



---

**Universidad de Valladolid**  
**Campus de Palencia**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍAS AGRARIAS**

**MÁSTER CALIDAD, DESARROLLO E INNOVACIÓN DE ALIMENTOS**

**PROPIEDADES DEL COMPORTAMIENTO DE HIDROCOLOIDES EN  
HARINA NATIVA Y HARINA EXTRUSIONADA DE TRIGO**

**Alumno: Ana Karina Macías  
Tutor: Manuel Gómez Pallares**

**2013**

## RESUMEN

Los hidrocoloides se utilizan cada vez con más frecuencia para modificar las propiedades funcionales de las harinas. Se investigó el efecto de los hidrocoloides de origen marino en harina nativa y extrusionada de trigo. Para tener una visión concreta de sus propiedades, se han elegido hidrocoloides de diferentes fuentes, (gelidium, gracilaria, ι-carragenano, κ-carragenano, garrofín y MCC). Se evaluaron las propiedades de hidratación, microscopía óptica, ensayos de RVA y ensayos de flujo estacionario. Se comprobó que κ-carragenano, MCC(celulosa microcristalina), y goma garrofín junto a las harinas utilizadas generan un aumento significativo en las propiedades de hidratación. De igual manera en la harina normal se ha comprobado como la incorporación de hidrocoloides de origen marino influyen en la disminución de la temperatura inicial del ciclo calentamiento enfriamiento, sin afectar a la temperatura de gelatinización del almidón, a diferencia de la harina extrusionada que no presenta variación. Pero se atribuye en ambas un efecto en el comportamiento de la viscosidad y la pseudoplasticidad.

Palabras clave: Agar, carragenanos, propiedades de RVA, reología de flujo, harina extrusionada.

## ABSTRACT

Hydrocolloids are used ever more frequently to change the functional properties of the flour. Have been investigated the effect of hydrocolloids of marine origin in native flour and wheat extruded. To have a concrete vision of your properties, have been chosen hydrocolloids from different sources, (gelidium, gracilaria, ι-carrageenan, κ-carrageenan, carob and MCC). It was assessed properties of hydration, optical microscopy, RVA testing and trials of stationary flow. It was found that κ-carrageenan, MCC(celulosa microcristalina), and rubber carob next used flours generated a significant increase in hydration properties. Similarly in normal flour found as hydrocolloids source incorporating marine influence on the reduction of the initial temperature of the cycle heating cooling, without affecting the temperature of gelatinization of the starch, unlike flour extruded presenting no variation. But attributed to an effect on the behavior of viscosity and the shear thinning in both.

Keywords: agar, carrageenan, RVA properties, flow rheology, extrude flour.

## 1. NTECEDENTES

Los almidones de harinas y los hidrocoloides son biopolímeros comúnmente utilizados en el procesamiento de alimentos para mejorar la calidad global del producto, reducir el costo y facilitar el procesamiento. El uso de la harina de trigo es a veces limitado, debido a su tendencia a la sinéresis, la retrogradación e inestabilidad cuando se someten a cocción, el estrés de cizallamiento y la refrigeración (Anastasiades et al., 2002), pueden conducir a un aumento de dureza y geles indeseables (Bárcenas y Rosell, 2005; Ribotta y Rosell, 2010). Algunos estudios se han realizado sobre el efecto de los hidrocoloides en el almidón de trigo (derivados de celulosa, alginatos, carragenanos, goma xantana, goma arábica, goma guar, entre otras menos investigadas), que han demostrado que el efecto depende en gran medida de la estructura del hidrocoloide y la concentración (Rojas et al., 1999).

Los hidrocoloides de importancia comercial obtenidos a partir de fuentes marinas son: el agar, los carragenanos y el alginato. Se denominan polisacáridos sulfatados porque contienen grupos sulfónicos con carga negativa que se combinan con los iones de carga positiva (Imeson, 2010). Es frecuente, que los hidrocoloides modifiquen el comportamiento de la viscosidad y las propiedades viscoelásticas de los almidones. Sin embargo, la interacción también depende del origen del almidón debido a las diferencias en tamaño del gránulo y la microestructura cristalina (Chiu y Solarek, 2009). De igual manera la estructura de los hidrocoloides afectan a la interacción de los almidones de las harinas. Se han hecho ciertos estudios para explicar estas diferencias por la carga neta de los hidrocoloides (Shi y BeMiller, 2002).

La harina extrusionada también ha sido ampliamente utilizada en muchas aplicaciones de alimentos por sus propiedades espesantes en frío. Las propiedades de las harinas extruídas dependerán de las condiciones del tratamiento de extrusión (Curic et al., 2009). Dado que la extrusión provoca cambios en el almidón, más bruscos que los métodos de cocción tradicionales, dañando una mayor cantidad de gránulos de almidón y modificando el poder espesante en frío de los almidones tratados (Wolf, 2010). Este tratamiento puede llegar a fragmentar moléculas de amilopectina (Mercier y Feillet, 1975). De hecho, Colonna et al., (1984) demostraron que los almidones de trigo extruídos presentan cadenas de amilosa y amilopectina de menor peso molecular. Este efecto, debido a las fuerzas de cizalla que experimenta el almidón, se traduce en un menor poder espesante

en frío (Doublier, et al., 1986). Debido a esos cambios que experimenta la harina durante su proceso de obtención, se considera que la adición del hidrocoloide adecuado también puede superar las deficiencias de las harinas extrusionadas. Sin embargo, se han llevado a cabo pocos estudios sobre el efecto de diferentes hidrocoloides en harinas pregelatinizadas. Se puede mencionar que existen estudios en patentes, que hacen mención al uso de almidón pregelatinizado junto a hidrocoloides. En el que utilizan almidón pregelatinizado más goma garrofín, para obtener mezclas de pudines y flanes, para conseguir una alta capacidad de retención de agua, sin sinéresis BeMiller (2011).

Estudios realizados con diferentes harinas e hidrocoloides indican, que la mezcla de harina-hidrocoloide presenta una microestructura de fases separadas en la que los dominios ricos de amilosa es la fase dispersa y la amilopectina la fase continua (Techawipharat et al., 2008). En ausencia de hidrocoloides, el almidón forma redes micelares por la asociación de las moléculas de amilosa o amilopectina, que controlan el proceso de hinchamiento durante el calentamiento. En el proceso de gelatinización existen, dispersiones de almidón de una fase continua formada por amilosa lixiviada, amilopectina de bajo peso molecular y una fase dispersa integrada por gránulos hinchados (Singh et al., Kaur 2004; Singh et al., 2003). Cuando los hidrocoloides se mezclan con el almidón de la harina, la amilosa lixiviada y la amilopectina de bajo peso molecular pueden interactuar con los hidrocoloides durante la gelatinización y formar estructuras de red diferentes, que producen la alteración de las propiedades de enfriamiento calentamiento y las propiedades reológicas en función del hidrocoloide y su concentración (Shi y BeMiller, 2002).

Las interacciones sinérgicas entre harinas e hidrocoloides han sido objeto de numerosos estudios, principalmente con polisacáridos solubles en agua de diferentes fuentes. Estos estudios tienen el propósito de comprender, que la adición de una pequeña cantidad de hidrocoloide influye en las propiedades de un producto alimenticio. De hecho, Tye (1988) dio a conocer el estudio de tres tipos de carragenanos, en el que lambda carragenano en interacción con el almidón de maíz tiene un efecto sinérgico, mientras que kappa no lo posee. Otros estudios realizados por Eidam et al., (1995) los geles de tipo  $\kappa$ -carragenano presentan una mayor gelificación en el almidón de maíz y una disminución final de la fuerza del gel, a diferencia del  $\iota$ -carragenano que tuvo resultados opuestos, y estos efectos no son diferentes al comportamiento de los otros hidrocoloides, concluyendo que

las viscosidades máximas y finales aumentaron en el orden de  $\lambda > \text{iota} > \text{kappa}$ . Sin embargo, Shi y BeMiller (2002) demostraron que la presencia del  $\iota$ -carragenano tuvo menor efecto sobre la viscosidad de las pastas de almidón de maíz, y que ninguno de los otros hidrocoloides tuvo un resultado considerable. Pongsawatmanita et al., (2007) concluyó, que los efectos de un hidrocoloide en combinación con un almidón para obtener un resultado favorable, dependerán de la concentración del hidrocoloide.

