



EFFECTO DEL PH Y DE LA PROTEINA DE SOJA SOBRE PROPIEDADES FUNCIONALES Y DE EMPASTADO DE ALMIDONES DE MAIZ, ARROZ, PATATA Y TAPIOCA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Curso 2014/15

Alumno: Rito José Mendoza Pérez

**Tutoras: Felicidad Ronda Balbás
Marina Villanueva Barrero**

Máster en Calidad, Desarrollo e Innovación de Alimentos
E.T.S. Ingenierías Agrarias, Campus de la Yutera
Universidad de Valladolid

RESUMEN

El impacto de la acidificación con el empleo de un medio tamponado ácido (solución acida de pH 4, 5, 6, 6.5) y incorporación de proteína de soja (5% en base almidón) en almidones de cereales (arroz y maíz), almidón de tubérculos (patata) y almidón procedentes de raíz (Tapioca) fue investigado sobre las propiedades funcionales y pasting. Los ensayos capacidad de absorción de agua (WAC), el índice de absorción de agua (WAI), índice de solubilidad en agua (WSI), poder de hinchamiento (SP) y los perfiles de viscosidad fueron empleados para el estudio de las propiedades funcionales y empastado. Las variables obtenidas en los ensayos fueron analizadas en función tipo de almidón, ausencia/presencia de proteína de soja, con/sin ácido, pH y correlacionadas entre ellas. El almidón de arroz mostró valores de WAC, WAI, SP entre los almidones estudiados, siendo afectado por la proteína y ácido en el WSI. La interacción proteína-ácido generó viscosidad con picos más altos en el almidón. El efecto del pH produjo incremento de temperatura de pasting en todos los almidones.

Palabras clave: Propiedades funcionales, ácido, proteína de soja, Almidón, pasting.

ABSTRACT

Starches from different sources -cereals, roots, tubers and legumes- are used as stabilizers, emulsifiers, texture enhancers, etc. in the food industry, being functional and pasting properties determinants in the quality of the final product. In this study, the impact of acidification and the use of a buffer acid (acid solution of pH 4, 5, 6, 6.5) and incorporating soy protein (5%) in starches such as rice, corn, potato and tapioca has been evaluated. Variables obtained were analyzed according to the type of starch, presence / absence of protein and acidification at different pH. Water absorption capacity (WAC), water absorption index (WAI) water solubility index (WSI) and swelling power (SP) were used to study the functional properties. Rice starch showed higher values of WAC, WAI and SP comparing to other starches studied. The presence of protein always increased functional properties, whereas simultaneous acidification to the starch-protein mixtures decreased. Incorporation of protein increased the viscosity peak in the presence of water for all starches except potato starch. With acid solution, usually the effect was the opposite

Keywords: functional properties, acid, soy protein, starch, pasting properties.

1. INTRODUCCION

Los alimentos son sistemas que contienen mezclas complejas de agua, polisacáridos, proteínas, lípidos y numerosos componentes menores. El almidón es el componente principal en muchos alimentos y sus propiedades e interacciones con otros elementos, en particular con el agua, las proteínas y los lípidos, son de interés en la industria alimentaria. El almidón contribuye en un 50 - 70% de la energía en la dieta humana, proporcionando una fuente directa de glucosa (Copeland et al., 2009). Aproximadamente, 60 millones de toneladas se extraen anualmente en todo el mundo de diversos cultivos de cereales, tubérculos y raíces, de las cuales, el 60% se utiliza en alimentación, por ejemplo, en productos de panadería, salsas, sopas, dulces, jarabes de azúcar, helados, carnes y derivados, alimentos infantiles, sustitutos de grasa y bebidas (Burrell, 2003). Sus propiedades espesantes y gelificantes hacen de él un excelente ingrediente para la fabricación de diversos productos alimenticios (Ádina et al., 2014; Olu-Owolabi et al., 2014). Las diferencias existentes en composición y propiedades físicas de los diferentes almidones, da lugar a distintas formas de procesado lo que hace que su uso sea muy versátil (Burrell, 2003).

El almidón es variable en forma y funcionalidad dentro de las especies botánicas, e incluso dentro de la misma variedad de plantas cultivadas bajo diferentes condiciones. Esta variabilidad hace que cada tipo de almidón tenga diferentes propiedades funcionales. De aquí que ha sido objeto de una intensa investigación que ha suministrado numerosa literatura publicada sobre métodos preparativos y analíticos, estructura molecular propiedades fisicoquímicas y funcionales. No obstante, ser capaz de predecir la funcionalidad a partir del conocimiento de la estructura, y explicar cómo el almidón interactúa con otros componentes de los alimentos siguen siendo retos importantes en la industria alimentaria (Copeland et al., 2009).

Almidones de diferentes fuentes como cereales, raíces, tubérculos y leguminosas representan un insumo vital para la industria de alimentos como estabilizadores, emulsificantes, mejoradores de textura y otros, siendo sus propiedades funcionales determinantes en la calidad del producto final (Miranda et al., 2008). Las propiedades funcionales son las características fisicoquímicas que afectan el comportamiento de un componente alimentario durante el procesamiento, fabricación, almacenamiento y preparación. Tales propiedades funcionales incluyen la capacidad de absorción de agua o Water Absorption Capacity (WAC), capacidad de absorción de aceite u Oil Absorption Capacity (OAC), capacidad de hinchado o Swelling Power (SP), emulsión, capacidad de

formar espuma, gelificación, la capacidad para batir, viscosidad y otros (Cai et al., 2014; Mishra et al., 2006; Eliasson et al., 1996).

Por ello, el estudio de las propiedades funcionales y químicas del almidón podría ayudar en la utilización de diferentes aplicaciones (Yusuf et al., 2007). En trabajos recientes, se indica que muchos almidones de otras fuentes distintas a los cereales y algunos tubérculos, no han sido explotados en aplicaciones alimentarias, debido a la dificultad en la extracción y a la escasa información de sus propiedades fisicoquímicas, funcionales y de empastado. Así, Surendra et al., (2012) estudiaron cómo aislar el almidón de ñame por diferentes métodos para determinar la uniformidad de los almidones. Para ello, estudiaron sus propiedades funcionales, tales como WAC, OAC, SP; y sus propiedades fisicoquímicas, tales como contenido de humedad y materia seca. Los resultados demostraron que las propiedades químicas y funcionales de los almidones aislados de tubérculos por diferentes métodos de extracción varían unos con otros.

Falade et al., (2014) evaluaron las propiedades funcionales y fisicoquímicas de harinas y almidones de dos cultivares de arroz, Oriza Sativa y Oriza Glaberrima. Las propiedades funcionales que se evaluaron fueron WAC, SP y la solubilidad de los almidones de arroz cuyos resultados demostraron diferencias entre las variedades evaluadas en cada una de las propiedades nombradas (Falade et al., 2014).

Por otra parte, Olu-Owolabi et al., (2014) determinaron propiedades funcionales (SP, solubilidad, gelificación y WAC) y las propiedades de empastado de almidones nativos y modificados procedentes de una variedad de cereal africano, de maíz, sorgo y mijo. Demostraron que por efecto del pH, temperatura, grado de alcalinidad y modo de modificación del almidón, el SP y la solubilidad era dependiente del pH, con valores máximos obtenidos a pH 12 en ambos almidones nativos y modificados. El aumento del grado de alcalinidad aumentó tanto la capacidad de solubilidad como el poder de hinchamiento. El WAC en los almidones modificados químicamente disminuyó (Olu-Owolabi et al., 2014).

Los almidones de cereales son los más usados en la industria, en algunos casos se utiliza almidón de tapioca y, más excepcionalmente, almidón de patata. El mayor inconveniente de la mayoría de estos almidones es la inestabilidad en altas temperaturas, bajas resistencia antes un intenso esfuerzo mecánico y pH ácido, lo que provoca una limitación para muchas de sus aplicaciones en la industria (Jyothi et al., 2010). Con el fin de cumplir con los requisitos de los procesos industriales específicos, los almidones se

modifican químicamente por métodos ácidos (Olu-Owolabi et al., 2014). En la modificación ácida, el ión del ácido actúa sobre la superficie del gránulo de almidón cambiando las propiedades fisicoquímicas del mismo (Yotsawimonwat et al., 2008). Cuando un almidón se disuelve en medios acuosos, el pH afecta a las propiedades físicas y a la estructura de la cadena de almidón (Hoover et al., 2000).

Hay investigaciones que comprueban el efecto de la adición de un ácido sobre propiedades fisicoquímicas y funcionales de los almidones. Uno de ellos lo constituye el estudio de Sriburi et al., (1999), demostró que la adición del ácido ascórbico en el almidón de tapioca en una dosis del 0,1% (p/p base almidón) causó un efecto sobre las propiedades funcionales con una reducción en el Índice de Absorción de Agua y Índice de Solubilidad. De igual modo, un efecto notable sobre las propiedades de empastado, con una disminución en el pico de viscosidad y la viscosidad final (Sriburi et al., 1999). Por otro lado, Lee et al., (2009) demostró que la estructura de las cadenas de almidón de maíz en un medio acuoso se vio afectada por el pH del medio, tanto en la acidez como en alcalinidad (pH 5 ó 10). Concluyó que la amilosa era más susceptible a la solución de pH que la degradación de la cadena de amilopectina (Lee et al., 2009).

La proteína de leguminosa más utilizada es la de soja. Esta proteína se emplea a menudo como ingrediente en los alimentos, pero rara vez se utiliza para influir en el almidón (Lian et al., 2013). La proteína de soja aislada (SPI) es una proteína vegetal abundante, barata, nutritiva y de alta calidad (Qiu et al., 2015; Galus et al., 2012). La proteína de soja se compone principalmente de ácido glutámico, arginina, ácido aspártico, leucina, lisina y fenilalanina (Lian et al., 2013). Existen trabajos acerca de la adición de esta proteína en harina de trigo, arroz y maíz, con el fin de modificar las propiedades mecánicas y viscoelásticas de sus masas resultantes (Chinma et al., 2014; Ronda et al., 2014). De igual manera, existen muchos estudios acerca de la adición de proteínas en productos sin gluten, en la que la elección de la proteína, con la funcionalidad adecuada, parece jugar un papel importante en el proceso de elaboración de este tipo de alimentos (Kim et al., 2015; Villanueva et al., 2014; Solina et al., 2007).

