu segons la segona Llei de Fick, simplificada segons l'equació diferencial proposta por Crank (1975) per a la geometria d'una esfera. Així es va calcular la difusivitat efectiva (D_e) considerant el primer terme de l'equació a temps de procés llargs. Donada la forma dels grans d'arròs, es va plantejar la modelització per a una geometria esfèrica, considerant un valor de diàmetre equivalent dels grans de 4,1 mm (Santamaría, 2017) (eq. 3):

$$Y = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \left(\frac{6}{\pi^2}\right) \exp\left(-D_e \pi^2 \left(\frac{t}{r^2}\right)\right) \quad (3)$$

En aquesta equació X_t és la raó màssica d'aigua en la mostra a temps t , X_e la raó màssica d'aigua en la mostra a l'equilibri, X_0 és la raó màssica d'aigua inicial de la mostra i r el radi equivalent. La constant D_e és la difusivitat efectiva (m^2/s).

Aquest model assumeix que la humitat inicial dels grans es distribueix uniformement, que les mostres són simètriques, que l'eixida de l'aigua és uniforme en tota la seua superfície i que la difusivitat roman constant en l'interval d'humitats avaluades. Per aquest motiu, es va ajustar aquest model fins als valors de X_e comentats abans (Figura 12).

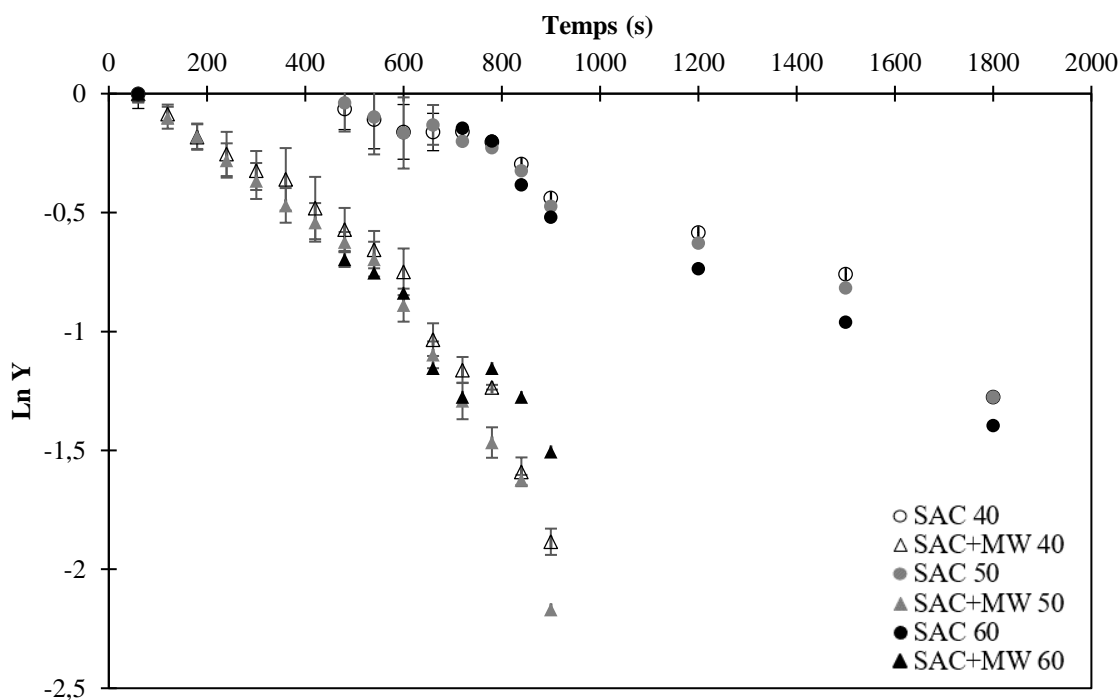


Figura 12: Linealització del model difusional de Fick fins a X_c .

En la Taula 2, es mostren els valors obtinguts de la difusivitat efectiva fins a X_c .

Taula 2: Valors mitjans de la difusivitat efectiva (D_e)

Tipus assecament	Temperatura (°C)	$D_e \times 10^9$ (m ² / s)	R^2 ⁽¹⁾
SAC	40	1,2 ± 0,3 ^a	0,9377
	50	2,3 ± 0,4 ^b	0,9344
	60	2,0 ± 0,5 ^b	0,8548
SAC+MW	40	3,5 ± 0,7 ^c	0,8808
	50	3,0 ± 0,3 ^c	0,8696
	60	2,5 ± 0,4 ^{bc}	0,9483

(1) Correspon al valor del coeficient de determinació (R^2) més baix.
Les mateixes lletres corresponen a un mateix grup homogeni ($\alpha < 0,05$)

En general, els valors obtinguts del coeficient de difusivitat són del mateix ordre que els obtinguts per altres autors en assecament de lignit (Chao *et al.*, 2018) o codonyer (Dehghannya, *et al.*, 2018). En aquests dos casos, el model de Fick també s'ajusta fins a un nivell d'humitat, a partir de la qual es perd la linealitat de l'ajust.

Un anàlisi multifactorial de la variància indica que existix un efecte significatiu de la interacció entre la temperatura i el tipus d'assecament realitzat. Quan soles s'aplica aire calent, la difusivitat augmenta amb un augment de la temperatura de 40 a 50°C sense diferències significatives amb

60°C. Quan es combina l'aire amb microones, no s'observa una influència de la temperatura sobre el valor de la difusivitat efectiva.

Altres estudis en cautxú natural (Tham *et al.*, 2018), han obtingut valors de la difusivitat efectiva major a mesura que augmenta la temperatura independentment del tractament utilitzat (SAC o SAC+MW). Estudis realitzats per Contretas *et al.* (2008) amb làmines de poma i freses, també corroboren aquest efecte en l'asseccament per aire calent. En els estudis realitzats per da Rocha *et al.* (2012), en el cas de l'asseccament de timó per aire sec, el valor de la difusivitat efectiva, també augmenta a l'augmentar la temperatura d'asseccament.