Un estudio realizado en harinas de trigo con derivados de celulosa de diferentes tamaños moleculares, se comprobó un aumento de la viscosidad máxima y un descenso de la temperatura pico en celulosas de mayor tamaño molecular, mientras que, no hubo ningún efecto en el aumento de la viscosidad inicial de calentamiento enfriamiento en los de menor tamaño molecular (Naruenartwongsakul et al., 2004). Se conoce que los derivados de la celulosa en diferentes concentraciones, son compuestos compatibles con otros ingredientes, incluyendo almidones. A pesar de este hecho, sólo hay pocas investigaciones sobre el efecto de estos hidrocoloides (MCC, celulosa microcristalina; HPMC, hidroxipropilmetilcelulosa; CMC, carboximetilcelulosa, y demás) de las propiedades de calentamiento enfriamiento, y las propiedades reológicas de los almidones (Techawipharata et al., 2008).

Las investigaciones sobre el efecto de la interacción hidrocoloide/almidón se han realizado en mayor proporción en almidones céreos, con modificación química o reticulados, y en diferentes tipos de almidones siguiendo el orden de maíz > arroz > patata > trigo. Sin embargo existen pocos estudios en harinas extruídas que destaquen el comportamiento de la interacción del uso de agares o hidrocoloides. Siendo así, esta interacción el objeto de estudio para exponer nuevas alternativas de hidrocoloides del tipo marino como posibles opciones para la evolución y satisfacción de las necesidades tecnológicas en productos alimenticios procesados. Para ello, se determina la capacidad de retención de agua (WHC), las propiedades de pegado y el comportamiento de gelatinización-gelificación de las pastas, con harina de trigo normal y harina de trigo extrusionada.

Para obtener un efecto importante en el comportamiento de los hidrocoloides junto con la harina, se han utilizado hidrocoloides a partir de fuentes vegetales (goma garrofín), fuentes marinas (gelidium, gracilaria,  $\kappa$ -carragenano,  $\text{i}$ -carragenano) y con modificaciones

químicas (celulosa microcristalina), lo que implica una amplia diversidad de estructuras químicas. La influencia de los hidrocoloides y de las harinas seleccionadas, se analizaron mediante el comportamiento viscoso en un ciclo de calentamiento enfriamiento, las propiedades de hidratación, por microscopía óptica, y por reología de flujo de las mezclas (harina-hidrocoloide).

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. MATERIALES**

En este trabajo se utilizó dos tipos de harinas: harina de trigo normal con 11,82% de humedad, conocida comercialmente como harina “popular”, facilitada por harinera Castellana (Medina del Campo, Valladolid, España). La harina extrusionada de trigo con el 10,26% de humedad, de nombre comercial “Toc 90”, fue suministrada por Harinera Los Pisones (Zamora, España).

Los hidrocoloides, Agar Gelidium tipo RG-ST; Agar Gracilaria tipo RGM-900; y Goma garrofín del tipo Gum-110560, fueron suministrados por Industrias ROKO S.A (Pontevedra, España). El agar ι-carragenato tipo Ceamvis 3383, y el agar κ-carragenato tipo Ceamgel 1860, fueron facilitados por Ceamsa (Pontevedra, España). La celulosa microcristalina tipo MCG-500F, fue facilitada por la industria Vivapur (Rosenberg, Alemania). Las características de los hidrocoloides utilizados en este estudio se muestran en la tabla1.

Las harinas sin hidrocoloide se han denominado Control, mientras que las harinas con polímeros se mencionan por sus respectivos nombres.

**Tabla 1.** Descripción de las características de los hidrocoloides utilizados en este estudio

NOMBRE	ESTRUCTURA	FUENTE	PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS	EFFECTO DE IONES/SALES
<b>GELIDIUM</b>	Agarosa: D-galactopiranososa 3,6-anhidro-L- Agarpectina: D-galactopiranososa, 3,6-anhidro-Lgalactopiranososa, ácido D-glucourónico, ácido pirúvico	Algas marinas	T° de fusión ~ 86°C. Insoluble en agua fría, soluble en agua caliente. Forma geles bastante firmes a temperatura ambiente. Sus geles son termorreversibles.	No
<b>GRACILARIA</b>	Agarosa: D-galactopiranososa 3,6-anhidro-L- Agarpectina: D-galactopiranososa, 3,6-anhidro-Lgalactopiranososa, ácido D-glucourónico, ácido pirúvico, sulfato		T° de fusión ~88°C. Forma geles firmes y es termorreversible bajo un tratamiento alcalino previo. Es un polisacárido mayoritario en relación a gelidium.	No
<b>IOTA CARRAGENANO</b>	D-galactosa-4-sulfato 3,6 anhidro-D-galactosa-2-sulfato		T° de fusión~80°C. Soluble en agua caliente, se dispersa en agua fría, gel más fuerte con Ca <sup>2+</sup> textura de gel elástica, gel claro.	Ca <sup>2+</sup> geles i
<b>KAPPA CARRAGENANO</b>	D-galactosa-4-sulfato 3,6 anhidro-D-galactosa. De alto peso molecular		T° de fusión~80°C. Soluble en agua caliente, se dispersa en agua fría, textura de gel frágil más fuerte con iones , gel ligeramente opaco.	K <sup>+</sup> geles k
<b>GARROFÍN (LBG)</b>	Cadena principal de unidades D-manopiranososa ligada a residuos de D-galactopiranososa (Galactomanano)	Ceratonía siliqua, Leguminosae	T° de fusión~60°C. solubilidad en caliente , se dispersa en agua fría formando un sol. No gelifica. Sinergia con carragenanos. Control de sinéresis	No
<b>CELULOSA MICROCRISTALINA (MCC)</b>	Anhídrido-glucosa-1,4 carbonos + β glucosídica, alto peso molecular	α-celulosa derivada de la madera	insoluble en agua fría, se dispersa en agua fría Suspensión en las formulaciones de proteínas, viscosidad estable al calor.	Si

**Autores:** Pasquel, (2001); Imeson, (1992); Imeson, (2010); Marinho-Soriano, (2001); Freile-Peligrín y Murano, (2005); Correa et al., (2010).

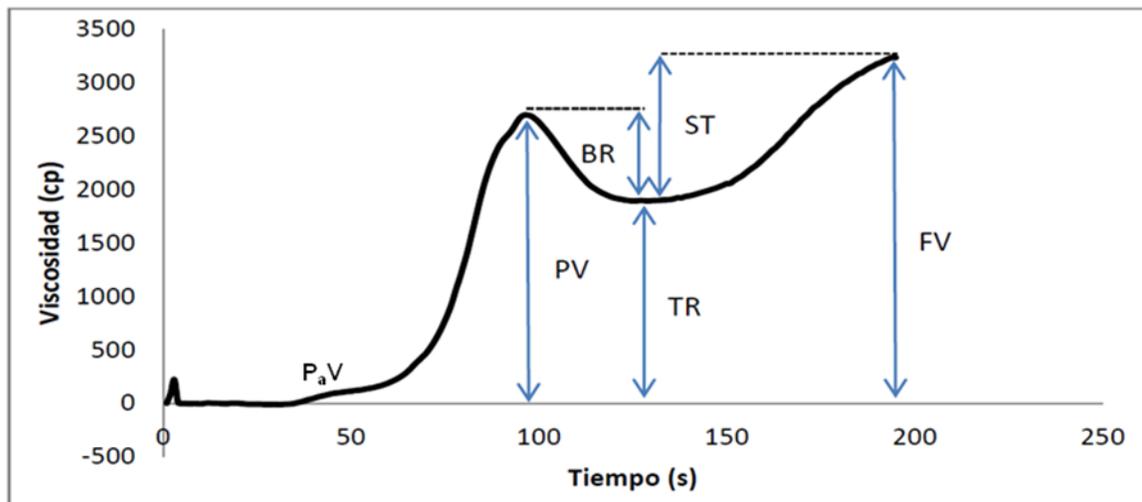
## 2.2. MÉTODOS

### 2.2.1. Comportamiento viscoso de las harinas en un ciclo de calentamiento-enfriamiento.

Este análisis se realizó en un analizador de viscosidad rápida (RVA) (Newport Scientific, Warriewood, Australia) de acuerdo a lo descrito en el método 61.02.01 (AACC, 2012). Éste método consiste en someter a la pasta a un calentamiento hasta 95°C, mantenerlo

un tiempo a esa temperatura y después enfriar hasta llegar a los 50°C. El equipo registra la viscosidad de la mezcla.

Todas las medidas se realizaron por duplicado. Los parámetros que proporciona este equipo son los siguientes:



**Figura 1:** Parámetros y curvas de RVA.  
Viscosidad en unidades centipoise; tiempo en segundos

Viscosidad de empastado (PV, pasting viscosity) (cP): Viscosidad en el punto donde se inicia la gelatinización de la mezcla o formación de la pasta.