La proteína de soja ha suscitado un interés creciente debido a sus buenas propiedades funcionales, excelente valor nutricional y efectos en la salud (Sabato et al., 2002). La combinación del almidón y proteína de soja aporta propiedades macroscópicas vistosas y agradables a los productos alimenticios tales como flujo, estabilidad, textura y sensación agradable en boca (Li et al., 2007). De aquí la importancia de comprender la interacción de proteínas de soja adheridas a superficies de gránulos de almidón de trigo, ya que esto

podría permitir el desarrollo de nuevos productos horneados con textura aceptable (Ryan et al., 2005). Existen pocas investigaciones sobre la interacción entre el almidón y la proteína de soja en masas compuestas (Galus et al., 2012).

Tal como hemos visto, los estudios han sido orientados hacia la modificación ácida de los almidones, pero son escasos los estudios enfocados hacia el interés de nuestra investigación.

De forma natural en la elaboración de pan, las bacterias ácido-lácticas presentes en la masa madre producen ácidos orgánicos, principalmente láctico y acético, en concentraciones variables dependiendo de la disponibilidad de azúcares. La incorporación exógena de estos ácidos en masas de pan sin gluten ha sido estudiada con anterioridad (Villanueva et al., 2015; Ronda et al., 2014).

Hasta la actualidad, existen trabajos sobre las propiedades físicas, químicas, térmicas, etc. tanto de almidones como de proteínas, ya sean endógenas o exógenas, o sus mezclas. En cambio, existe un desconocimiento de cómo estos ingredientes y su interacción está influida por el pH. Al respecto, Villanueva et. al, (2014) estudiaron la incorporación de ácidos (acético + láctico al 0,5% p/p en base almidón+proteína) en masas a base de almidón de arroz enriquecidas con diferentes proteínas (albúmina, caseinato de calcio, proteína de guisante y proteína de soja) a diferentes dosis (0, 5 y 10%) así como las propiedades térmicas. Estos autores, observaron que los pHs de las masas de estudio oscilaron entre valores de 4 hasta 6,5. Evaluaron la calidad del pan a partir de mediciones físicas y sensoriales, encontrando que la acidificación a través de ácido láctico y acético confirió propiedades adecuadas a los panes finales, mejoró su olor, sabor, apariencia y aumentaron las proteasas y amilasas que condujeron a un envejecimiento retardado de los panes.

Es importante resaltar como las propiedades viscoelásticas en masas de almidones está directamente relacionada con la cantidad y origen de las proteínas, así como del pH al que son expuestos. Ronda et al., (2014) indicaron que la interacción proteína-ácido favorece perfiles de viscosidad más altos, sobre todo para las masas con proteínas de origen vegetal. Diferentes comportamientos viscoelásticos observaron de acuerdo con el tipo de proteína, la dosificación y acidificación; La acidificación de las masas disminuyó las temperaturas de *pasting* y la retrogradación de amilosa.

Tal como hemos visto, los estudios han sido orientados hacia la modificación ácida de los almidones y son escasos los estudios enfocados a estudiar el efecto de la incorporación

de un medio acuoso, a diferentes niveles de pH, sobre almidones y mezclas de almidón-proteína.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal, es el estudio del efecto del pH y la adición de la proteína soja sobre las propiedades funcionales y de empastado del almidón de arroz, maíz, patata y tapioca.

Para la consecución de este objetivo, se han llevado a cabo las siguientes fases: preparación de las mezclas de almidón y proteína de soja, preparación de las disoluciones a diferentes pHs, estudio de las propiedades funcionales, estudio de las propiedades de empastado, realización de análisis estadístico, comentario de resultados y discusión.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. *Materiales*

Para la elaboración de los ensayos se utilizó almidón de arroz (9,9% humedad, amilosa <10%, proteínas 0,5%, 0,2% de cenizas), almidón de maíz (humedad 11,6%, amilosa 25%, proteínas 0,35%, 0,1% de cenizas), almidón de patata (19,1% de humedad, amilosa 22%, proteínas 0,06%, 0,4% de cenizas), suministrados por Ferrer Alimentación S.A. (Barcelona, España). El almidón de tapioca (12,6% humedad, amilosa 18%, proteínas 0,1%, 0,2% de cenizas) fue suministrado por Brenntag S.L. (Sevilla, España).

La proteína utilizada fue aislado de proteína de soja Supro 500-E IP suministrada por Proveedora hispano-holandesa S.A. (Barcelona, España).

Para el ajuste de pH de la solución se utilizó Ácido Acético glacial e Hidróxido de Sodio, ambos de calidad para análisis de Pancreac Química (Barcelona, España). El agua destilada se obtuvo de la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias de Palencia. La matriz de almidón - proteína se efectuó en base a 100 g con la siguiente dosis: 95% almidón y 5% de proteína de soja. La solución tamponada (buffer) fue 0,1M de acetato sódico ajustado con NaOH 2N, usado para alcanzar los valores de pH 4, 5, 6 y 6,5. Los pH medidos en agua para los diferentes almidones y sus mezclas con proteínas fueron: Arroz: 6.40; Arroz - Soja: 6.80; Maiz: 6.13; Maiz - Soja: 7.06; Patata: 7.53; Patata - Soja: 7.03; Tapioca: 4.85; Tapioca - Soja: 7.02.

3.2. *Propiedades funcionales*

Las propiedades funcionales que se determinaron fueron la capacidad de absorción de agua (WAC), el Índice de Absorción de Agua (WAI), Índice de solubilidad del agua (WSI) y Poder de hinchamiento (SP).

3.2.1. Capacidad de absorción de agua (WAC)

La Capacidad de absorción agua (WAC) se efectuó por centrifugación, método descrito por Beuchat (1977). Se pesaron dos gramos de muestra y se mezclaron con 20 ml de agua destilada o mezcla tamponada en tubos de centrífuga de 50 ml. Se dispersó con la varilla de vidrio para homogenizar. Las dispersiones se agitaron ocasionalmente en el Vortex Heidolph Reax Top, seguido por una centrifugación durante 30min a 3000 × g (Orto Alresa, España). Finalmente, el sobrenadante se retiró y se pesó el precipitado. Los resultados se expresaron como gramos de agua o mezcla tamponada por gramo de muestra, mediante la siguiente ecuación:

$$WAC (g/g) = \frac{g \text{ H}_2\text{O (o solución tamponada)}}{g \text{ de muestra}}$$

3.2.2 Índice absorción (WAI), Índice de solubilidad en agua (WSI) y Poder de hinchamiento (SP):

Se midieron como describe Kaushal et al. (2012). Se pesó 2.5 g de la muestra (w_0) en tubos de centrifuga y se dispersó en 30 ml de agua destilada o solución tamponada usando una varilla de vidrio. Luego se sometió a temperatura de 90°C durante 10 min, se enfrió a temperatura ambiente y se centrifugo a 3000 × g por 10 min. El sobrenadante se vertió en una cápsula de porcelana y fue sometido a evaporación para determinar su contenido de sólidos y el sedimento se pesó (w_{ss}). El peso de sólidos secos se recuperó por la evaporación del sobrenadante durante toda la noche a 110°C (w_{ds}). El WAI, WSI, y poder de Hinchamiento SP, se calcula a partir de las ecuaciones:

$$WAI (g/g) = \frac{w_{ss}}{w_0}$$
$$WSI \left(\frac{g}{100 g} \right) = \frac{w_{ds}}{w_0} \times 100$$
$$SP (g/g) = \frac{w_{ss}}{w_0} - w_{ds}$$

3.3. Propiedades de Viscosidad

Las propiedades de empastado se estudiaron usando el equipo RVA-4 de Newport Scientific (Warriewood, Australia) controlado por el software Thermocline v 2.2 de la misma casa comercial, utilizando la norma AACC (Método 76-21.01). Los perfiles de viscosidad durante el análisis de las muestras fueron registrados utilizando suspensiones variables cuya humedad y peso total dependieron del tipo de muestra.

Este método consiste en someter a la pasta a un calentamiento hasta 95 °C, mantenerlo un tiempo (5 minutos) 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 triplicado.

Las muestras se calentaron de 50 a 95 °C a un ritmo de 12,16 °C/min después de permanecer la muestra durante 1 minuto en equilibrio a 50 °C, y se mantuvo durante 3,30 min a 95 °C. El enfriamiento se llevó a cabo desde 95 a 50 °C a un ritmo de 11,8 °C/min y se mantuvo durante 2 min a 50°C. Los parámetros registrados fueron la temperatura de *pasting* (temperatura a la que los gránulos de almidón comienzan a hincharse y gelatinizar debido a la absorción de agua), la viscosidad del pico (viscosidad máxima alcanzada por la pasta), el tiempo al cual se alcanza la viscosidad máxima (*peak time*), la viscosidad mínima de caída o *trough viscosity* (viscosidad registrada en la etapa final cuando la temperatura es de 95 °C), la viscosidad final (viscosidad a 50 °C), los valores de estabilidad o *breakdown* (diferencia entre el pico de viscosidad y la viscosidad de caída) y la retrogradación o *setback* (diferencia entre la viscosidad final y la viscosidad de caída).

3.4. Análisis estadístico

Para realizar el análisis estadístico se utilizó el programa STATISTICA (Tulsa, OK, EEUU) v.6. Se realizó el análisis de varianzas (ANOVA) de los resultados obtenidos. La prueba LSD (Least Significant Difference) se utilizó para evaluar las diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las muestras en cada uno de los ensayos..