Com es pot observar en la Taula 2, la difusivitat efectiva quant es combina l'aire amb microones augmenta. En el SAC, el mecanisme que governa la transferència de massa està relacionat amb les propietats intrínseques del producte i la resistència a la difusió d'aigua, mentre que en SAC+MW, el calfament i evaporació d'aigua té lloc en l'interior del producte, creant-se un gradient de pressió parcial que actua com una força impulsora addicional a la transferència de massa i augmentant, per tant, el valor de la difusivitat (Contreras *et al.*, 2008). El mecanisme d'asseccament per microones inclou la polarització iònica i la rotació bipolar. De fet, les molècules d'aigua canvien la seua direcció, afectades per un camp elèctric, interactuen amb les molècules que les rodegen i, com a resultat, l'energia cinètica de l'aigua es convertix en energia tèrmica (Aghilinategh *et al.*, 2015).

Canvis en la difusivitat efectiva en funció del contingut en humitat foren obtinguts per Luangmalawat *et al.*, (2008) en arròs llarg ($X_c=0.01$) o en codonyer (Dehghannya, *et al.*, 2018).

4.2.2.- Modelització per Page i Midili

Per a continuar amb el procés de modelització, els models de Page (eq. 4) i Midili (eq. 5), freqüentment utilitzats en processos d'asseccament com en els estudis de l'asseccament del timó (Da Rocha *et al.* 2012), l'asseccament de la camamil·la (Amer *et al.* 2018), en estudis de deshidratació de llavors de *Jatropha* (Cambuy *et al.*, 2012) i en assecament d'all porro (Doymaz, 2007).

Model de Page:

$$Y = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \exp(-kt^n) \quad (4)$$

Model de Midili modificat:

$$Y = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \exp(-kt^n) + bt \quad (5)$$

En les equacions de Midili i Page, el valor X_t correspon al valor de la raó màssica a temps t , X_e és la raó màssica en el equilibri, mentre que X_0 és la raó màssica inicial. Ens els valors del model, el valor k fa referència a la constant d'asseccament, n està relacionada amb la resistència interna a la difusió, mentre que b és un coeficient que varia al voltant de 0.

En la Figura 13 es mostra un exemple de la modelització dels valors de la força impulsora experimental (Y) front al temps i els valors predits pels dos models.

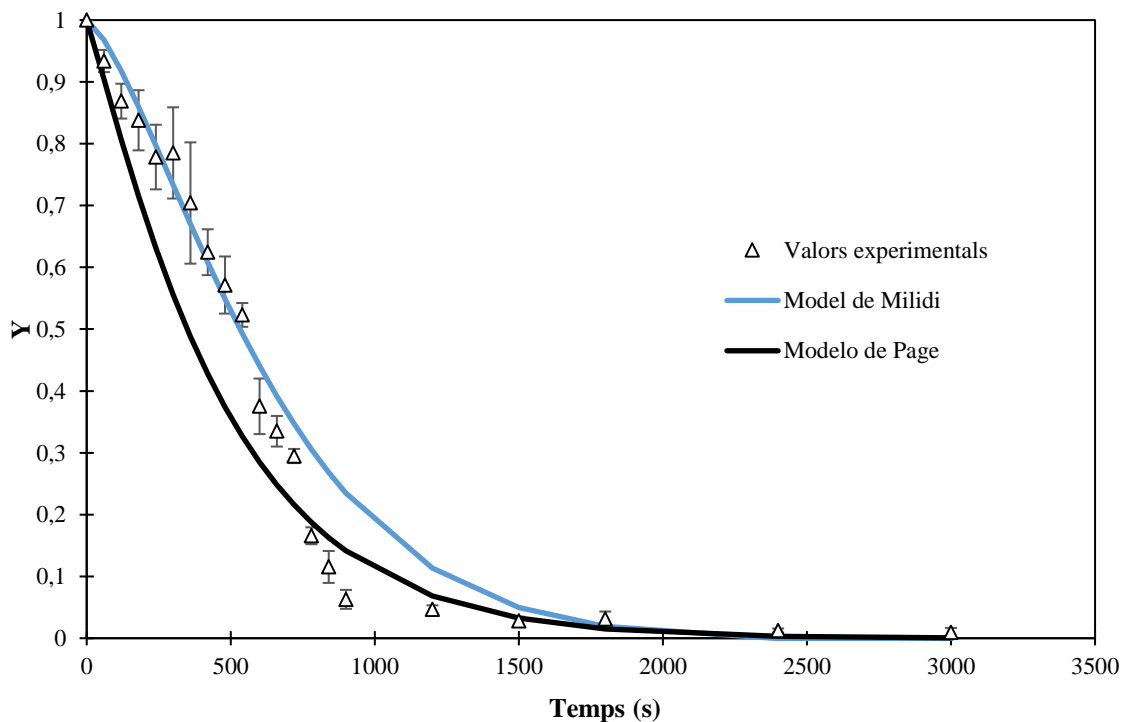


Figura 13: Valors experimentals i ajust dels models de Page i Midili de grans assecats a 40°C en SAC+MW

En la Taula 3 es mostren els valors dels paràmetres dels models obtinguts per a totes les mostres. Com es pot observar, la constant k , relacionada amb la difusivitat efectiva en el període d'asseccament a velocitat decreixent (Siqueira *et al.*,2012), varia significativament pel tipus

d'assecat, mentre que no s'observen diferències significatives per efecte de la temperatura. Sols a 60°C i amb un assecat combinat SAC+MW, la velocitat d'assecamment és major.

El paràmetre n , està relacionat amb la resistència interna dels grans a la difusió de l'aigua durant l'assecamment. Seria esperable que a una major temperatura de l'aire, augmentara la diferència de pressió entre l'interior del gra respecte de l'exterior, afavorint la migració d'aigua cap a l'exterior i augmentant així la velocitat d'assecamment. Com es pot observar en la Taula 3, en les condicions d'assecat realitzades, no es varen observar aquestes diferències. Aquest efecte tampoc ha sigut observat per altres autors (Santamaría, 2017) en l'assecat d'arròs blanc temperatura amb aire.

No s'observa una relació entre la temperatura d'assecamment i el paràmetre b en cap dels experiments realitzats.