Temperatura de empastado ( $P_aT$ , pasting temperature) ( $^{\circ}C$ ): temperatura inicial del empastado. Indica la temperatura mínima necesaria para la cocción.

Viscosidad máxima (PV, peak Viscosity) (cP): pico de viscosidad. Indica la capacidad de retención de agua en una mezcla o pasta.

Estabilidad (BR, breakdown) (cP): Diferencia entre la viscosidad máxima y la viscosidad de caída que se produce en el tramo de temperatura constante.

Viscosidad de caída (TR, trough) (cP): Es el menor valor de viscosidad antes del comienzo de la retrogradación. Se produce al final del tramo de temperatura constante, antes de que comience el enfriamiento.

Retrogradación (ST, setback) (cP): Es la diferencia entre la viscosidad de final y la de caída.

Viscosidad final (FV, Final viscosity) (cP): viscosidad final en frío, ocurre cuando la pasta se enfría (Graham and Andrew, 2007).

### **2.2.2. Propiedades de hidratación**

Las propiedades de hidratación incluyeron, la capacidad de retención de agua sin estrés mecánico (WHC, water holding capacity), y la capacidad de retención de agua bajo estrés mecánico (WBC, water binding capacity) y el incremento de volumen (SV, swelling volume). El WHC es definido por Nelson (2001), como la cantidad de agua retenida por una muestra sin ser sometida a estrés mecánico a diferencia del WBC que es analizada bajo estrés de centrifuga. Mientras que la expansibilidad por hinchamiento (SV) es el incremento de volumen experimentado por cualquier partícula cuando esta se humedece. Estas son importantes características funcionales relacionadas con la fabricación y la calidad de los productos finales (Slade et al.,1994).

Los análisis de WHC y WBC, se realizaron por duplicado, una muestra para el tipo de pasta (harina más hidrocoloide más agua destilada) y otra para el tipo de gel (agua destilada más hidrocoloide) dispersando el hidrocoloide en agua, es decir 1.5% en peso de agar en polvo, en relación a los 25 ml de agua destilada. Una vez preparada la mezcla, se procedió a una agitación manual con 5 periodos de 1 minuto a intervalos de 5 minutos. Posteriormente se centrifugó por 15 minutos a 1000 rpm y a 145 xg, en una centrífuga modelo KOCH 1460 (BUNSEN, Madrid, España), Luego que se retira el sobrenadante de agua y se deja escurrir boca abajo durante 10 minutos para obtener el peso final de la pasta. Este procedimiento se realizó en congelado y sin descongelar. La muestra se dejo reposar por 24 horas para los respectivos resultados. Los ensayos fueron realizados según el método 88.04 (AACC, 2012).

El SV de un peso conocido de harina con y sin hidrocoloide, se evaluaron por duplicado, usando el mismo procedimiento mencionado en el WHC, tanto para la pasta como para el gel, con 100ml de agua destilada permitiendo que la pasta y el gel se hidraten durante 24 horas sin sufrir estrés mecánico, esta propiedad se calculó mediante la conversión de la altura de los geles resultantes a una base de volumen, y los resultados se expresaron en porcentaje de hidratación.

### **2.2.3. Reología de flujo**

Para el estudio de la conducta reológica estacionaria de las pastas, se tomaron las

muestras del proceso calentamiento enfriamiento de las mezclas del RVA, de acuerdo a lo descrito en el método 61.02.01 (AACC, 2012).

El análisis se realizó en un reómetro de esfuerzo controlado Thermo Scientific Haake RheoStress1 (Thermo Fisher Scientific, Karlsruhe, Alemania) y un baño de agua Phoenix II P1-C25P que controla la temperatura de análisis, programada a 50°C. Todas las medidas se realizaron con el programa informático Rheowin Pro Job Manager. Se utilizó una geometría de platos de titanio paralelos a 60 mm de diámetro (PP60 Ti), de superficie rugosa para evitar el deslizamiento de la pasta (harina, hidrocoloide y agua), durante la realización de las pruebas, con un espacio entre platos de 3 mm. Una vez ajustado el espacio entre platos, se colocó ~5 g de muestra y se cubrió las partes en contacto directo con el aire, con aceite de parafina Panreac (Panreac Química SA, Castellar del Vallés, España), para evitar su deshidratación. Se dejó reposar la pasta durante 500 segundos antes de iniciar la medida.

El esfuerzo cortante frente a velocidad de cizallamiento se calculó en el intervalo de 0,06-500 ( $s^{-1}$ ). Para cada pasta, se realizaron 2 repeticiones en el programa Rheowin Data Manager 4 (Thermo Fisher Scientific, Karlsruhe, Alemania). Los datos experimentales se ajustaron al modelo de Ostwald de Waele ( $\sigma = k \dot{\gamma}^n$ ). Debido a que k y n están relacionados con la consistencia y el índice del comportamiento de flujo, respectivamente, n determina precisamente el modo en que se desarrolla el flujo, si  $n < 1$  el fluido se denomina pseudoplástico (shear-thinning), (Chhabra y Richardson, 1999).

Se calculó el área de histéresis ( $W/m^3$ ), según el método utilizado por Chiralt (2007). Esta área indica el grado de ruptura del producto en fluidos tixotrópicos. Se tomaron los valores de la curva de flujo, efectuando un barrido ascendente y descendente de gradientes de velocidad y esfuerzo.

#### **2.2.4. Observaciones Microscópicas**

Para este análisis se utilizó un microscopio óptico Leica DM750 (Switzerland, 2009). Se tomaron las muestras del proceso calentamiento enfriamiento de las mezclas del RVA. Tomando una cantidad de muestra significativa para realizar un frotis, a este se añadió 1-2 gotas de la solución de Lugol (1%, mezcla de I: KI 01:02), se colocó un cubre objetos, y luego de 5 min se realizaron las observaciones de partida. Las fotografías fueron tomadas con el programa Leica Microsystems, software de imágenes LAS-EZ (Heerbrugg, Switzerland, 2009). Lente ocular 10 x. Las muestras se hicieron por duplicado.

### **2.2.5. Análisis estadístico**

Antes de realizar cualquier tratamiento estadístico se verificó de manera objetiva la normalidad de los datos mediante el test de bondad de ajuste específico de la normalidad Shapiro-Wilks donde se comprueba como todos los datos de interés siguen una distribución normal.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) multifactorial mediante el test LSD de Fisher (diferencia mínima significativa). Para comparar los resultados y determinar el grado de significancia de los descriptores y variables dependientes. Las diferencias se consideraron significativas cuando  $p < 0.05$ . Para ello se utilizó el software Statgraphics Centurion XVI, versión 16.1.18 (Warrenton, USA).

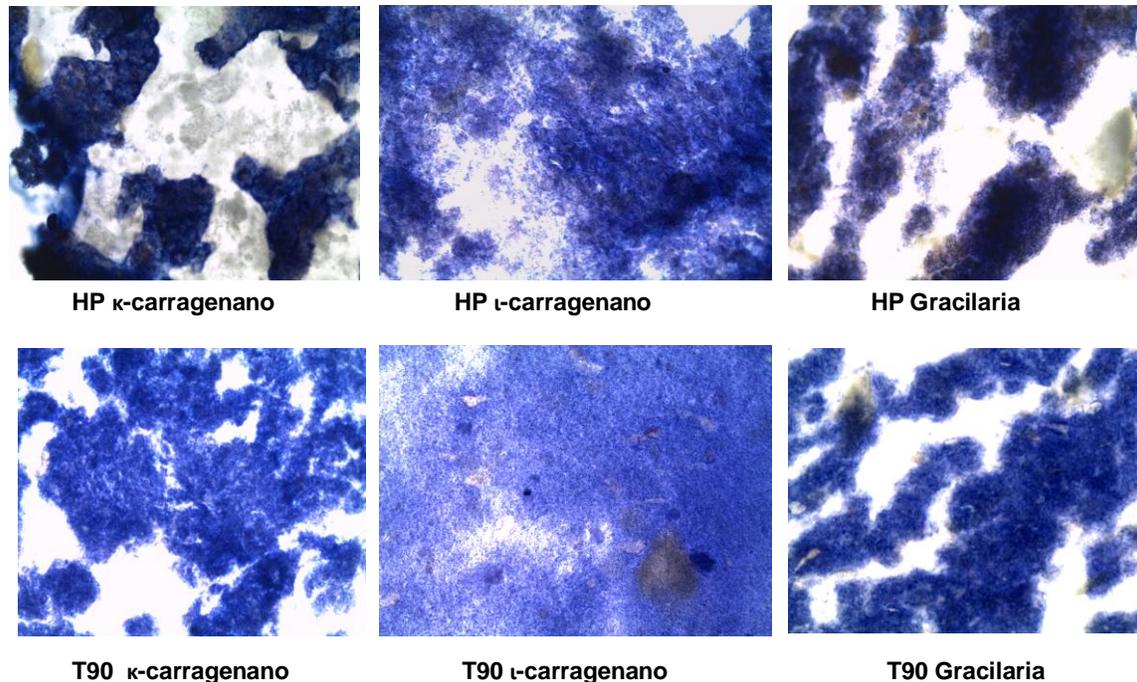
## **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **3.1. Microscopía óptica**