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se reportan los resultados y la discusión de cada uno de los parámetros que representan las propiedades funcionales y propiedades de empastado que caracterizaron a los almidones estudiados (arroz, maíz, patata, tapioca) y como varían por efecto del pH del medio y con la adición del 5% de la proteína de soja a cada almidón.

4.1. Propiedades Funcionales

Las propiedades funcionales que se midieron del almidón, con y sin proteína de soja, tanto en agua destilada como en medios tamponados a pH 4.0, 5.0, 6.0, 6.5 fueron los parámetros WAC, WSI, WAI y SP. La tabla 1 recoge los p-valores del estudio ANOVA multivariante, tanto de los factores simples (tipo de almidón, presencia de soja y pH) como de sus interacciones dobles y triples para cada uno de los parámetros de estudios. Valores de p inferiores a 0.05 indican que los efectos son significativos con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 1. p-valores obtenidos del análisis ANOVA para los parámetros de las propiedades funcionales.

	WAC	WAI	WSI	SP
ácido	0,000	0,000	0,000	0,000
Tipo*ácido	0,000	0,000	0,000	0,000
Almidón(ácido)	0,000	0,000	0,000	0,000
pH(ácido)	0,000	0,149	0,000	0,199
Almidón*pH(ácido)	0,000	0,000	0,002	0,000
Almidón*Tipo(ácido)	0,000	0,000	0,000	0,000
Tipo*pH(ácido)	0,189	0,000	0,459	0,000
Almidón*Tipo*pH(ácido)	0,769	0,000	0,394	0,000
Std. Error	0,018	0,255	0,659	0,255

WAC: Capacidad de absorción de agua; WAI: Índice de absorción de agua; WSI: Índice de solubilidad en agua; SP: Poder de hinchamiento.

A continuación se discutirá el efecto del pH sobre estas propiedades de los almidones así como el efecto que produce la incorporación de la proteína de soja en cada almidón. También se comparará el efecto promedio del empleo de un medio tamponado ácido frente al empleo de agua destilada sobre estas propiedades del almidón, en ausencia/presencia de proteína.

4.1.1. Capacidad de absorción de agua (WAC).

La Tabla 2 recoge los valores de WAC de cada uno de los almidones, en función del pH del medio y de la adición o no de proteína de soja.

Tabla 2. Valores medios y grupos homogéneos obtenidos para el parámetro WAC.

Water Absorption Capacity (WAC)								
pH	Arroz		Maíz		Patata		Tapioca	
	Sin Soja	Soja	Sin Soja	Soja	Sin Soja	Soja	Sin Soja	Soja
Agua	1,024 ^{aC}	1,352 ^{bD}	0,734 ^{aA}	1,452 ^{dE}	0,817 ^{abB}	1,792 ^{cF}	0,765 ^{aA}	1,334 ^{dD}
4	1,013 ^{aD}	1,082 ^{aE}	0,793 ^{bA}	0,993 ^{cD}	0,801 ^{aAB}	0,904 ^{aC}	0,777 ^{aA}	0,836 ^{bcB}
5	1,023 ^{aE}	1,030 ^{aE}	0,805 ^{bB}	0,950 ^{bD}	0,803 ^{aB}	0,890 ^{aC}	0,759 ^{aA}	0,792 ^{abB}
6	1,020 ^{aD}	1,069 ^{aD}	0,805 ^{bB}	0,920 ^{aC}	0,838 ^{bB}	0,927 ^{aC}	0,746 ^{aA}	0,746 ^{aA}
6,5	1,069 ^{bDE}	1,102 ^{aE}	0,806 ^{bA}	0,941 ^{abBC}	0,869 ^{cAB}	1,014 ^{bCD}	0,839 ^{bA}	0,884 ^{cAB}

Valores con letras minúsculas distintas dentro de una misma columna indican que son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$). Las letras mayúsculas distintas por filas indican que son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Los valores de la Tabla 2 revelan grandes diferencias (significativas, $p < 0,05$) del WAC del almidón de arroz a cada pH con respecto a los valores obtenidos para el almidón de maíz, patata y tapioca, independientemente de la presencia de proteína de soja o no. El WAC del almidón de arroz fue un 27 - 30 % mayor que la tapioca y el resto de los

almidones, que no mostraron diferencias significativas entre sí, salvo a pH 6, aunque tampoco en ese caso resultaron muy marcadas. De hecho, algunos investigadores han informado de que un elevado nivel de proteína se traduce en una notable interacción con el agua (Cornejo et al., 2015). No obstante, probablemente otros factores intrínsecos, como el tamaño del almidón, la conformación de proteínas, el complejo lípido-proteínas y la interacción lípido-amilosa afecten a esta capacidad de absorción de agua en el almidón (Cornejo et al., 2015).

En la Figura 1 se representa gráficamente la evolución del WAC de cada uno de los almidones estudiados en función del pH del medio en ausencia de proteína de soja. Lo primero destacable en esta figura es que la curva del arroz está muy por encima de las correspondientes a los almidones de maíz, patata y tapioca, como se comentaba anteriormente a la luz de la Tabla 2, con independencia del valor de pH del que se trate. Esta observación está de acuerdo con investigaciones aportadas por otros autores sobre la mayor absorción de agua de almidón de arroz en comparación con otros almidones (Falade et al., 2014).

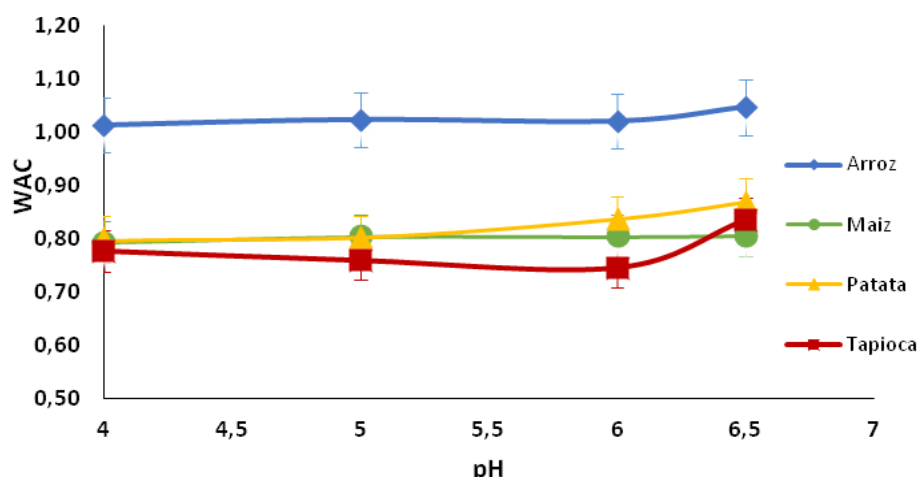


Figura 1: Efecto del pH en el WAC en los diferentes almidones.

En la Figura 1 observamos que el WAC de los almidones procedentes de tubérculos y raíz (fundamentalmente la tapioca, aunque también se observó en la patata) se vio afectado por el pH del medio tamponado, aumentando significativamente (13% y 5% respectivamente) al aplicar el valor de pH más alto de los estudiados, 6.5. Sin embargo, en los almidones de cereales (arroz y maíz) el pH no afectó significativamente en todo el intervalo de pH estudiado.

La Figura 2 muestra la evolución del WAC de las mezclas almidón-proteína de soja, a una dosis de incorporación de proteína del 5%, con la evolución del pH del medio, para los distintos almidones estudiados. Puede comprobarse que el efecto del pH sobre el WAC es

más marcado en presencia de proteína, probablemente por el efecto simultáneo que el pH tiene sobre los dos biopolímeros (almidón y proteína). En presencia de un 5% de soja los valores de WAC de todos los almidones a pH 4, 5 y 6.5 resultaron significativamente diferentes entre sí. Aunque el arroz siguió mostrando los valores más elevados (hasta un 36% mayor que la tapioca), el maíz y la patata también aumentaron su valor de WAC respecto al de la tapioca que fue el almidón que en presencia de soja presentó los valores de WAC más bajos a todos los pHs estudiados. Solo a pH 6.0 coincidieron los valores de WAC correspondientes a las mezclas con patata y maíz. Estos hechos denotan el diferente efecto de la soja en presencia de disoluciones tamponadas con ácido acético sobre el WAC dependiendo del tipo de almidón. Los mayores efectos se observaron sobre maíz y patata y los menores sobre arroz y tapioca.

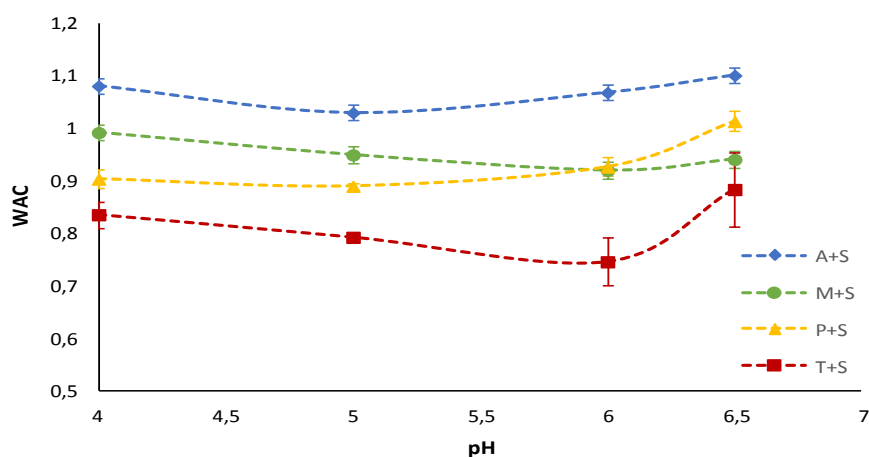


Figura 2: Efecto del pH del medio sobre el WAC de las mezclas almidón-proteína de soja para los distintos almidones estudiados.. A +S : arroz con soja; M + S:maíz con soja; P+S: patata con soja; T: tapioca con soja.