Taula 3: Paràmetres dels models de Midili i Page, R^2 del ajust, error estàndard estimat i error absolut mitjà

		Temperatura	k x10 ⁵	n	b x10 ⁷	R ²	Error estàndard estimat	Error absolut mitjà
SAC	Midili	40	2,66 ± 1,37 ^A	1,43 ± 0,09 ^A	58,8 ± 49,5 ^A	98,0298	0,046030433	0,029333867
		50	3,87 ± 0,06 ^A	1,26 ± 0,17 ^A	-109 ± 165 ^A	88,8271	0,123655667	0,092158233
		60	3,54 ± 0,14 ^A	1,35 ± 0,00 ^A	-475 ± 24 ^A	90,6638	0,127663667	0,089888
	Page	40	33,8 ± 5,9 ^a	1,074 ± 0,007 ^a	-	87,9516	0,100684067	0,074849633
		50	21,7 ± 13,9 ^a	1,184 ± 0,106 ^a	-	86,6558	0,121599667	0,089063533
		60	26,6 ± 18,2 ^a	1,157 ± 0,16 ^a	-	84,8804	0,129507333	0,093230233
SAC+MW	Midili	40	10 ± 3 ^A	1,40 ± 0,03 ^A	-34 ± 33 ^A	96,5092	0,0479041	0,0337351
		50	76 ± 14 ^A	1,40 ± 0,43 ^A	169 ± 17 ^A	97,9194	0,041787867	0,030795433
		60	221 ± 33 ^B	0,92 ± 0,1 ^A	162 ± 194 ^A	97,5	0,041696	0,029551067
	Page	40	113 ± 88 ^a	1,094 ± 0,156 ^a	-	94,1417	0,062668567	0,0448661
		50	69,4 ± 36,2 ^a	1,123 ± 0,048 ^a	-	95,9472	0,048925067	0,035952533
		60	383 ± 163 ^b	0,926 ± 0,572 ^a	-	97,1794	0,043133833	0,031000167

Les mateixes lletres corresponen a un mateix grup homogeni ($\alpha < 0,05$)

Tant en els resultats exposats per Contreras (2008) en les làmines de poma, per Monteagudo (2011) en el cas de kiwi en pols o en timó (Da Rocha *et al.*, 2012) , els valors de k i n del model de Page són inferiors als nostres valors.

Els valors de l'error estàndard estimat i l'error absolut mitjà (MAE) obtinguts en els dos models semblen molt similars, conseqüentment per a les mostres assecades d'arròs, podrien modelitzar-se amb els dos models predictius. El model de Midili, ha sigut utilitzat per nombrosos autors per assecar productes d'origen vegetal, com làmines de porros (Doymaz, 2008), fulles de menta (Hosseinzadeh *et al.*, 2011), panís (Corrêa *et al.*, 2011), xampinyons (Guo *et al.*, 2014), grans de cafè (Corrêa *et al.*, 2010) i grans d'arròs llarg (Corrêa, 2017).

4.4.- Caracterització del producte sec

4.4.1.- Propietats òptiques

El color és una característica d'elevada importància, ja que influencia de forma notable sobre el procés d'elecció de compra d'un consumidor, pel que cal que el producte a elaborar tinga unes característiques colorimètriques idònies per a l'acceptació del consumidor. Durant el procés d'assecamment, la temperatura pot influir en el color del gra, pel que es va analitzar l'efecte de la temperatura d'assecamment i el tipus d'assecamment sobre les característiques òptiques del producte final.

Els resultats obtinguts de la lluminositat i de l'índex de blancor es presenten en la Figura 14.