De acuerdo con las observaciones microscópicas de las pastas con diferentes hidrocoloides, se podría predecir diferentes ordenamientos estructurales, figura 2. Las pastas con harina T90 en su mayoría presentan un sistema más fino de estructura, tono más brillante, y partículas más disgregadas que la HP. Debido a la combinación con el reactivo de lugol (I: KI 01:02), se presenta una proporción de amilosa en los dos tipos de harinas, por lo que las moléculas helicoidales se tiñen de color azul, mientras que la amilopectina se torna de matices rojos-púrpura. Esto no es debido a una reacción química sino a la adsorción o fijación de yodo en la superficie de la molécula. De esta manera, es estimada la cantidad aparente de almidón presente en las harinas estudiadas. Entre más intensidad de color mayor es la cantidad de amilosa, los espacios en blanco indican la presencia de aire, Mandala et al., (2004).

Por lo tanto, el análisis microscópico no mostró imágenes con un grado de diferencias significativas debido a que la microestructura de fases no presenta similitudes entre ellas, tanto para la HP como para la T90. Este hecho se puede comparar con lo estudiado por Techawipharata et al., (2008) en carragenanos y derivados de celulosa en almidón de arroz. Sin embargo, también demuestran que el tamaño de los gránulos ricos en amilosa en la fase dispersa aumentó en relación al porcentaje utilizado de  $\kappa$ -carragenano. La diferencia entre estos datos podría atribuirse a varios factores, tales como, el tipo y

concentración de almidón, el grado de gelatinización, la proporción del almidón, y la preparación de pastas o geles de hidrocoloide, harina.



**Figura 2.** Micrografías ópticas de las características de las harinas-hidrocoloides  
Análisis realizado por duplicado y posterior selección de micrografías más representativas.

### 3.2. Propiedades de Hidratación

En la tabla 2, se muestra el efecto del tipo de hidrocoloide y la harina soporte usada sobre las propiedades de hidratación de las harinas. En cuanto a los resultados de WHC, no se observan valores superiores al  $\iota$ -carragenano, seguido del  $\kappa$ -carragenano y de la MCC. Estas provocan un aumento significativo ( $p < 0,05$ ) del parámetro de capacidad de retención de agua. No se encontraron diferencias significativas entre el resto de hidrocoloides.

Se observa que el mejor efecto entre las dos harinas es la T90<sub>iota</sub> seguida por la T90<sub>kappa</sub>. Esta propiedad se puede atribuir a la naturaleza hidrófila de los hidrocoloides, debido a que pueden aumentar la retención de agua (Arrocha y Rosell, 2011; Rojas et al., 1999). En consecuencia no todos los hidrocoloides utilizados en este estudio presentan un aumento de hidratación. Por lo que, se deduce que el efecto del hidrocoloide en las

harinas es debido a las interacciones específicas entre el hidrocoloide y las moléculas de almidón, puesto que la amilosa pasa a la fase continua durante el hinchamiento aumentando las propiedades de hidratación. Esta estructura química la mayoría de los hidrocoloides la poseen. De igual manera, se puede deducir que las mezclas (harina-hidrocoloide) que presentan diferencias significativas interactuaron junto a la amilosa lixiviada durante el hinchamiento, ya que están asociadas a los gránulos del almidón que producen menor cantidad de materias solubles en la fase continua. Estudios de Rosell et al., (2011) mencionan que, cuando los hidrocoloides están presentes en la mezcla, estos producen viscosidad en la fase continua haciendo que aumente la presión osmótica, favoreciendo la lixiviación de la amilosa y la hinchazón del gránulo. Liu et al. (2003) sugirieron que la baja hinchazón en harinas, puede producir los efectos que ocurren en el interior del gránulo de almidón, a través de enlaces de hidrógeno inducidos por la presencia de hidrocoloides.

**Tabla 2.** Propiedades físicas de los hidrocoloides en interacción con harina HP y T90

	TIPO DE HIDROCOLOIDE								HARINA SOPORTE		
	Media	SE	MCC	Garrofín	Kappa	Iota	Gracilaria	Gelidium	Control	HP	T90
WHC	38,18	3,89	49,37b	30,44a	44,54b	66,74c	26,78a	27,79a	21,64a*	27.27a*	49,09b*
SV	445,45	47.86	819,05d	331,67ab	400,67b	705,55c	290,58a	273,11a	297,50a*	360,74a*	530,16b*
WBC <sub>P,C</sub>	3,65	0,34	3,46d	4,93e	3,2c	4,97e	3,07b	3,12bc	2,84a***	2,34a***	4,97b***
WBC <sub>P,N,C</sub>	3,70	0,33	3,44c	5,02d	3,42c	5d	3,04ab	3,12b	2,83a***	2,42a***	4,98b***

Niveles de los factores (A to B): A =Tipo hidrocoloide: Control, Gellidium, Gracilaria, Iota, Kappa, Garrofín, Celulosa microcristalina ( MCC); B = Harina Soporte: Popular (HP), TOC 90 (T90);  
 WHC = Water holding capacity. WBC<sub>P,C</sub> = Water bilding capacity polvo congelado  
 WBC<sub>P,N,C</sub> = Water bilding capacity polvo no congelado.  
 Diferentes letras en el mismo parámetro indican diferencias significativas.  
 \*p<0.05;\*\* p <0.01; p<0.01 P\*\*, \*\*\*p<0.001

El efecto del tipo de hidrocoloide y la harina en cuanto a los resultados de SV, tiene propiedades similares a las del WHC, a excepción de la MCC que es el hidrocoloide que mayor hidratación presenta tanto para la HP como para la T90, este comportamiento se puede justificar debido a que la MCC en su estructura posee propiedades coadyuvantes, este podría ser el motivo de su aumento en el WHC. Aprovechando el agua disponible de la fase continua durante las fluctuaciones de temperatura (Imeson, 2010).

Las propiedades de hidratación de la harina de trigo están relacionadas negativamente con el contenido de amilosa. Estudios de gránulos de almidón con un alto poder de

hinchamiento tienden a contener una mayor proporción de cadenas poliméricas más largas ( $DP \geq 35$ ). Esto sugiere que los factores que contribuyen a la cristalinidad del gránulo influyen en las propiedades de hinchamiento. Además las características moleculares de la harina pregelatinizada consolidan esta propiedad. Otros estudios de Slade y Levine (1994), indican que los gránulos de almidón pregelatinizados de harinas extruídas, presentan mayor grado de gelatinización, lo que produce una mayor capacidad de absorción de agua.

Las propiedades de hidratación presentes en la harina extrusionada y los hidrocoloides, presentan en las mezclas una mejora a esta propiedad. Ya que Wolf, 2010, explica que los gránulos de almidón que han sufrido el proceso de extrusión dañan una cantidad de éstos gránulos haciéndolos de menor peso molecular, (Doublier, et al., 1986), este efecto se traduce en una menor capacidad de retención de agua. Esto puede indicar una cierta interacción entre el hidrocoloide utilizado y la harina extruída, como se observó en los carragenanos y la MCC, Anexo 1.

El WBC de los geles (agua más hidrocoloide), fue realizado para poder relacionar el comportamiento de los hidrocoloides, en las interacciones con las harinas ( $WBC_{P,C}$  y  $WBC_{P,N,C}$ ; harina-hidrocoloide). Se obtuvo resultados en el orden de, gelidium > iota > kappa > MCC > garrofín, (Anexo 2). En base a todo lo mencionado se deduce que, los hidrocoloides de diferentes fuentes, presentan un papel muy importante para las propiedades de hidratación (Rosell et al., 2009), es decir para cada mezcla de harina-hidrocoloide. Por otro lado, el comportamiento de los carragenanos se justificaría, al poseer una alta afinidad por el agua (Imeson, 2010), es decir las partículas de agua son absorbidas dentro de la estructura de este agar lo cual hace que tenga una óptima propiedad de aplicación para la hidratación. Sin embargo Kwon, Choi, Kim y Shin (2006), informaron que ciertos hidrocoloides reducen la propiedad de hinchamiento debido a la presión osmótica generada dentro de la fase continua, ya que el hidrocoloide impide el acceso del agua a la fase dispersa. Esta tendencia se modificó con una concentración más alta de hidrocoloide (0,1%).