La presencia de proteína en la mezcla con almidón siempre produjo un aumento en el WAC, lo que demuestra una buena interacción agua-proteína y una elevada capacidad de retención de agua de la proteína sin desnaturalizar. De acuerdo con la Tabla 2 y la comparación de las figuras 1 y 2, los valores de WAC fueron visiblemente más altos con la adición de soja que sin su incorporación. La mezcla almidón-soja siguió presentando los mayores valores de WAC en comparación con las restantes mezclas, aunque la presencia de soja apenas incrementó su valor (entre el 1 y el 7%, respecto del valor sin proteína), mientras que al maíz y la patata la soja produjo un incremento del 14%- 20% y 10-16% (dependiendo del pH) respectivamente. La mezcla tapioca-soja presentó los valores de WAC más bajos, como ocurría en ausencia de proteína

Estos resultados tiene una importancia fundamental en los alimentos viscosos tales como sopas, salsas, productos horneados, etc, en el que una buena interacción proteína-

agua es necesaria (Abebe et al., 2015). Ryan et al., (2007) han demostrado que la proteína del gránulo de almidón nativo parece afectar a la unión de proteínas añadidas a la superficie de los gránulos cuyos datos apoyan un mecanismo de asociación en el que la proteína nativa atrae y retiene proteína añadida a la superficie de los gránulos, aumentando la cantidad de proteína capaz de unirse, y mantener esta interacción (Ryan et al., 2007).

Los valores de WAC obtenidos para los distintos almidones en medios tamponados se compararon con los valores obtenidos, en presencia o ausencia de soja, en agua destilada, que es el medio habitualmente definido para establecer esta propiedad funcional de almidones y harinas (Ver Figura 3).

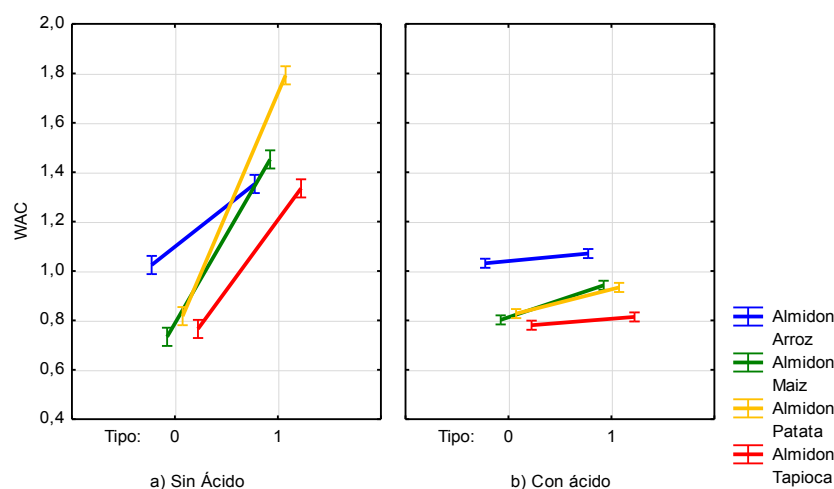


Figura3. Efecto de la incorporación de la proteína de soja. Tipo: 0= Sin Soja; 1=Con Soja. Sin Ácido: Agua; Con Ácido: los valores de los pH.

De forma general, la adición de ácido al medio afectó al WAC de los almidones. En la Figuras 3, se muestra el efecto de la presencia de proteína (sin/con ácido). La figura 3a, muestra los valores promedios de WAC obtenidos con agua destilada y en la Figura 3b conseguidos en los medios tamponados. En la Figura 3a se ve el marcado efecto de la proteína en el WAC de los almidones (mayor en patata, seguido de maíz, tapioca y arroz) mientras que en la Figura 3b, donde obtenemos una pendiente mucho menos pronunciada, vemos que la presencia de ácido modula el efecto de la proteína de soja, de forma que el aumento del WAC es muy inferior al observado en agua.

La interacción proteína-ácido juega un papel muy importante en las propiedades de los sistemas alimentarios. Ronda et al., (2014) confirma este efecto combinando la adición de ácido y el suplemento de proteínas exógenas concluyendo que la acidificación de masas de arroz con proteína añadida afecta a las propiedades reológicas de la masa lo que es de importancia relevante en el desarrollo del pan.

4.1.2. Water Absorption Index (WAI).

La Tabla 3 agrupa los valores de WAI de cada uno de los almidones, en función del pH del medio y de la adición o no de proteína de soja, el cual muestra valores con grandes diferencias (significativas, $p < 0,05$) del WAI del almidón de arroz a cada pH con respecto a los valores obtenidos para el almidón de maíz, patata y tapioca, independientemente de la presencia de proteína de soja o no.

Tabla 3. Valores medios y grupos homogéneos obtenidos para el parámetro WAI.

Water Absorption Index (WAI)								
pH	Arroz		Maíz		Patata		Tapioca	
	Sin Soja	Soja	Sin Soja	Soja	Sin Soja	Soja	Sin Soja	Soja
Agua	11,589 ^{bcE}	12,762 ^{cF}	7,307 ^{eC}	7,766 ^{cC}	4,444 ^{aA}	6,415 ^{aB}	6,940 ^{bBC}	10,638 ^{dD}
4	12,568 ^{cE}	9,310 ^{abD}	5,130 ^{aAB}	5,809 ^{abC}	4,945 ^{bA}	5,588 ^{bBC}	5,959 ^{abC}	4,816 ^{bA}
5	11,550 ^{bcE}	9,067 ^{aD}	6,059 ^{dBC}	5,195 ^{aAB}	5,192 ^{bAB}	4,736 ^{bAB}	6,317 ^{abBC}	3,488 ^{aA}
6	11,158 ^{abE}	9,510 ^{abD}	5,808 ^{cC}	6,188 ^{bC}	4,386 ^{aAB}	4,825 ^{aB}	6,055 ^{abC}	3,902 ^{aA}
6,5	10,014 ^{aD}	10,020 ^{bD}	5,470 ^{bB}	7,184 ^{cC}	4,125 ^{aA}	5,238 ^{aB}	4,622 ^{aA}	5,739 ^{cB}

Valores con letras minúsculas distintas dentro de una misma columna indican que son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$). Las letras mayúsculas distintas por filas indican que son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

En general, el almidón de arroz presenta un elevado índice de absorción de agua con respecto a el almidón de maíz, patata y tapioca, bien sea con o sin incorporación de la proteína. Sin la presencia de soja, su valor de WAI se ubica en 48% - 60% por encima de el almidón procedente de tubérculos y raíces respectivamente, dependiendo obviamente del pH. En la figura 4 vemos el comportamiento del almidón de arroz en comparación con el almidón de maíz, patata y tapioca.

El almidón de maíz, el valor WAI está a un 46% por debajo del almidón de arroz (Figura 4). Estas diferencias significativas ($p < 0,05$) del almidón de arroz con respecto a el almidón de maíz, patata y tapioca que se observa en la tabla 3, se sustentan con diversos estudios. En informes anteriores indican que estas diferencias en el WAI de almidones nativos de cereales, tubérculos y raíces puede estar relacionada con la fuente biológica, con el tamaño y la forma del gránulo (Torres et al., 2013).). De igual manera, en un estudio de las propiedades funcionales de harinas de cereales, el arroz presente un WAI aparentemente superior al resto de los cereales, en el que el almidón arroz presenta propiedades fisicoquímicas particulares que lo hace diferente al resto de los almidones (Abebe et al., 2015).

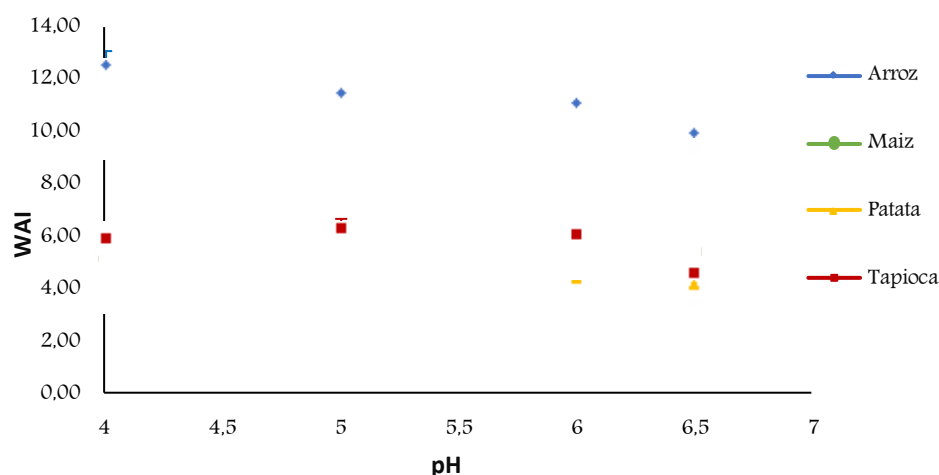


Figura 4: Efecto del pH en el WAI en los diferentes almidones.

En la Figura 5, se muestra la evolución del WAI de las mezclas almidón-proteína de soja, a una dosis de incorporación de proteína del 5%, con la evolución del pH del medio, para los distintos almidones estudiados.