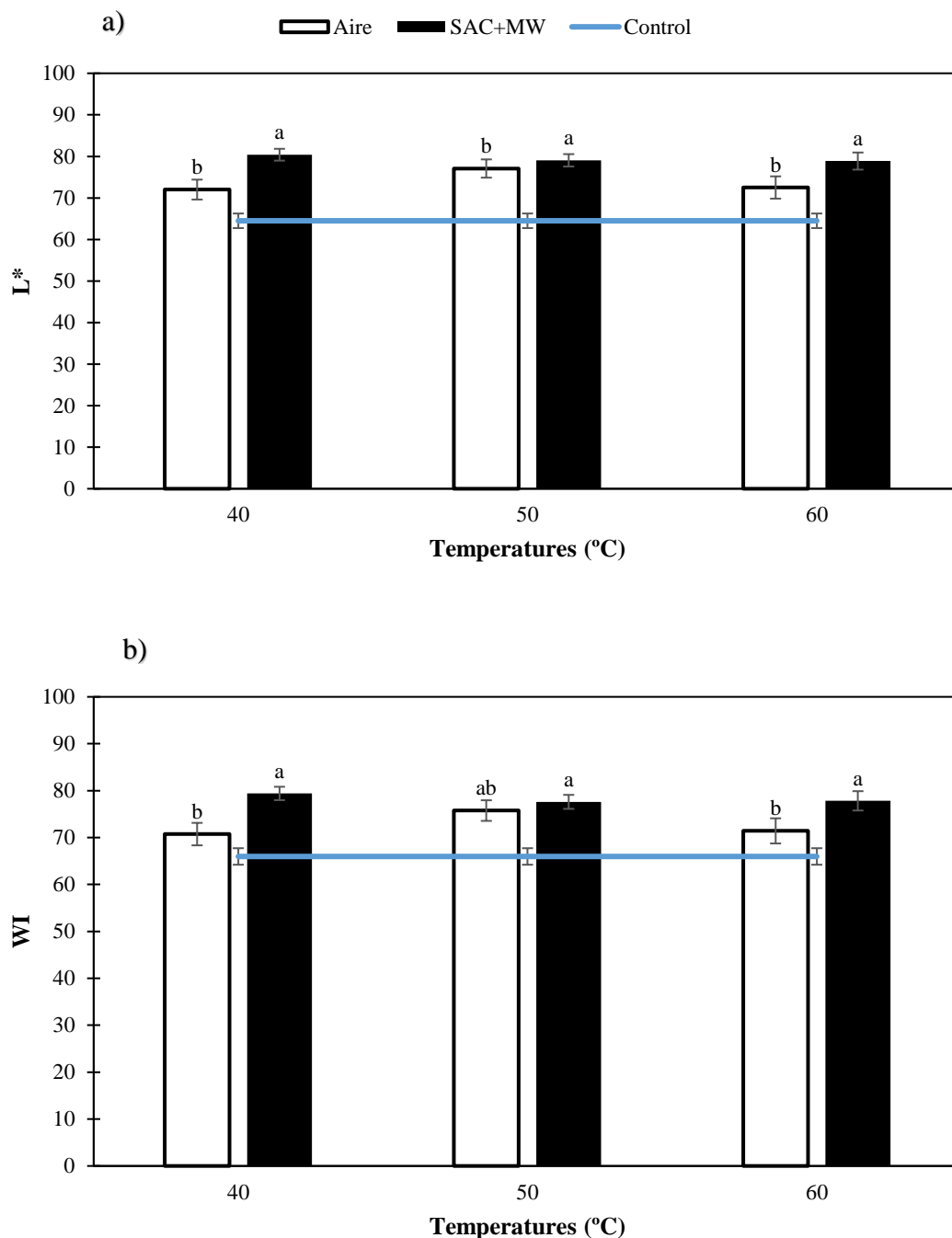


Figura 14: Comparació de lluminositat dels grans assecaments en funció de la temperatura i del tipus d'asseccament (a) i comparació de l'índex de blancor (b).

Com es pot observar (Figura 14), el tractament de microones augmenta significativament la lluminositat dels grans, especialment a 40°C. Per un mateix tractament, la temperatura no afecta significativament al paràmetre L*. Luangmalawata et al., (2008) avaluaren els canvis de color per efecte de la temperatura de l'aire d'asseccament (50, 60, 80 100 i 120°C) en arròs Jasmine fins a dos nivells d'humitat final (7 i 10 g aigua/100 g m.s.), observant que tant el valor del paràmetre L* com el de la coordenada b* i les diferències de color no variaven significativament quan la

temperatura era menor de 100°C. Per altra banda, les mostres assecades presentaren un índex de blancor major al de l'arròs control, possiblement pel fet de que en l'etapa de remull la migració del midó de dins cap a fora del gra fa que es concentra aquesta substància en la superfície del mateix fent-lo més blanc. Aquest comportament és més significatiu quan es combina l'aire d'assecat amb les microones (excepte a 50°C) pel major moviment vibratori i difusiu de les molècules d'aigua que podria fer s'arrosseguen molècules de midó al mateix temps.

En la Figura 15 es representa la ubicació en el diagrama cromàtic de les coordenades a^* i b^* de les mostres analitzades. L'anàlisi de la varianza no va mostrar diferències significatives per efecte de la temperatura de l'aire utilitzada ni pel diferent sistema d'assecament. A més, no s'observen diferències significatives amb les mostres control. Resultants semblants varen obtenir altres autors en diferents tipus d'arròs i diferents sistemes d'assecament per aire calent o solar (Luangmalawata et al., 2008; Inprasit & Noomhorm, 2001; Ondier et al., 2010).

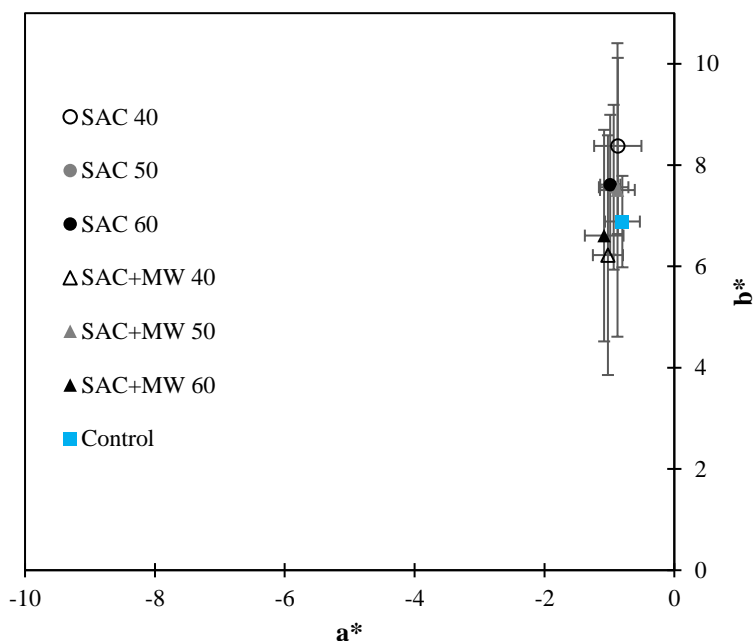


Figura 15: Coordenades a^* i b^* en el rang del quadrant corresponent del diagrama cromàtic

4.4.2.- Propietats mecàniques

La textura és una propietat d'una elevada importància, ja que determinarà la fragilitat del gra. Cal tenir present que el producte s'emmagatzemarà, pel que necessitarà una certa resistència perquè pugui aguantar el temps, incloent-hi els transports sense partir-se ni desfer-se. De fet, d'acord amb la normativa espanyola (BOE-A-1980-25297) s'ha de complir que la quantitat de grans partits no sigui major que el 7,13% en qualitat extra o 13% en qualitat primera en l'arròs redó sec tradicional. No obstant això, en aquest estudi els grans assecats provenen d'una etapa prèvia de remull, per fer

un arròs precuit. En aquest sentit, no s'ha trobat una normativa que especifique la quantitat de partits tolerables en aquest tipus d'arròs, malgrat que existix una classificació de l'arròs a nivell europeu que sí que contempla l'arròs precuit (European Commission, 2018). En qualsevol cas, la resistència a la ruptura és menor quan els grans són més menuts, pel que és convenient registrar els valors de força necessària per a trencar el gra, així com la seua consistència i la rapidesa en la qual es trenca. Tots aquests paràmetres es mostren en la Figura 16 representats per la força màxima de ruptura, la distància a la qual es produïx aquesta ruptura i l'àrea baix la corba de la resistència a la compressió (consistència) en les diferents condicions d'asseccament.