### **3.3. Determinación del comportamiento viscoso de las harinas en un ciclo de calentamiento-enfriamiento**

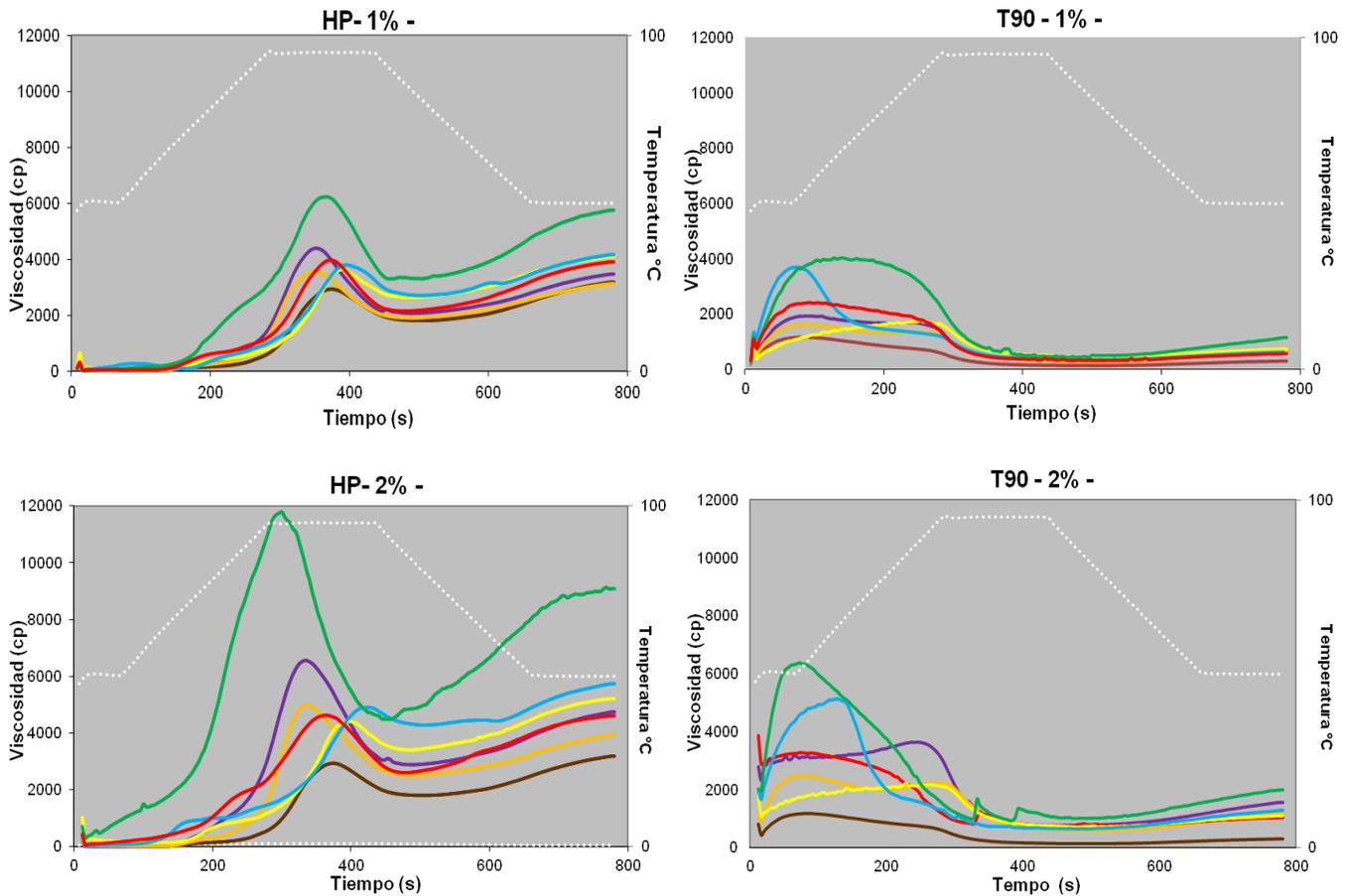
Se muestra en la figura 2 la influencia del tipo de hidrocoloide sobre el comportamiento viscoso de las pastas en un ciclo de calentamiento enfriamiento.

Los hidrocoloides añadidos a los dos tipos de harina, promovieron una modificación de las propiedades de pegado en los dos niveles ensayados, mayormente en la T90. Cada hidrocoloide influyó de manera particular, esto era de esperar debido a las evidentes diferencias en sus estructuras químicas como se observa en la tabla 1.

Todos los hidrocoloides afectaron la viscosidad máxima (PV). La goma garrofín en sus dos concentraciones demostró tener mayor PV (Anexo 1), seguida por la viscosidad del gelidium en la HP y el k-carragenano en la T90. Las pastas que evidenciaron valores más bajos de PV siguen el orden de celulosa microcristalina, i-carragenano y gracilaria. Los cambios en la viscosidad de la pasta HP, podrían ser debidos a la presencia de interacciones entre la suspensión de los gránulos de almidón- hidrocoloide-agua, ya que este efecto de calentamiento hace que las moléculas de los gránulos se hinchen y se rompan para formar una pasta que provoca la propiedad de viscosidad. Esto coincide con lo observado en el estudio de Rojas et al., (1999); Singh et al., (2007); Zaidul et al., (2007). Mientras que para la pasta T90, la viscosidad máxima que presenta es debido a su estructura y a su propiedad espesante en frío (Wolf, 2010), que al concentrar la suspensión de los gránulos cocidos en interacción con hidrocoloides dan resultados sinérgicos.

En cuanto a la retrogradación (ST) de las pastas, se observó que los dos tipos de carragenanos aumentan el grado de retrogradación en comparación a la muestra control. Los valores de ST más significativos fueron presentados por la goma garrofín con las dos concentraciones de hidrocoloide en comparación a las pastas HP. La curva de retrogradación del  $\kappa$ -carragenano y el  $\iota$ -carragenano, presenta mayor estabilidad en relación a los demás hidrocoloides en las dos concentraciones. De la misma manera se evidencia en las gráficas que la control T90 presenta un menor grado de retrogradación. La ST es mayor en la HP debido a que en su estructura la amilosa sufre este efecto mucho más rápido a lo que resiste la amilopectina (Mercier y Feillet, 1975; Wolf, 2010), y al tener la T90 un mayor contenido de amilopectina dada su obtención (Hagenimana et

al., 2006), su efecto es menor. Esto indica que las pastas en presencia de goma garrofín promueven un mayor reordenamiento de las moléculas excretadas por los gránulos de almidón después de la hidratación, en relación a los agares.



**Figura 2.** Gráficas de análisis de RVA, comportamiento de hidrocoloides vs HP y T90  
 HP (harina popular); T90 (harina pre-gelatinizada. Hidrocoloides: café = control; morado= gelidium;  
 anaranjado= gracilaria; amarillo= iota; celeste= Kappa; verde= garrofín;  
 rojo= celulosa microcristalina (MCC); blanco= temperatura.  
 Los datos mostrados son las medias obtenidas a partir de dos y tres repeticiones.

La diferencia de temperatura de gelatinización ( $T_P$ ) de las harinas es muy evidente, debido a que la T90 en combinación con los hidrocoloides utilizados, presentan una  $T_P$  constante ( $50^\circ\text{C}$ ), en comparación a la HP que tiene un  $T_P$  entre  $75$  y  $98^\circ\text{C}$  en presencia de la goma garrofín, la que menor  $T_P$  mostró fue  $HP_{\text{kappa}} \sim 60^\circ\text{C}$ , seguido por la celulosa microcristalina, gelidium, gracilaria, y iota. Tomando de referencia la muestra control

HP(87°C), las pastas con los hidrocoloides poseen una menor  $T_P$ . Se observó que a medida que se aumenta el porcentaje de hidrocoloide disminuye cerca de 2° la  $T_P$  para la HP. Esto es similar a lo estudiado por Rojas et al., (1999), en el que se comenta que existe una disminución de la temperatura de gelatinización en el almidón de trigo cuando se incluyen gelificantes. Vriesmann et al., (2010) presentaron que hidrocoloides del tipo (guar, LBG, k-y lamda carragenano, entre otras), disminuyen la temperatura del incremento inicial de la viscosidad. A estos mismos resultados Ravindran y Merino (2009); Weber et al., (2009); Huang (2009). Sin embargo Bárcenas et al., (2009) menciona que ciertos ensayos en harina de trigo e hidrocoloides tienen poco efecto sobre los parámetros de RVA. Estas diferencias se pueden presentar debido a la diversa estructura que presentan las muestras (hidrocoloide-harina).