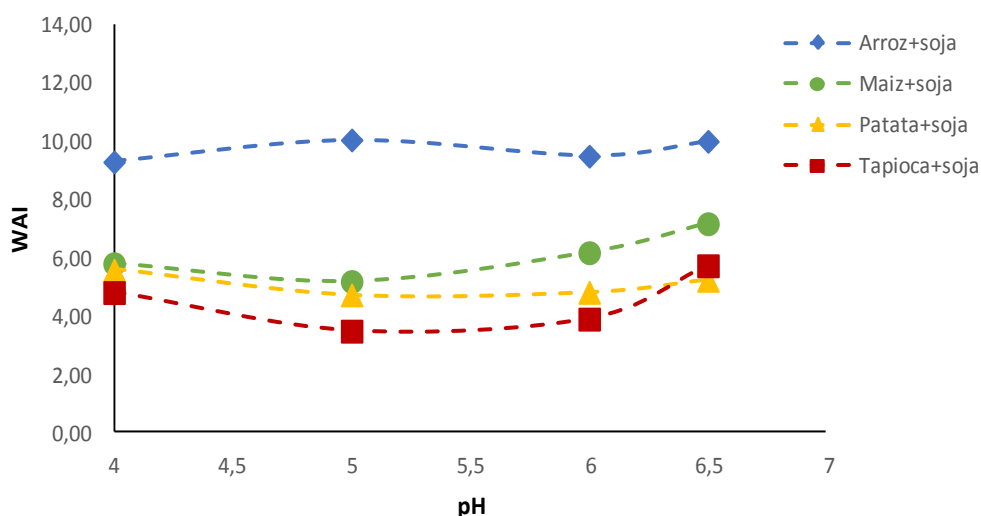


Figura 5: Efecto del pH y la adición de proteína de soja en el WAI de los diferentes almidones.

Apreciamos que existen variaciones entre cada almidón y con diferente pH. En el caso del pH 5, el almidón procedentes de cereales (arroz y maíz) disminuyó el WAI en un 13% y 15% respectivamente, con relación a la adición de soja. Asimismo, el almidón proveniente de tubérculos disminuyó en 7% con la adición de la proteína de soja. De una forma muy notable, lo constituye el almidón de tapioca cuyo valor de WAI disminuye en un 55% con la incorporación de la soja. Sin embargo, no así ocurre a pH 4, en el que ocurre variaciones en función al tipo de almidón. Puede comprobarse el efecto del pH sobre el WAI en presencia

de proteína, probablemente por el efecto que el pH ejerce tiene sobre los dos biopolímeros (almidón y proteína). En presencia de un 5% de soja los valores de WAI de todos los almidones a pH 4, 5 y 6.5 resultaron significativamente diferentes entre sí. Podemos ver en la siguiente grafica el comportamiento de cada uno de los almidones con respecto a la adición de la proteína en los diferentes pH.

El arroz siguió revelando valores superiores (hasta un 49% mayor que la tapioca), el maíz y la patata también aumentaron su valor de WAI respecto al de la tapioca que fue el almidón que en presencia de soja presentó los valores de WAI más bajos a todos los pHs estudiados. Estos hechos denotan el diferente efecto de la soja en presencia de disoluciones tamponadas con ácido acético sobre el WAI dependiendo del tipo de almidón. Los mayores efectos se observaron sobre maíz y patata y los menores sobre arroz y tapioca.

La presencia de proteína en la mezcla con almidón siempre produjo un efecto índice de absorción de agua (WAI) en el que el volumen ocupado por el almidón gelatinizado y la proteína desnaturalizada (y otros componentes después del hinchamiento en el exceso de agua) la integridad de almidón se conserva en dispersión acuosa (Abebe et al., 2015). Por otro lado, Cornejo et al (2015)., en su estudio de la propiedades funcionales de diferentes variedades de arroz, revela que la alta absorción de agua durante la cocción puede mejorar la suavidad inicial y disminuir la firmeza de pan.

De forma general, la adición de ácido o no, afectó al comportamiento del WAI en los almidones de una manera muy variada. En la siguiente figura se muestra el comportamiento del WAI con medio tamponado (con ácido) y con agua destilada (sin ácido).

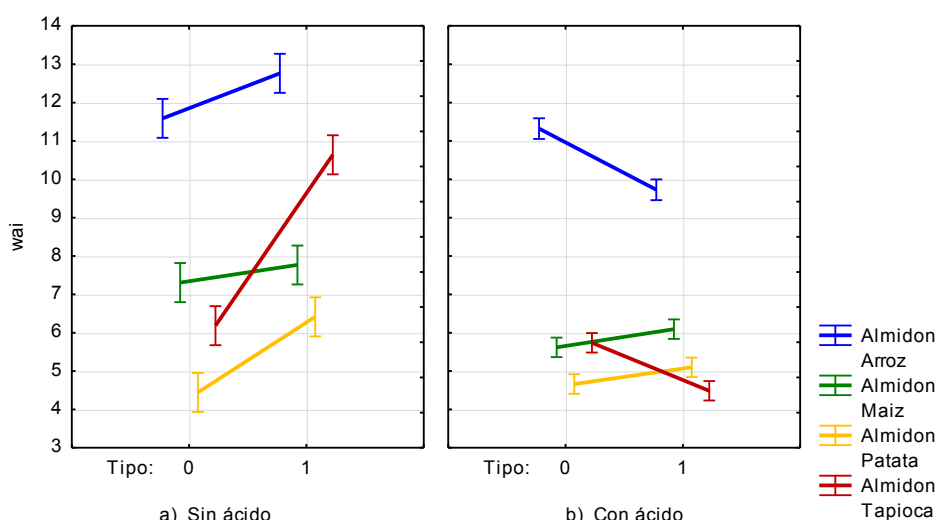


Figura 6. Efecto de la acidificación y incorporación de la proteína de soja en el WAI de los almidones. Tipo: 0= Sin Soja; 1=Con Soja. Sin Ácido: Agua; Con Ácido: los valores de los pH

En la Figura 6a, llama la atención el incremento brusco de almidón de tapioca con la adición de proteína de soja en agua destilada. En estudios realizados con ácido exponen que la acidificación provoca una inestabilidad de la estructura del almidón y sobre el complejo almidón - proteína; y es el causa de un descenso en la consistencia de las masas y que este hecho puede depender en gran medida del pH resultante en las masas después de la adición y de la naturaleza del ácido utilizado (Villanueva et al., 2014; Sruburi et al., 1999).

4.1.3. Índice de solubilidad del agua (WSI)

La variación del WSI entre los diferentes almidones se representan en la tabla 4. Los Valores de $p < 0.05$ indican que los efectos son significativos con un nivel de confianza del 95%. Observamos diferencias significativas del WSI del almidón de tapioca en comparación con el almidón de cereales y con el almidón de patata, sin adición de proteínas.

Tabla 4. Valores medios y grupos homogéneos obtenidos para el parámetro WSI.

Water Solubility Index (WSI)								
pH	Arroz		Maíz		Patata		Tapioca	
	Sin Soja	Soja	Sin Soja	Soja	Sin Soja	Soja	Sin Soja	Soja
Agua	1,596 ^{aAB}	0,738 ^{aA}	1,397 ^{bA}	3,626 ^{bC}	1,664 ^{aAB}	2,463 ^{aB}	2,570 ^{aB}	1,822 ^{aAB}
4	1,289 ^{aB}	7,708 ^{bF}	0,659 ^{aA}	1,333 ^{aB}	2,839 ^{bD}	2,160 ^{aC}	7,445 ^{bF}	4,588 ^{bE}
5	2,721 ^{aA}	9,035 ^{bcC}	4,742 ^{cAB}	4,342 ^{bAB}	6,040 ^{cBC}	2,798 ^{abAB}	8,850 ^{bC}	6,357 ^{cBC}
6	2,593 ^{aA}	9,750 ^{cD}	5,701 ^{dB}	6,628 ^{cB}	8,092 ^{dC}	8,460 ^{bC}	12,320 ^{cE}	8,434 ^{dCD}
6,5	5,309 ^{bA}	13,780 ^{dE}	7,208 ^{eB}	7,195 ^{cB}	8,678 ^{dC}	7,703 ^{bbC}	11,376 ^{cD}	11,314 ^{eD}

Valores con letras minúsculas distintas dentro de una misma columna indican que son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$). Las letras mayúsculas distintas por filas indican que son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

El WSI del almidón de tapioca aumenta en un 54% - 63% a el almidón de arroz y maíz respectivamente. De forma similar, el almidón de patata cuyo valor de WSI está a un 35% por debajo que del almidón de tapioca. También podemos observar este efecto en la figura siguiente (Figura 7).

Es notable que la curva del almidón de tapioca está por encima a las curvas correspondiente de los almidones de patata, maíz y arroz. Visiblemente la diferencia es muy marcada con respecto a los almidones de cereales. De igual manera, aunque menos acentuada, vemos un ascenso de los valores WSI de la tapioca con relación a la patata. Por otro lado, los valores de solubilidad de las muestra de almidones estudiados ascienden conforme aumentamos el valor de pH de la solución tamponada.

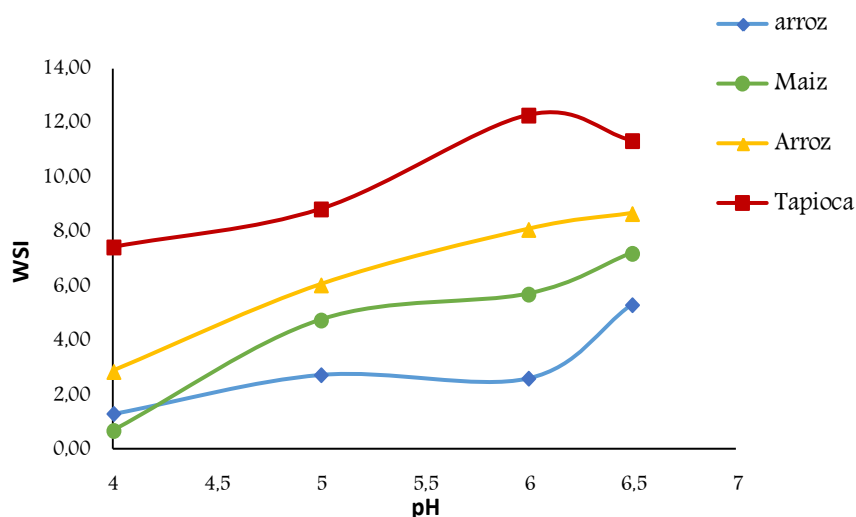


Figura 7: Efecto del pH en el WSI de los diferentes almidones.