Com era d'esperar les etapes de remull i d'asseccament van disminuir la resistència a la compressió dels grans com a conseqüència del deteriorament de l'estructura interna comentada anteriorment. A més, es va registrar una reducció significativa de la força de fractura amb la temperatura. Això estaria relacionat amb la velocitat d'eixida de l'aigua. A altes temperatures, la major força impulsora a la transferència de matèria produïx tensions estructurals dins del gra, donant lloc a fissures i ruptures a l'interior que afecten la qualitat de l'arròs (Inprasit i Noomhorm, 2001; Ondier et al., 2010). Aquest efecte comença a ser significatiu a 50°C quan es combina aire amb microones, mentre que sols en aire ho fa a 60°C. Tal com hem comentat en l'estudi de la cinètica, la velocitat d'asseccament és major en el primer cas, el que estarà afectant en major mesura a l'estructura. Per altra banda, no es varen observar diferències significatives en la distància a la qual es produïx la força màxima respecte al control ni pels tractaments aplicats. Respecte a la consistència, el SAC+MW va reduir aquest paràmetre significativament respecte al dels grans sotmesos al SAC, sense observar-se diferències respecte al gra no tractat.

D'acord als resultats obtinguts en aquesta etapa del procés de producció d'arròs precuit, es podrien recomanar unes condicions d'asseccament combinant l'aire calent amb les microones (SAC+MW) perquè cinèticament s'accelera molt el procés però utilitzant la temperatura més baixa possible (40°C) per millorar l'eficiència energètica i perquè la textura del gra es vega menys afectada, mantenint els mateixos valors de a^* i b^* , encara que la L^* i el WI es major que en l'arròs no tractat per a tots els casos.

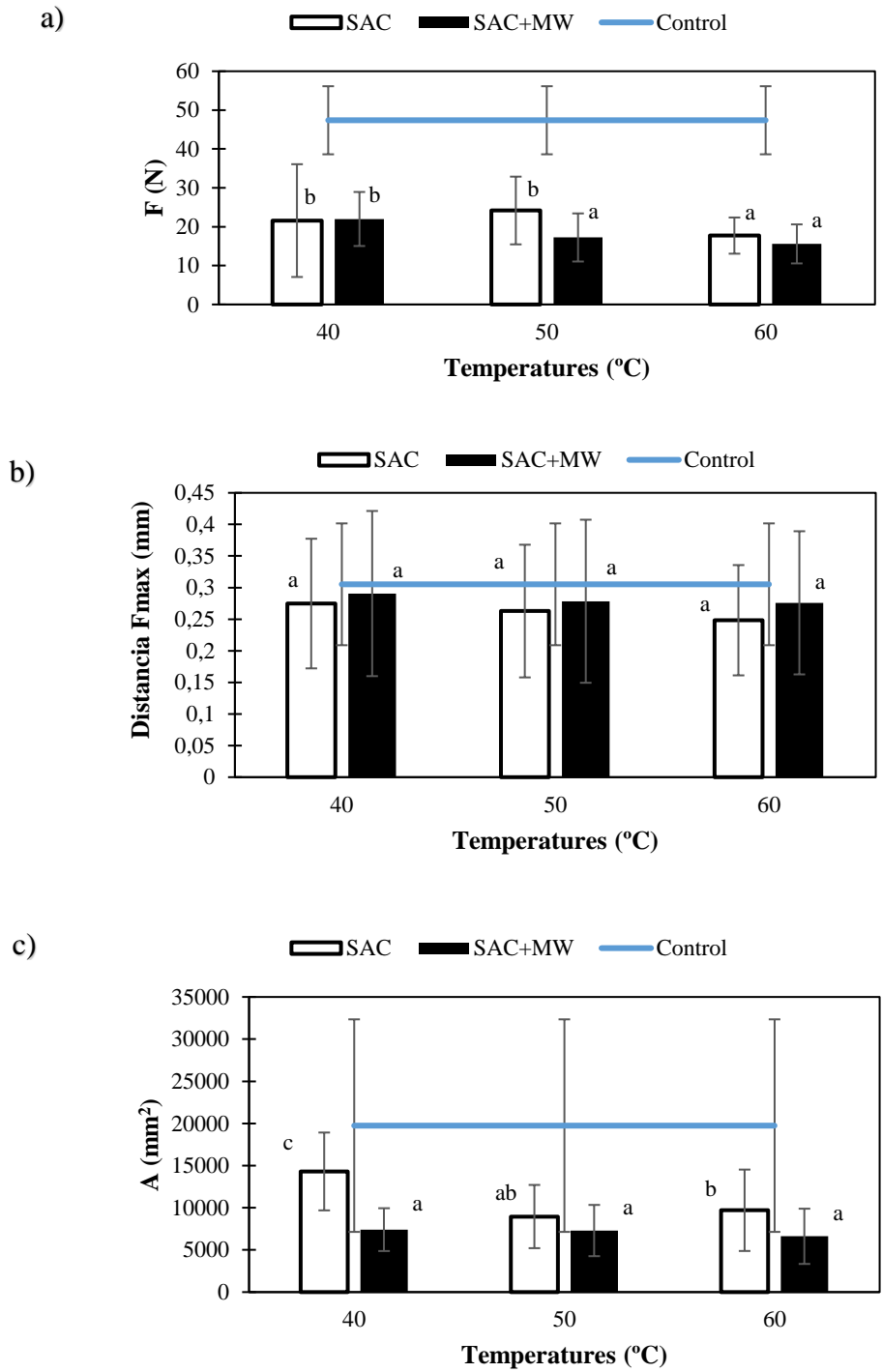


Figura 16: Força de fractura (a), distància a la que es produïx la força màxima (b) i àrea baix la corba (c) respecte dels diferents tractaments tèrmics

4.3- Fase de cocció

Amb els resultats obtinguts en l'estudi d'asseccament, es va concloure que les condicions òptimes per aquesta etapa era un asseccament a 40°C combinat aire i microones. Per aquest motiu, la següent fase de l'estudi, la cocció, es va realitzar sobre les mostres obtingudes en aquestes condicions.

Tenint en compte que l'objectiu del treball és obtenir un arròs de cocció ràpida però de característiques similars a l'arròs cuit tradicional, es va estudiar la cocció fins que els grans assoliren el mateix contingut en aigua que un arròs estàndard (0,46 g aigua/g ms). Així, en la Figura 17, es mostra el contingut d'aigua dels grans al llarg del temps de cocció a 96°C.