La caída de viscosidad (TR) entre la HP y la T90 junto con los hidrocoloides, exhibe mayor TR la HP<sub>2%</sub> que las demás pastas, debido a que su PV es mayor. Sin embargo la T90<sub>1%</sub> presenta valores de caída más bajos. Esto se puede explicar debido a que las moléculas solubles de la pasta se orientan en la dirección en la que es agitado el sistema produciendo una disminución a la resistencia al flujo o de la viscosidad (Hoseney et al., 1986). Por tanto, la viscosidad durante el período de enfriamiento indica que los hidrocoloides tienen influencia en las propiedades de la harina. Debido a que estos gránulos junto con los hidrocoloides se encuentran molecularmente dispersos, hinchados, y en fragmentos de moléculas hidratadas, dispuestas a asociarse mientras la temperatura de la pasta disminuye (Singh et al., 2003).

La estabilidad (BR) de las mezclas hidrocoloide-harina menos indicadas para procesos que requieran agitación mecánica son HP<sub>garrofin2%</sub> (11576 cP), T90<sub>garrofin2%</sub> (9566 cP), HP<sub>garrofin1%</sub> (4532 cP), T90<sub>kappa2%</sub> (4510 cP), se observan los datos sucesivos en Anexos (Tabla 4). Estos resultados sugieren una gran capacidad de hinchamiento de los gránulos de almidón de las muestras evaluadas y una menor estabilidad en la cocción. De esto se puede deducir que los gránulos son muy frágiles y se destruyen fácilmente con la pérdida de viscosidad en el sistema. Esta fragilidad depende del tamaño de los gránulos, es decir que a mayor tamaño se destruyen más fácilmente, ya que son más susceptibles a la ruptura por las fuerzas térmicas o mecánicas aplicadas, lo cual indica que las fuerzas de enlaces entre los gránulos de almidón no son estables (Zobel, 1988; Zaidul et al., 2007; Wang et al., 2003).

### 3.4. Comportamiento reológico ante ensayos de flujo

En la tabla 3, se muestra el efecto del tipo de hidrocoloide y la harina soporte sobre el comportamiento reológico de las pastas. Además en la figura 3, podemos ver de manera gráfica el modelo del comportamiento reológico utilizado para relacionar el esfuerzo cortante aplicado y la velocidad de deformación fue el de la ley de la potencia, también llamado Oswald de Waele. El índice de consistencia (K), el índice de comportamiento (n) y la viscosidad aparente ( $\eta$ ) fueron modelados para la curva de subida del esfuerzo y el grado de tixotropía fue evaluado calculando el área del lóbulo de histéresis éntrelas curvas de subida y de bajada.

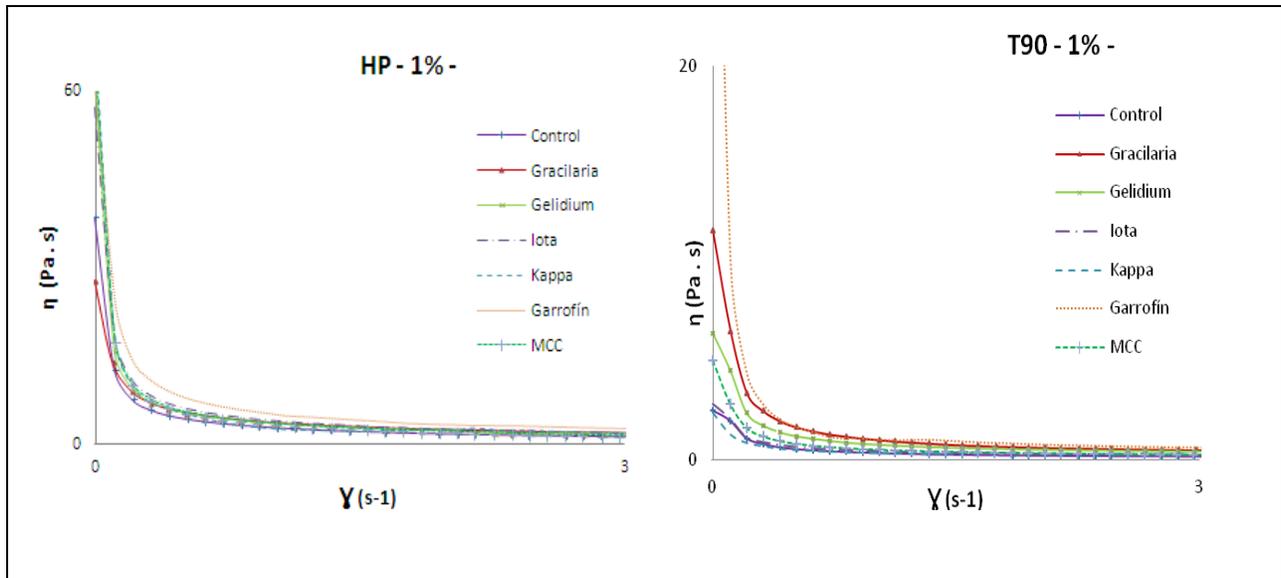
**Tabla 3.** Propiedades de flujo de los hidrocoloides en interacción con harina HP y T90

	TIPO DE HIDROCOLOIDE								HARINA SOPORTE		
	Media	SE	MCC	Garrofín	Kappa	Iota	Gracilaria	Gelidium	Control	HP	T90
n	0,39	0,018	0,31d	0,35ab	0,48c	0,43bc	0,32ab	0,43bc	0,37abc	0,35a*	0,42b*
k	47,59	8,23	73,00d	64,25cd	28,28a	48,3bc	53,8cd	33,26ab	32,25ab	83,88a**	11,3b**
$\eta$	29,8	11,64	7,13	21,6	33,7	38,9	87.14	12,6	24,51	43,22	10,8

Niveles de los factores (A to B): A =Tipo hidrocoloide: Control, Gellidium, Gracilaria, Iota, Kappa, Garrofín, Celulosa microcristalina ( MCC); B = Harina Soporte: Popular (HP), TOC 90 (T90);  
 Índice de consistencia (K); Índice del comportamiento al flujo; viscosidad aparente ( $\eta$ )  
 Diferentes letras en el mismo parámetro indican diferencias significativas.  
 \* $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ ;  $p < 0.01$  P\*\*; \*\*\* $p < 0.001$

Las curvas de flujo de las pastas de HP y T90 en presencia de hidrocoloides, se observan en la Figura 3. Todas las pastas presentaron un comportamiento del tipo pseudoplástico para ( $n < 1$ ). Además la mayoría de las muestras presentaron una modificación molecular ante la aplicación de un esfuerzo dependiente del tiempo (tixotropía), en orden decreciente, garrofín > gracilaria > gelidium > MCC, presentando menor ruptura estructural los  $\kappa$ -carragenanos, mientras que los  $\iota$ -carragenanos no presenta sinéresis. Estas variaciones en el comportamiento tixotrópico son afectadas por las diferentes estructuras que poseen los hidrocoloides, ya que esto implica entre más largos los tiempos de barrido para un mismo intervalo de gradientes y pasta, son esperables áreas tixotrópicas menores. Además estudios de Nguyen, et, al., (1998) mencionan que las pastas de almidón, en general, son tixotrópicas y pseudoplásticas. Algunos geles y coloides se consideran materiales tixotrópicos, pues muestran un perfil

estable en reposo y se tornan fluidos al ser agitados, (Chiralt et al., 2007). Estos estudios coinciden con los resultados obtenidos.



**Figura 3.** Gráficas del comportamiento de la viscosidad aparente de los hidrocoloides vs HP y T90. Los datos mostrados son las medias obtenidas a partir de dos y tres repeticiones. MCC (celulosa microcristalina); HP (harina popular); T90 (harina pre-gelatinizada).  $\eta$  (Pa·s)= viscosidad aparente;  $\dot{\gamma}$ ( $s^{-1}$ ) = velocidad de gradiente.