El almidón de arroz no se vio afectado significativamente en el rango de los pHs. Resultados de Cornejo et al., (2015) se asemejan a nuestros resultados en el que el WSI del arroz oscilaban entre 1,74 - 2,94 g/g en agua destilada, por lo que podemos considerar el efecto que ejerce el pH sobre el índice de solubilidad. Falade et al., (2014) asegura que la solubilidad de los almidones se podrían atribuir a su alto contenido de amilosa. Igualmente indica el grado de asociación existente (enlace intragranular) entre los polímeros del almidón amilosa/amilopectina (Torres et al., 2013). El menor valor de WSI de los almidones de cereales (en especial el arroz) con respecto al de los almidones de tapioca y patata es posible que se deba al mayor contenido de amilopectina presente en los almidones (Ashogbon et al., 2012; Cornejo et al., 2015). Investigadores plantearon la posibilidad de que las ramificaciones laterales (amilopectina) de las moléculas del almidón y un menor tamaño del gránulo facilitan la entrada del agua a los espacios intermoleculares, aumentando la solubilidad de los polímeros, siendo la amilopectina la de mayor proporción de disolución; esto, desde luego, incide en el aumento de solubilidad de las moléculas en el agua y en la estabilidad de la viscosidad (Martinez et al., 2007; Torres et al., 2013; Schirmer et al., 2013).

La figura 8 a continuación nos revela los efectos de los medios tamponados en medios ácido y no ácido (agua destilada), en presencia y ausencia de proteína de soja. En general, la proteína condujo a un aumento del WSI de los almidones conforme aumentamos el pH. En presencia de agua (medio no ácido), los almidones presentan valores inferiores de WSI con respecto al valor de pH más alto, independientemente de incorporación o no de proteína de soja. En efecto, en ausencia de proteína, el incremento del WSI a pH 6,5 es de

un 75% - 78% con respecto a el índice solubilidad de los almidones en agua destilada. Por otra parte, en presencia de proteína de soja, el incremento sigue fluctuando en un 79% del pH 6,5 con respecto a el agua destilada.

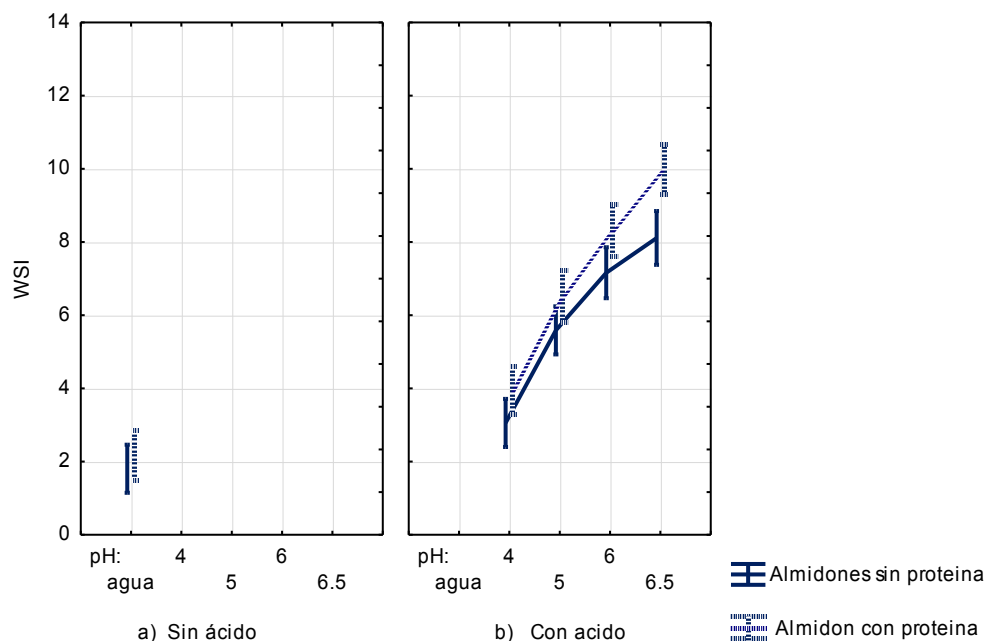


Figura8. Efecto de la incorporación de la proteína de soja en el WSI de los almidones. Los valores de pH Corresponde a un codificación, en donde: pH agua (Sin ácido); pH:4, 5, 6, 6.5. (Medio ácido). Línea punteadas(--): Almidón + soja; Línea continua (-): Almidones sin proteínas.

Con respecto a la interacción ácido - proteína, observamos en la figura 8, que tanto con el agua como con el medio ácido, la adición de proteína de soja dio valores de WSI superiores que los almidones sin presencia de soja, e incluso a medida que aumentaron los valores de pH, la diferencia entre los almidones con/sin proteína creció desde agua destilada hasta el pH más alto. Es decir, en condiciones no ácido, el incremento del WSI de los almidones en presencia proteína fue de un 16%. Mientras tanto, en el pH 6,5 el incremento fue de un 18% en presencia de proteína de soja. El contenido de proteínas, el contenido de amilosa y amilopectina, la estructura molecular del almidón (especialmente la amilopectina) y la matriz almidón - proteína inciden en la capacidad del almidón de reaccionar con agua y disolverse en ella (Cornejo et al., 2015).

3.1.4. Poder de Hinchamiento (SP).

En la tabla 5, el poder de hinchamiento de los almidones de arroz, maíz, patata y tapioca, con/sin proteína de soja, con distintos pHs y agua destilada. El almidón de arroz presentó los mayores valores para este parámetro comparado con otros almidones en todos los pH.

En todos los casos, con agua destilada, se observó un incremento de hinchamiento en los gránulos. El almidón de patata mostró la menor capacidad de hinchamiento. En estudios previos, Chen et al., (2015) demostró que la adición de aminoácidos afecta las propiedades funcionales y de empastado en el almidón de patata, afectado principalmente el poder de hinchamiento de almidón, lo que probablemente podría reducir las cargas negativas de los grupos de éster de fosfato dentro de los gránulos de almidón de patata, generando el aumento de la atracción entre las moléculas en el interior del gránulo, traduciéndose en la disminución de su poder de hinchamiento.

Tabla 5. Valores medios y grupos homogéneos obtenidos para el parámetro SP.

pH	Swelling Power (SP)							
	Arroz		Maíz		Patata		Tapioca	
	Sin Soja	Soja	Sin Soja	Soja	Sin Soja	Soja	Sin Soja	Soja
Agua	11,777 ^{bEF}	12,825 ^{bF}	7,429 ^{eCD}	8,041 ^{CD}	4,520 ^{aA}	6,577 ^{cbC}	6,339 ^{ab}	10,832 ^{dE}
4	12,732 ^{cE}	10,088 ^{abD}	5,164 ^{aA}	5,888 ^{aBC}	5,089 ^{bA}	5,712 ^{bAB}	6,440 ^{aC}	5,048 ^{bA}
5	11,876 ^{bcD}	10,719 ^{aC}	6,361 ^{dBC}	5,737 ^{aAB}	5,525 ^{cAB}	5,050 ^{aAB}	6,930 ^{aBC}	3,725 ^{aA}
6	11,596 ^{abE}	10,535 ^{abD}	6,159 ^{cC}	6,626 ^{bC}	4,770 ^{abAB}	5,270 ^{abB}	6,904 ^{aC}	4,341 ^{abA}
6,5	10,573 ^{aE}	11,618 ^{bF}	5,888 ^{bB}	7,742 ^{cD}	4,517 ^{aA}	5,675 ^{bB}	5,407 ^{ab}	6,553 ^{cC}

Valores con letras minúsculas distintas dentro de una misma columna indican que son diferentes estadísticamente a $p < 0,05$.

Las letras mayúsculas distintas por filas indican que son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

En la Figura 9 podemos visualizar el comportamiento de hinchamiento del almidón de arroz con respecto al resto de los almidones estudiados.

A modo de comparación, en estudios recientes, Cornejo et al., (2015) obtuvo resultados muy similares a los nuestros, sin dependencia del control de pH. Dichos resultados se encontraban en un rango de (10 a 12) g/g, indicando la variación en la fuerza de fuerzas de enlace asociativos dentro de los gránulos. Un alto valor de SP podría ser indicativo de fuerzas de unión débiles dentro de sus gránulos y el hecho de que es menos compacta en comparación con los otros gránulos de almidón. La diferencia en amilosa contenido en el almidón, y sus propiedades granulares, también puede haber afectado a la SP y la solubilidad de los almidones.

Por otra parte, podemos notar que grado de hinchazón, indiferentemente del pH que se trate, tiende disminuir ligeramente conforme aumentamos el valor de pH. EL SP del almidón

de arroz representó un incremento del 45% y 49% con respecto a el almidón de maíz y tapioca. Sin embargo, con relación al almidón de patata su incremento fue del 57%.