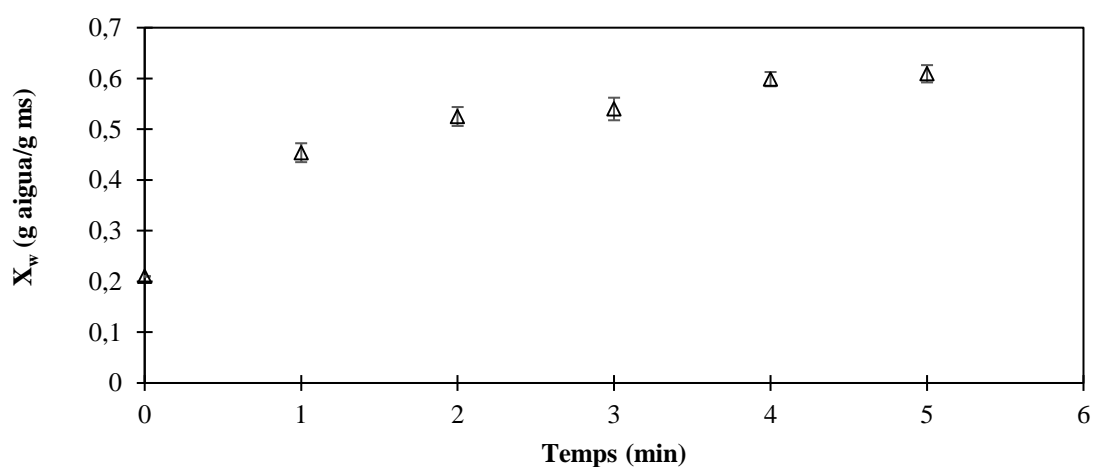


Figura 17: Contingut d'aigua de l'arròs en l'etapa de cocció respecte del temps

Es pot apreciar a la Figura 17 que els grans d'arròs absorbeixen aigua ràpidament assolint una humitat d'equilibri pròxima a 0,6 g aigua/g ms. A més, al minut 1 s'assoleix una humitat de $0,454 \pm 0,018$ g aigua/g ms, valor assenyalat anteriorment com similar al de l'arròs tradicional. En aquest sentit, tenint en compte que la cocció d'un arròs redó blanc s'estima en aproximadament 17 minuts, la reducció en el temps en aquest arròs seria d'un 94%. Els resultats obtinguts guarden relació amb els que Bello *et al.* (2007) interpretà sobre l'absorció d'aigua amb arròs en aquest cas, sense tractar.

D'acord amb les recomanacions establides per Juliano (1985), una reducció d'un 45% en el temps de cocció respecte del convencional de preparació de l'arròs, és suficient per a catalogar el producte com un arròs de ràpida cocció.

5.- CONCLUSIONS

Del present estudi de caracterització de les diferents etapes de producció d'arròs tipus Senia precuit es poden traure les següents conclusions:

- L'evolució de la humitat en la fase de remull es va modelitzar d'acord al model de Peleg, elegint com a condicions òptimes d'aquesta etapa una temperatura de 35°C durant 20 minuts.
- La cinètica d'assecat es va ajustar al models de Fick, Midili i Page. En aquest sentit, els valors de difusivitat efectives obtinguts del model de Fick evidenciaren que els tractaments de SAC+MW a les diferents temperatures eren majors que els de SAC.
- Les etapes de remull i assecament augmentaren la lluminositat (L^*) i l'índex de blanor (WI), sense modificar la posició en el diagrama cromàtic dels grans d'arròs de manera molt semblant per a totes les condicions d'assecat. A més, es van ablanir en tots els casos els grans. Per tot això, per a l'etapa d'assecat es recomanaria utilitzar 40°C en SAC+MW per ser més eficient i més ràpid en les característiques mesurades en aquest estudi.
- Finalment, es va aconseguir reduir un 94% el temps de cocció d'aquest arròs respecte a les condicions tradicionals.

Per a futurs estudis seria necessari optimitzar totes les etapes realitzades per a millorar les propietats mecàniques del gra així com fer un anàlisi sensorial per a avaluar l'acceptabilitat del producte.

6.- REFERÈNCIES

- AGUILERA, J, M. (2005), Why food microstructure? *Journal of Food Engineering*; 67(1-2), 3-11.
- AL-BABILI, S. & BEYER, P. (2005). Golden Rice–five years on the road–five years to go?, *Trends in plant science*; 10(12), 565-573.
- ALTAMIRANO, M. (2017). Estudio de la cinética de hidratación de arroz tipo “senia” blanco e integral, Tesis Fin de Master, Universitat Politècnica de València. Recurso online. Fecha de consulta: 10 de mayo de 2018. Dirección URL: <https://riunet.upv.es/handle/10251/87857>
- AMER, B. M., GOTTSCHALK, K., & HOSSAIN, M. A. (2018). Integrated hybrid solar drying system and its drying kinetics of chamomile. *Renewable Energy*, 121, 539-547.
- AOAC, 2000, Official Methods of Analysis of AOAC *International*, 17th ed, Gaithersburg, MD, USA.
- ATTANASIO, G., CINQUANTA, L., ALBANESE, D. & DI MATTEO, M. (2004). Effects of drying temperatures on physico-chemical properties of dried and rehydrated chestnuts (*Castanea sativa*), *Food chemistry*; 88(4), 583-590.
- AVILA, I. M. L. B. & SILVA, C. L. M. (1999). Modelling kinetics of thermal degradation of colour in peach puree, *Journal of food engineering*; 39(2), 161-166.
- BELLO, M. O., TOLABA, M. P. & SUAREZ, C. (2007). Water absorption and starch gelatinization in whole rice grain during soaking, *LWT -Food science and Technology*; 40(2), 313-318.
- BELLO, M., BAEZA, R. & TOLABA, M. P. (2006). Quality characteristics of milled and cooked rice affected by hydrothermal treatment, *Journal of Food Engineering*; 72(2), 124-133.
- BEYER, P. (2010). Golden Rice and ‘Golden’ crops for human nutrition, *New Biotechnology*; 27(5), 478-481.