Las pastas HP y T90 exhiben propiedades reológicas de cizallamiento muy diferentes entre ellas y a su vez se vieron afectados por la adición de los diferentes hidrocoloides. La presencia de hidrocoloides aumentó la  $n$ , y los valores de  $K$  de ambos tipos de pastas en el siguiente orden decreciente: kappa > Iota  $\approx$  gelidium > garrofin  $\approx$  gracilaria > MCC. Este resultado indica un efecto predominante de las propiedades reológicas de los hidrocoloide añadidos como se explicó anteriormente. Por tanto se puede demostrar que la adición de carragenanos mejora la pseudoplasticidad en mayor grado que la celulosa microcristalina. Se puede justificar este comportamiento debido a que las características de los carragenanos, que son soluciones viscosas y fluidificables, al ser dependientes de cationes, ofrecen mayor poder espesante, (Imeson, 2010).

Se conoce que las propiedades reológicas reflejan la estructura de los alimentos, durante la gelatinización. Así mismo se ha venido mencionando que los gránulos de almidón se hinchan hasta varias veces su volumen inicial. Esta hinchazón se acompaña de la lixiviación de los componentes granulares (Singh et al., 2007). Estos cambios son

responsables de las características reológicas exhibidas por las suspensiones del almidón durante el calentamiento y cizallamiento. Debido a que el almidón gelatinizado se rige por el contenido de fase dispersa, y la viscosidad de la fase continua (Singh y Kaur, 2004; Singh et al., 2003).

El hidrocoloide más el almidón exhiben un comportamiento de la viscosidad único con el cambio de temperatura, debido a la concentración y la velocidad de cizallamiento (Nurul, Azemi, y Manan, 1999). Esto se observó en las curvas reológicas de gelatinización de las pastas de HP y T90 con los coloides propuestos (fragmentos de suspensiones viscosas frente a temperatura) obtenidos con RVA y el reómetro. La información obtenida de las curvas es considerable, ya que la viscosidad máxima a una concentración dada refleja la capacidad de los gránulos a hincharse libremente antes de su desintegración física. Estas pastas con hidrocoloides son capaces de hincharse a su máxima capacidad con la HP y hasta triplicar su tamaño con la T90, ya que esta última dependiendo de la concentración de hidrocoloide demostró ser más resistente a la degradación por cocción y por lo tanto muestra una disminución significativa de la viscosidad después de que alcanzó la viscosidad máxima (Singh et al., 2007). El aumento de la viscosidad durante el periodo de enfriamiento indica no sólo la relación de la viscosidad y la temperatura de las suspensiones, sino también la tendencia de los diferentes componentes presentes en la pasta caliente, (gránulos hinchados, fragmentos de gránulos hinchados coloidalmente dispersos, e interacciones de las moléculas de almidón-hidrocoloide disueltos), para asociarse o retrogradar cuando decrece la temperatura de las pastas. La harina pre-gelatinizada provocó un cambio considerable en las propiedades reológicas de las pastas.

#### **4. CONCLUSIONES**

El uso de hidrocoloides en harina nativa y harina extrusionada constituyen una interesante alternativa para mejorar la calidad de las mismas. Se comprobó que los hidrocoloides junto a las harinas utilizadas generan un aumento significativo en las propiedades de hidratación. De igual manera en la harina normal se ha comprobado cómo la incorporación de hidrocoloides de origen marino influyen en la disminución de la temperatura inicial del ciclo calentamiento enfriamiento, sin afectar a la temperatura de gelatinización del almidón, a diferencia de la harina extrusionada que no presenta variación. Pero se atribuye en ambas un efecto en el comportamiento de la viscosidad y en las propiedades de los almidones. Por lo tanto, se comprueba que la interacción

harina-hidrocoloides también depende del origen del almidón debido a las diferencias en tamaño del gránulo y la microestructura cristalina. Del mismo modo la estructura de los hidrocoloides afecta a la interacción de los almidones de las harinas.

En general la presencia de una alta viscosidad de estas interacciones pueden presentar ventajas o desventajas competitivas, dependiendo del tipo de aplicación que se desee desarrollar. Si se quieren innovar alimentos de fluidos espesos, lo ideal es trabajar con hidrocoloides y harinas de alta viscosidad, de lo contrario sería importante trabajar con las que ofrezcan baja viscosidad.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- AACC. (2012). Approved methods of the American Association of Cereal Chemists, methods, 61-02.01 (RVA), 88-04 (WHC), (11th ed.). St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists.
- Abdulmola, N. A., Hember, M. W. N., Richardson, R. K., & Morris, E. R. (1996). Application of polymer blending laws to starch-gelatin composites. *Carbohydrate Polymers*, 31(1–2), 53-63.
- Alsaffar, A. A. (2010). Effect of thermal processing and storage on digestibility of starch in whole wheat grains. *Journal of Cereal Science*, 52(3), 480-485.
- Alvis, A., Vélez, C. A., Villada, H. S., & Rada-Mendoza, M. (2008). Análisis físico-químico y morfológico de almidones de ñame, yuca y papa y determinación de la viscosidad de las pastas. *Información Tecnológica*, 19(1), 19-28.
- Anastasiades, A., Thanou, S., Loulis, D., Stapatoris, A., & Karapantsios, T. D. (2002). Rheological and physical characterization of pregelatinized maize starches. *Journal of Food Engineering*, 52(1), 57-66.
- Bárcenas, M. E., Rosell, C. M. (2005). Effect of HPMC addition on the microstructure, quality and aging of wheat bread Original. *Journal of Food Engineering*, 19(6), 1037-1043.
- Bárcenas, M. E., O-Keller, J. D. I., & Rosell, C. M. (2009). Influence of different hydrocolloids on major wheat dough components (gluten and starch). *Journal of Food Engineering*, 94(3–4), 241-247.
- Chiu, C., & Solarek, D. (2009). Modification of starch. En J. BeMiller, & R. Whistler (Eds.), *Starch. Chemistry and Technology* (pp. 629-656). Nueva York. EEUU: Academic Press.
- BeMiller, J. N. (2011). Pasting, paste, and gel properties of starch–hydrocolloid combinations. *Carbohydrate Polymers*, 86(2), 386-423.
- Colonna, P., Doublier, J., Melcion, J., Monredon, F., & Mercier, C. (1984). Extrusion cooking and drum drying of wheat starch. I. Physical and macromolecular modifications. *Cereal Chemistry*, 61, 538-543.
- Correa, M. J., Añón, M. C., Pérez, G. T., & Ferrero, C. (2010). Effect of modified celluloses on dough rheology and microstructure. *Food Research International*, 43(3), 780-787.

- Curic, D., Novotni, D., Bauman, I., Kricka, T., & Dugum, J. (2009). Optimization of extrusion cooking of cornmeal as raw material for bakery products. *Journal of Food engineering process*, 32, 294-317.
- Chhabra R.P. & Richardson J.F. (1999) *Non-Newtonian Flow in the Process Industries Fundamentals and Engineering Applications*. Ed. Butterworth-Heinemann. Dublin, Irlanda
- Chiralt B. A., Martínez N. N., González M. Ch., Talens O. P., & Moraga B. G. (2007). *Propiedades Físicas de los Alimentos "Reología de Alimentos y fluidos"*. Editorial de la UPV. Valencia - España.
- Doublier, J. L. (1987). A rheological comparison of wheat, maize, faba bean and smooth pea starches. *Journal of Cereal Science*, 5(3), 247-262.
- Freile-Pelegrín, Y., & Murano, E. (2005). Agars from three species of gracilaria (rhodophyta) from yucatán peninsula. *Bioresource Technology*, 96(3), 295-302.
- Graham, B. Crosbie and Andrew.S. Ross. (2007). *The RVA handbook*. Ed. AACC international.
- Imeson Alan (2010). *Food Stabilisers, Thickeners and Gelling Agents*. Editorial. Willey Blackwell. United kingdom.
- Imeson A., (1992). *Thickning and gelling agents for food*. Editorial Blackie academic. United kingdom.
- Lai, V. M., Huang, A., & Lii, C. (1999). Rheological properties and phase transition of red algal polysaccharide–starch composites. *Food Hydrocolloids*, 13(5), 409-418.
- Hoseney, R., Zeleznak, K., & Yost, D. (1986). A note on the gelatinization of starch. *Starch/starrke*. 38(1), 407 - 409.
- Launay, B., & Lisch, J. M. (1983). Twin-screw extrusion cooking of starches: Flow behaviour of starch pastes, expansion and mechanical properties of extrudates. *Journal of Food Engineering*, 2(4), 259-280.
- Linlaud, NE., Puppo, MC., Ferrero, C. (2009). Effect of Hydrocolloids on Water Absorption of Wheat Flour and Farinograph and Textural Characteristics of Dough. *Cereal Chemistry*, 86(4), 376-382.
- Mandala, I. G., & Bayas, E. (2004). Xanthan effect on swelling, solubility and viscosity of wheat starch dispersions. *Food Hydrocolloids*, 18(2), 191-201.
- Marinho-Soriano, E. (2001). Agar polysaccharides from gracilaria species (rhodophyta, gracilariaceae). *Journal of Biotechnology*, 89(1), 81-84.
- Mercier, C., & Feillet, P. (1975). Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products. *Cereal Chemistry*, 63, 283-297.
- Parimala, K. R., & Sudha, M. L. (2012). Effect of hydrocolloids on the rheological, microscopic, mass transfer characteristics during frying and quality characteristics of puri. *Food Hydrocolloids*, 27(1), 191-200.
- Pasquel., A. (2001). Gomas: una aproximación a la industria de alimentos. *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria*. *Food Hydrocolloids*, 1(1), 1-8.