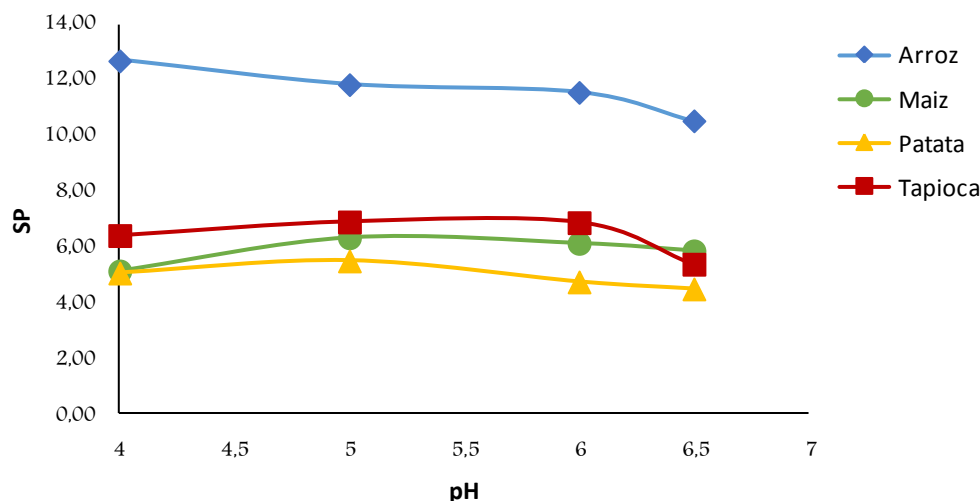


Figura 9: Efecto del pH en el SP de los diferentes almidones.

De manera contraria, la adición de proteína ejerce un efecto significativo en poder de hinchamiento, siendo en medio ácido o no. En la figura siguiente (Figura 10) podemos notar como el mayor comportamiento de hinchamiento lo sigue presentando el almidón de arroz pero se nota como la proteína ha ejercido efecto sobre el almidón de tapioca y la patata. El almidón de arroz, con la incorporación de proteína, experimenta un incremento de poder hinchamiento en un 40% y 49% para almidón de maíz y patata respectivamente, en condiciones acidas. No obstante, el aumento con respecto a la tapioca es del 54%, demostrado la interacción almidón - proteína.

El contenido de proteína en los gránulos puede ser influyente a las propiedades de hinchamiento. La proteína asociada gránulo extendió un papel importante en el proceso de hinchamiento granular según lo revelado por evidencia microscópica (Zhu, F. 2014).

La adición de ácido conlleva a una disminución del SP en todos los casos de almidones con/sin proteína de soja. En los puntos dispersos de la figura 8, correspondiente del SP con agua destilada, observamos que todos los puntos aumentan con el valor superior de pH (pH 6,5). En general el SP del agua presenta un incremento de 28 - 30 % con respecto a los valores de SP para los pH en todos los almidones. Estos no demuestra que el factor proteína - ácido juega un papel muy trascendental ya que finge las condiciones del desarrollo de la masa durante la fermentación del pan. Ronda et al., (2014) confirma este efecto combinando la adición de ácido y el suplemento de proteínas exógenas concluyendo

que la acidificación de masas de arroz en almidón proteína afecta las propiedades reológicas de la masa que es de importancia relevante en el desarrollo del pan.

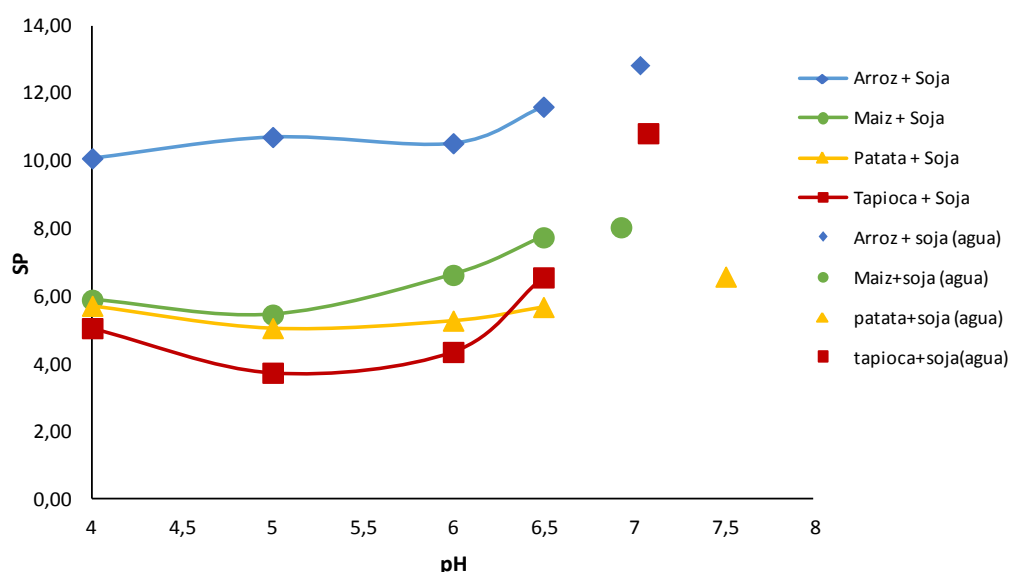


Figura 10: Efecto del pH y la proteína en el SP en los diferentes almidones. Los puntos dispersos corresponden los valores de SP del agua (medio no ácido)

4.2. Propiedades de Empastado

Se midió la viscosidad de cada uno de los almidones y mezclas en cada de uno de los valores de pH de estudio con el fin de evaluar el efecto de la proteína y la presencia/ausencia de ácido en las propiedades de empastado. Las curvas de *pasting* obtenidas (Figura 11 y 12), mostraron la evolución típica de la viscosidad de la masa durante un ciclo de calentamiento programado en el equipo RVA.

En este ensayo los gránulos de almidón absorben agua al comienzo del ciclo de calentamiento. A una determinada temperatura comienza la gelatinización con el incremento de la viscosidad de la pasta. Al mantenerse la temperatura, los gránulos comienzan a romperse, pico de máxima de viscosidad, ésta tiene a disminuir. Cuando la pasta vuelve a enfriarse el almidón se reorganiza y como consecuencia de este fenómeno, llamado retrogradación, la viscosidad vuelve a incrementarse. (Ronda et al., 2014).

En la tabla 6, aparecen los valores medios y grupos homogéneos obtenidos para los parámetros de empastado. Los efecto interactivos simples y dobles, con 95% de intervalos de confianza, se evidenció cambios significativos en cada uno de los parámetros de viscosidad de los almidones con dependencia del valor de pH, con/sin proteína de soja.

En condiciones de acidez y ausencia de proteína de soja, el pH produjo efectos en el PV del almidón de arroz, en el que a pH 6,5 (PV: 1979mPa·s) se redujo en 23% con respecto a pH 4 y 5; y en 7% respecto a pH 6. El almidón de maíz se caracterizó por presentar PV mas

alto en el pH 6, con diferencias significativas ($p < 0,05$) y con 5% por encima del PV a pH 4,5 y 6. En el almidón de tapioca el pH 6,5 ejerció un efecto significativo ($p < 0,05$), con un incremento del 13% con respecto a el PV a pH 4, 5 y 6. Por el contrario, el pH no produjo efecto significativo en el almidón de patata.

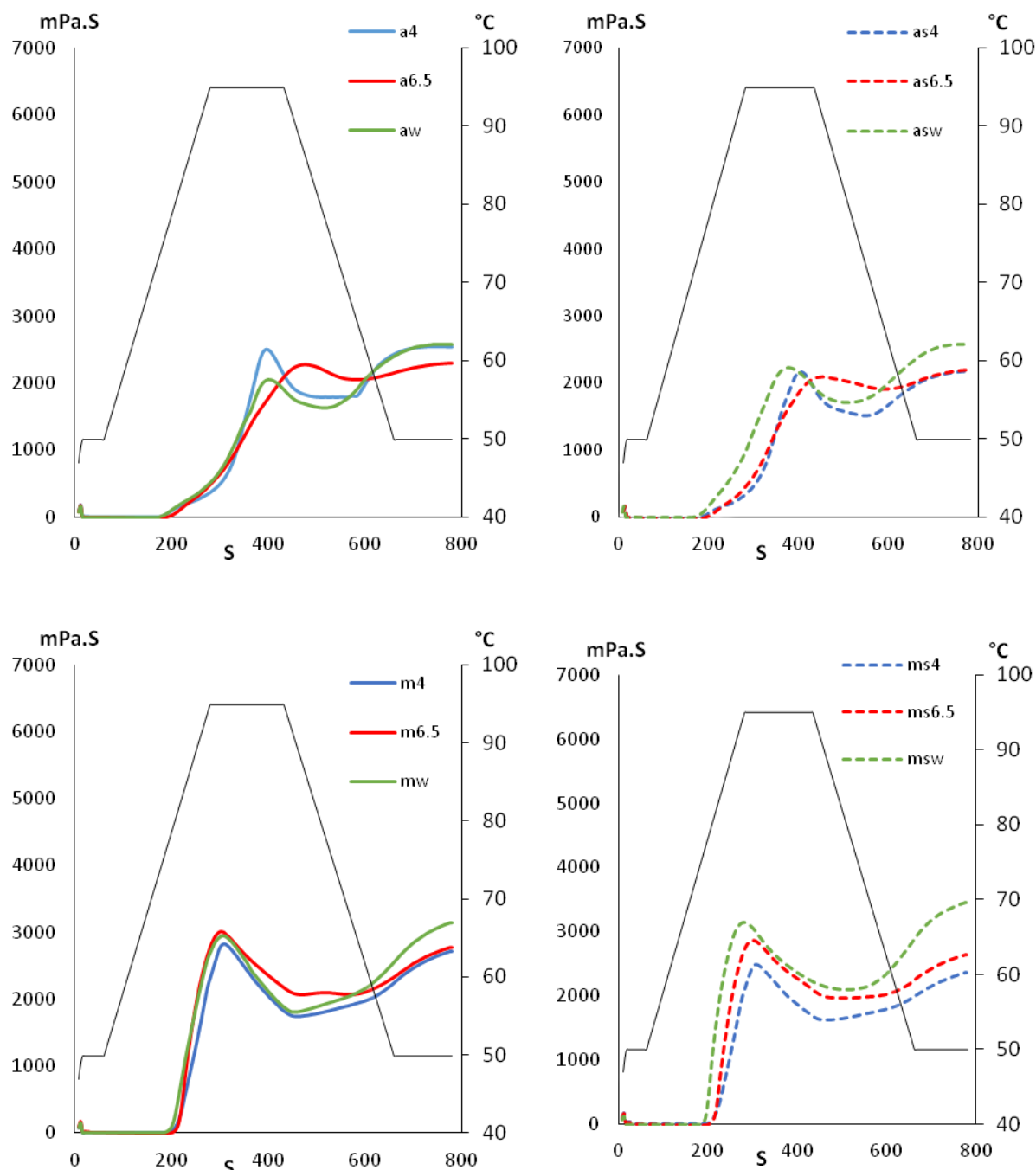


Figura 9: Efecto de la presencia de la proteína de soja y acidificación en las propiedades de empastado.
a: Almidón de Arroz; as: Almidón Arroz + soja; m: Almidón de maíz; ms: Almidón de maíz + soja;
4, 6.5, w: pH 4, pH 6.5 y agua respectivamente.