BOE-A-1980-25297. (1980). Orden de 12 de noviembre de 1980 por la que se aprueba la norma de calidad para el arroz envasado con destino al consumo en el mercado interior. Recurso online. Fecha de consulta: 4 de julio de 2018. Dirección URL: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-1980-25297.

CAMBUY, V., RESENDE, O. & HONÓRIO, T. (2012). Drying kinetics of Jatropha seeds, *Rev, Ceres, Viçosa*; 59 (2), 171-177.

CHAMPAGNE, E. T., BETT-GARBER, K. L., MCCLUNG, A. M. & BERGMAN, C. (2004). Sensory characteristics of diverse rice cultivars as influenced by genetic and environmental factors, *Cereal Chemistry*; 81(2), 237-243.

CHAO, L., JUN-JIE, L., YANG, Y., QIONG, M., LI-PING, C. & WEI-REN, B. (2018). Kinetic analysis on the microwave drying of different forms of water in lignite, *Fuel processing Technology*; 176 (2018), 174- 181.

CHOU, S. K., CHUA, K. J., MUJUMDAR, A. S., HAWLADER, M. N. A. & HO, J. C. (2000). On the intermittent drying of an agricultural product, *Food and Bioproducts Processing*; 78(4), 193-203.

CHUNG, H. J., LIM, H. S. & LIM, S. T. (2006). Effect of partial gelatinization and retrogradation on the enzymatic digestion of waxy rice starch, *Journal of Cereal Science*; 43(3), 353-359.

Consejo Regulador Denominación de Origen Arroz de Valencia (2017) Historia del Arroz en Valencia [En línea]. Disponible en: <http://www.arrozdevalencia.org/variedades-2/>. Fecha de consulta: 02/05/2018.

CONTRERAS, C., MARTÍN-ESPARZA, M. E., CHIRALT, A. & MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. (2008). Influence of microwave application on convective drying: Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry. *Journal of Food Engineering*; 88(1), 55-64.

CORRÊA, P. C., BOTELHO, F. M., OLIVEIRA, G. H. H., GONELI, A. L. D., RESENDE, O. & CAMPOS, S. D. C. (2011). Mathematical modeling of the drying process of corn ears, *Acta Scientiarum, Agronomy*; 33(4), 575-581.

CORRÊA, P. C., DE OLIVEIRA, G. H. H., DE OLIVEIRA, A. P. L. R., BOTELHO, F. M. & GONELI, A. L. D. (2017). Thermodynamic properties of drying process and water absorption of rice grains, *CyTA-Journal of Food*; 15(2), 204-210.

CORRÊA, P. C., GONELI, A. L., JUNIOR, P. C., DE OLIVEIRA, G. H. & VALENTE, D. S. (2010). Moisture sorption isotherms and isosteric heat of sorption of coffee in different processing levels, *International journal of food science & technology*; 45(10), 2016-2022.

CRANK, J. (1975), The mathematics of diffusion, *Oxford, UK: Oxford University Press*, (2nd ed., pp, 47–53, 244, 254–257).

CROWHURST, D. G. & CREED, P. G. (2001). Effect of cooking method and variety on the sensory quality of rice. *Food Service Technology*; 1(3), 133-140.

CUCCURULLO, G., GIORDANO, L., METALLO, A. & CINQUANTA, L. (2017). Influence of mode stirrer and air renewal on controlled microwave drying of sliced zucchini, *Biosystems engineering*; 158, 95-101.

CUCCURULLO, G., GIORDANO, L., METALLO, A. & CINQUANTA, L. (2018). Drying rate control in microwave assisted processing of sliced apples, *Biosystems engineering*; 170, 24- 30.

DA ROCHA, R. P., MELO, E. D. C., BON CORBÍN, J., BERBERT, P. A., DONZELES, S. M., & TABAR, J. A. (2012). Cinética de secado de tomillo. In *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi*; Vol. 16, No. 6, pp. 675-683.

DEHGHANNYA, J., HOSSEINLAR, S. H., & HESHMATI, M. K. (2018). Multi-stage continuous and intermittent microwave drying of quince fruit coupled with osmotic dehydration and low temperature hot air drying, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*; 45, 132-151.

DOYMAZ, I. (2007). Drying of leek slices using heated air, *Journal of Food Process Engineering*; 31 (2008):721- 737.

DOYMAZ, I. (2008), Influence of blanching and slice thickness on drying characteristics of leek slices, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*; 47(1), 41-47.

EUROPEAN COMMISSION (2018). Clasificación del Arroz. Recurso online. Fecha de consulta: 4 de julio de 2018. Dirección URL: http://trade.ec.europa.eu/doclib/docs/2013/may/tradoc_151317.pdf

FICK, A. (1995). On liquid diffusion, *Journal of Membrane Science*; 100 (1995), 33-38.

GUO, X. H., XIA, C. Y., TAN, Y. R., LONG, C. H. E. N. & JIAN, M. I. N. G. (2004). Mathematical modeling and effect of various hot-air drying on mushroom (*Lentinus edodes*), *Journal of Integrative Agriculture*; 13(1), 207-216.

HOLM, J., LUNDQUIST, I., BJÖRCK, I., ELIASSÓN, A. C. & ASP, N. G. (1988). Degree of starch gelatinization, digestion rate of starch in vitro, and metabolic response in rats, *American Journal of Clinical Nutrition* 47, 1010–1016.

HOSSEINZADEH, B., KHOSHTAGHAZA, M. H., MAHDAVIAN, A. & NAJAFI, G. H. (2011). Analyses and modelling of moisture desorption at different methods of mint (*Mentha spicata* Huds) leaves drying, *Thai Journal of Agricultural Science*; 45(1), 1-9.

INPRASIT, C., & NOOMHORM, A. (2001). Effect of drying air temperature and grain temperature of different types of dryer and operation on rice quality. *Drying Technology*; 19(2), 389-404.

JAIBOON, P., PRACHAYAWARAKORN, S., DEVAHASTIN, S., & SOPONRONNARIT, S. (2009). Effects of fluidized bed drying temperature and tempering time on quality of waxy rice. *Journal of Food Engineering*; 95(3), 517-524.