- Naruenartwongsakul, S., Chinnan, MS., Bhumiratana, S., Yoovidhya, T. (2004). Pasting characteristics of wheat flour-based batters containing cellulose ethers. *Journal of Food Engineering*, 37(4), 489-495.
- Pongsawatmanit, R., Chantaro, P., & Nishinari, K. (2013). Thermal and rheological properties of tapioca starch gels with and without xanthan gum under cold storage. *Journal of Food Engineering*, 117(3), 333-341.
- Poutanen, K. (1997). Enzymes: An important tool in the improvement of the quality of cereal foods. *Trends in Food Science & Technology*, 8(9), 300-306..
- Ravindran, G., & Matia-Merino, L. (2009). Starch–fenugreek (*trigonella foenum-graecum* L.) polysaccharide interactions in pure and soup systems. *Food Hydrocolloids*, 23(3), 1047-1053.
- Rodríguez, M. C., Matulewicz, M. C., Nosedá, M. D., Ducatti, D. R. B., & Leonardi, P. I. (2009). Agar from *Gracilaria gracilis* (Gracilariales, Rhodophyta) of the Patagonic coast of Argentina – content, structure and physical properties. *Bioresource Technology*, 100(3), 1435-1441.
- Rojas, J. A., Rosell, C. M., & Benedito de Barber, C. (1999). Pasting properties of different wheat flour-hydrocolloid systems. *Food Hydrocolloids*, 13(1), 27-33.
- Rosell, C. M., Rojas, J. A., & Benedito de Barber, C. (2001). Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids*, 15(1), 75-81.
- Rosell, C. (2009). Enzymatic manipulation of gluten-free breads. En E. Gallagher (Ed.), *Gluten-Free Food Science and Technology* (pp. 83-98). Dublin, Irlanda: Wiley-Blackwell.
- Schirmer, M., Höchstötter, A., Jekle, M., Arendt, E., & Becker, T. (2013). Physicochemical and morphological characterization of different starches with variable amylose/amylopectin ratio. *Food Hydrocolloids*, 32(1), 52-63.
- Shi, X., & BeMiller, J. N. (2002). Effects of food gums on viscosities of starch suspensions during pasting. *Carbohydrate Polymers*, 50(1), 7-18. Singh, J., Kaur, L., & McCarthy, O. J. (2007). Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications—A review. *Food Hydrocolloids*, 21(1), 1-22.
- Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Singh Sodhi, N., & Singh Gill, B. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 81(2), 219-231.
- Slade, L., & Levine, H. (1994). Structure-function relationships of cookie and cracker ingredients. En H. Faridi (Ed.), *The Science of Cookie and Cracker Production* (pp. 23-241). Nueva York: Chapman and Hall.
- Tye, J. R. (1988). The rheology of starch/carrageenan systems. *Food Hydrocolloids*, 2(4), 259-266.
- Vriesmann, L. C., Silveira, J. L. M., & Petkowicz, C. L. d. O. (2010). Rheological behavior of a pectic fraction from the pulp of cupuassu (*Theobroma grandiflorum*). *Carbohydrate Polymers*, 79(2), 312-317.
- Wang, B., Wang, L., Li, D., Wei, Q., & Adhikari, B. (2012). The rheological behavior of native and high-pressure homogenized waxy maize starch pastes. *Carbohydrate Polymers*, 88(2), 481-489.

- Wolf, B. (2010). Polysaccharide functionality through extrusion processing. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 15, 50-54.
- Wurzburg, O.B. (1986). *Modified starches: properties and uses*. Boca Ratón, Florida. CRC Press.
- Yeh, A., & Li, J. (1996). A continuous measurement of swelling of rice starch during heating. *Journal of Cereal Science*, 23(3), 277-283.
- Zaidul, I. S. M., Yamauchi, H., Kim, S., Hashimoto, N., & Noda, T. (2007). RVA study of mixtures of wheat flour and potato starches with different phosphorus contents. *Food Chemistry*, 102(4), 1105-1111.
- Zobel, H.F. (1988). Molecules to granules: a comprehensive starch review. *Starch/Stärke* 40:44 - 50.

**ANEXOS**

• **Anexo 1.**

**Tabla 3.** Grado de interacción estadística de hidrocoloides con HP y T90

Muestras 1%		WHC		SV		WBC <sub>P.C</sub>		WBC <sub>P.N.C</sub>		k		n		À. T
		Media	SE	Media	SE	Media	SE	Media	SE	Media	SE	Media	SE	(W/m <sup>3</sup> )
Control	HP	5,95	4,71***	115,00	39,47***	0,775	0,011***	0,730***	0,024	60,1	8,034***	0,326	0,05***	2625,0
Control	T90	37,33	4,71	480,00	39,47	4,905	0,011	4,930	0,024	4,415	8,034	0,420	0,05	1645,0
Gellidium	HP	13,35	4,71	136,22	39,47	1,220	0,011	1,320	0,024	54,26	8,034	0,456	0,05	514,0
Gellidium	T90	42,2	4,71	410,00	39,47	4,990	0,011	4,940	0,024	12,26	8,034	0,405	0,05	70,0
Gracilaria	HP	10,68	4,71	145,45	39,47	1,11	0,011	1,100	0,024	85,98	8,034	0,332	0,05	82,0
Gracilaria	T90	42,87	4,71	435,72	39,47	5,025	0,011	4,975	0,024	21,63	8,034	0,306	0,05	118,0
Iota	HP	68,74	4,71	811,11	39,47	4,995	0,011	4,980	0,024	93,55	8,034	0,314	0,05	399,3
Iota	T90	64,74	4,71	600,00	39,47	4,945	0,011	5,025	0,024	3,069	8,034	0,555	0,05	258,0
Kappa	HP	32,42	4,71	310,00	39,47	1,395	0,011	1,940	0,024	51,35	8,034	0,434	0,05	662,0
Kappa	T90	56,65	4,71	491,35	39,47	5,01	0,011	4,890	0,024	5,202	8,034	0,537	0,05	813,0
Garrofín	HP	11,19	4,71	155,00	39,47	4,945	0,011	4,985	0,024	106,7	8,034	0,353	0,05	153,0
Garrofín	T90	49,68	4,71	508,34	39,47	4,920	0,011	5,050	0,024	21,86	8,034	0,377	0,05	151,0
MCC	HP	48,56	4,71	852,38	39,47	1,910	0,011	1,875	0,024	135,3	8,034	0,247	0,05	1010,0
MCC	T90	50,17	4,71	785,72	39,47	5,000	0,011	5,015	0,024	10,71	8,034	0,370	0,05	403,3

Celulosa microcristalina (MCC); Harina popular (HP), TOC 90 (T90); Water holding capacity (WHC); Water bilding capacity; Swelling volume (SV) polvo congelado (WBC<sub>P.C</sub>); Water bilding capacity polvo no congelado (WBC<sub>P.N.C</sub>). Error standard (SE). Para un coeficiente de correlación, R<sup>2</sup> = 0,98

\*p<0.05;\*\* p <0.01; p<0.01 P\*\*; \*\*\*p<0.001.

- **Anexo 2**

**Tabla 4.** Propiedades de los geles con hidrocoloides al 1%, WBC

Hidrocoloide	WBC	
	Pasta Congelada (ml/g)	Pasta NO Congelada (ml/g)
MCC	4,85	4,85
Garrofin	0,06	0,063
Kappa	4,86a	0,31
Iota	4,88a	0,35ab
Gracilaria	4,58a	0,48c
Gellidium	4,98a	0,43bc
HP	4,83a	0,32ab
T90	4,98a	0,43bc

Los datos mostrados son las medias obtenidas a partir de dos repeticiones.  
MCC (celulosa microcristalina); HP (harina popular); T90 (harina pre-gelatinizada).  
WBC (de capacidad de retención de agua bajo estrés mecánico).  
Diferentes letras en el mismo parámetro indican diferencias significativas.  $p < 0.05$