JULIANO, B. O. & PEREZ, C. M. (1984). Results of a collaborative test on the measurement of grain elongation of milled rice during cooking, *Journal of Cereal Science*; 2(4), 281-292.

JULIANO, B. O. (1985). Rice: Chemistry and Technology, *American Association of Cereal Chemists, St, Paul, MN, EEUU*, 774 pp.

KAASOVÁ, J., KADLEC, P., BUBNIK, Z., HUBACKOVA, B. & PRIHODA, J. (2002). Physical and Chemical Changes during Microwave Drying of Rice, *Chemical Papers- Slovak Academy of Sciences*; 56 (1):32-35.

KADAN, R. S., BRYAN, R. J. & BOYKIN, D. L. (2000). Effects of processing conditions on qualities of rice fries, *Journal of Food Science*; 66, 610–613.

KROKIDA, M. K. & MARINOS-KOURIS, D. (2003). Rehydration kinetics of dehydrated products, *Journal of Food Engineering*; 57(1), 1-7.

LEE, E. & WISSGOTT, U. (2001). Instant soakable rice, United States Patent, US2001/0006696A1.

LEELAYUTHSOONTORN, P. & THIPAYARAT, A. (2006). Textural and morphological changes of Jasmine rice under various elevated cooking conditions, *Food chemistry*; 96(4), 606-613.

LI, H. & GILBERT, R. G. (2018). Starch molecular structure: The basis for an improved understanding of cooked rice texture. *Carbohydrate polymers*; 195 (2018), 9-17.

LI, H., PRAKASH, S., NICHOLSÓN, T. M., FITZGERALD, M. A. & GILBERT, R. G. (2016). Instrumental measurement of cooked rice texture by dynamic rheological testing and its relation to the fine structure of rice starch. *Carbohydrate polymers*; 146, 253-263.

LIANG, T. A. N. G., XU, Z. J. & CHEN, W. F. (2017). Advances and prospects of super rice breeding in China, *Journal of integrative agricultura*; 16(5), 984-991.

LU, T. J., JANE, J. I. & KEELING, P. L. (1997). Temperature effect on retrogradation rate and crystalline structure of amylose, *Carbohydrate Polymers*; 33(1), 19-26.

Ministerio de agricultura y pesca, Alimentación y medio ambiente, Arroz, (2018) , <http://www.mapama.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/cultivos-herbaceos/arroz/>, Data de consulta: Maig, 2018.

MOHAMED, A., PETERSÓN, S. C., GRANT, L. A. & RAYAS-DUARTE, P. (2006). Effect of jet-cooked wheat gluten/lecithin blends on maize and rice starch retrogradation, *Journal of cereal science*; 43(3), 293-300.

MONTEAGUDO, G., BENLLOCH, M., CAMACHO, M. M. & MORAGA. G. (2013). Aplicación de métodos combinados para la obtención de kiwi en polvo de alta calidad.

NDUKWU, M. C. (2009), Effect of drying temperature and drying air velocity on the drying rate and drying constant of cocoa bean, *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*.

OLANO, R. (2005), Historia del arroz, <https://es.scribd.com/doc/11880507/Historia-Del-Arroz>, Data de consulta: Juny 2018.

ONDIER, G. O., SIEBENMORGEN, T. J., & MAUROMOUSTAKOS, A. (2010). Low-temperature, low-relative humidity drying of rough rice. *Journal of Food Engineering*; 100(3), 545-550.

PELEG, M. (1988), An empirical model for the description of moisture sorption curves, *Journal of Food Science*; 53 (4), 1216-1219.

RAMÉSH, M. N. & RAO, P. S. (1996). Drying studies of cooked rice in a vibrofluidised bed drier, *Journal of Food Engineering*; 27(4), 389-396.

SANTAMARÍA, J. (2017). Estudio de las etapas de secado y cocción para la obtención de arroz tipo “Senia” de rápida cocción, Tesis Fin de Master, Universitat Politècnica de València, <https://riunet.upv.es/handle/10251/94906>

SHAFAEI, S. M., MASOUMI, A. A. & ROSHAN, H. (2014). Analysis of water absorption of bean and chickpea during soaking using Peleg model, *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*; 15(2):135-14.

SIQUEIRA, V. C., RESENDE, O. & CHAVES, T. H. (2012). Drying kinetics of jatropha seeds, *Revista Ceres*; 59(2), 171-177.

SUWANSRI, S. & MEULLENET, J. F. (2004). Physicochemical characterization and consumer acceptance by Asian consumers of aromatic jasmine rice, *Journal of food science*, 69(1).

THAM, T. C., NG, M. X., ONG, S. P., HII, C. L. & LAW, C. L. (2018). Application of microwave-assisted drying on specific energy consumption, effective diffusion coefficient and topological changes of crumb natural rubber (Cis-1, 4-polyisoprene), *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*; 128, 19-35.

TOMLINS, K. I., MANFUL, J. T., LARWER, P. & HAMMOND, L. (2005). Urban consumer preferences and sensory evaluation of locally produced and imported rice in West Africa, *Food quality and preference*; 16(1), 79-89.

VASUDEVA, S., VISHWANATHAN, K. H., ASWATHANARAYANA, K. N. & INDHUDHARA SWAMY, Y. M. (2010). Hydration behaviour of food grains and modelling their moisture pick up as per Peleg's equation: Part I, Cereals, *Journal Food Sci Technology*; 47(1), 34-41.

WANG, J., XIONG, Y. S. & YU, Y. (2004). Microwave drying characteristics of potato and the effect of different microwave powers on the dried quality of potato, *European Food Research and Technology*; 219(5), 500-506.

WANG, N. & BRENNAN, J. G. (1995). Changes in structure, density and porosity of potato during dehydration, *Journal of Food Engineering*, 24(1), 61-76.

YAU, N. J. N. & HUANG, J. J. (1996). Sensory analysis of cooked rice, *Food quality and preference*; 7(3-4), 263-270.

YU, L., TURNER, M. S., FITZGERALD, M., STOKES, J. R. & WITT, T. (2016). Review of the effects of different processing technologies on cooked and convenience rice quality, *Trends in Food Science & Technology*; 59, 124-138.