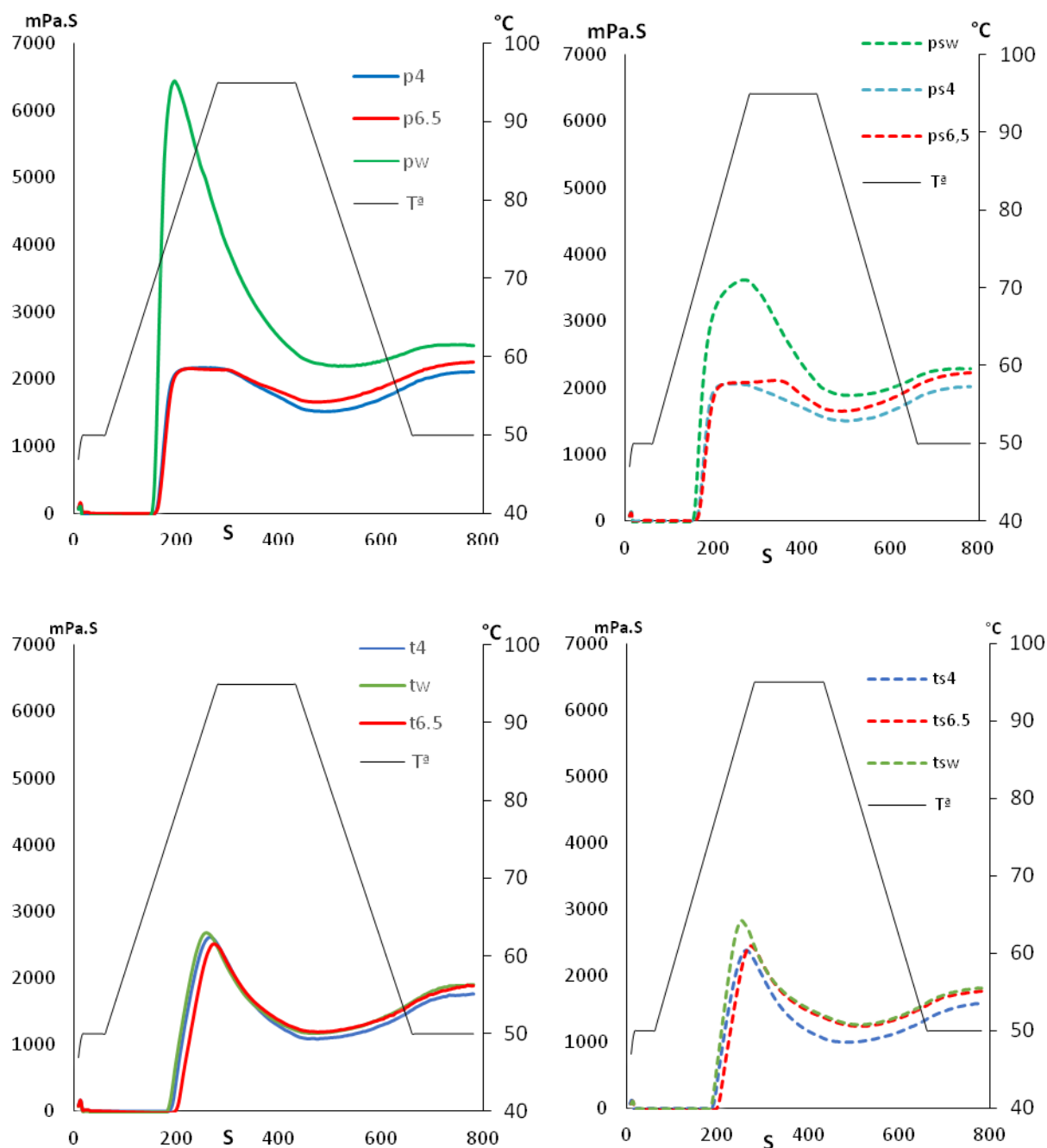


Figura 12: Efecto de la presencia de la proteína de soja y acidificación en las propiedades de empastado.
 p: Almidón de patata; ps: Almidón patata + soja; t: Almidón de tapioca; ts: Almidón de tapioca + soja; 4, 6.5, w: pH 4, pH 6.5 y agua respectivamente.

En ausencia de medio ácido, el PV de almidón de arroz es el único que se caracteriza por presentar un decremento del 11% (2053 mPa.s) en su pico de viscosidad con respecto a el PV en medio ácido. En cambio, el aumento del PV del almidón de maíz y el almidón de tapioca con agua es de 1% y 6% con respecto al PV en condiciones de acidificación. No así ocurre con el almidón de patata ya que con agua destilada su PV (2958 mPa.s) es un 66% superior al valor promedio de PV en medio ácido.

EFFECTO DEL PH Y LA PROTEINA DE SOJA EN LAS PROPIEDADES FUNCIONALES Y DE EMPASTADO DE ALMIDONES DE DE ARROZ, MAIZ, PATATA Y TAPIOCA

Tabla 6. Valores medios y grupos homogéneos para los parámetros de viscosidad

PH	Arroz		Maíz		Patata		Tapioca		
	Sin Soja	Con soja	Sin Soja	Con Soja	Sin Soja	Con soja	Sin Soja	Con soja	
PV	0	2053 ab A	2240 ab B	2958 bc E	3141 e F	6449 b H	3567 c G	2694 c C	2836 b D
	4	2525 c D	2182 ab B	2835 a F	2495 a D	2184 a B	2054 b A	2617 bc E	2382 a C
	5	2610 c C	2370 b B	2897 ab D	2601 b C	2201 a B	1881 a A	2643 bc C	2340 a B
	6	2139 b B	2066 a A	2875 ab F	2771 c E	2182 a B	2015 b A	2570 ab D	2411 a C
	6,5	1979 a A	2034 a AB	3020 c E	2864 d D	2158 a B	2114 b B	2520 a C	2459 a C
TV	0	1591 b B	1718 b C	1798 b CD	2096 d E	2196 c E	1875 c D	1183 b A	1268 c A
	4	1736 c E	1528 a C	1747 b E	1627 a D	1528 a C	1494 a C	1082 a B	998 a A
	5	1536 b CD	1487 a C	2000 a F	1818 b E	1640 b D	1489 a C	1246 c B	1115 b A
	6	1347 a B	1467 a C	2055 a F	1770 b E	1648 b D	1521 a C	1238 c A	1230 c A
	6,5	1386 a B	1514 a C	2055 a E	1961 c E	1658 b D	1646 b D	1189 b A	1247 c A
BD	0	462 a A	522 a A	1160 c B	1045 c B	4254 d E	1692 d D	1511 b C	1569 c CD
	4	789 c C	655 a B	1088 bc E	867 b D	656 c B	560 c A	1535 b G	1383 b F
	5	1075 d D	883 b C	897 a C	783 a C	561 b B	392 a A	1398 a E	1225 a D
	6	792 c C	599 a B	820 a C	1001 c D	534 ab AB	494 b A	1332 a F	1182 a E
	6,5	593 b B	521 a A	965 ab D	902 b C	500 a A	467 b A	1331 a F	1212 a E
FV	0	2577 c D	2586 b D	3136 b E	3449 d F	2508 c D	2257 c C	1915 b B	1818 b A
	4	2547 bc G	2195 a E	2723 a H	2370 a F	2118 a D	2009 a C	1763 a B	1582 a A
	5	2600 c D	2342 a C	2803 a E	2515 a D	2312 b C	2049 a B	1968 c B	1745 b A
	6	2448 b F	2226 a D	2741 a H	2507 a G	2331 b E	2117 b C	1918 bc B	1757 b A
	6,5	2300 a B	2213 a B	2778 a D	2637 c C	2254 b B	2226 c B	1874 b A	1775 b A
SB	0	986 c E	868 b D	1338 c F	1353 b F	312 a A	383 a A	731 b C	551 ab B
	4	811 a E	667 a C	976 b F	743 a D	590 b B	515 b A	681 a C	584 b B
	5	1064 d E	855 b D	804 a CD	697 a ABC	672 bc ABC	559 c A	722 b BCD	630 c AB
	6	1101 d E	759 ab D	686 a C	737 a CD	684 c CD	596 d B	681 a CD	528 a A
	6,5	914 b C	699 ab B	723 a B	675 a B	596 bc A	580 cd A	685 a B	528 a A
VT	0	6,7 a G	6,3 a F	5,1 ab E	4,7 a D	3,3 a A	4,5 ab C	4,3 a B	4,2 a B
	4	6,6 a D	6,7 b D	5,1 ab C	5,1 c C	4,3 c B	4,0 a A	4,4 b B	4,4 b B
	5	6,9 b D	6,9 c D	5,3 c C	5,2 d C	4,1 bc A	4,0 a A	4,5 c B	4,5 c B
	6	7,0 c E	7,0 c E	5,2 bc D	5,1 c CD	3,8 b A	4,6 b BC	4,5 c B	4,5 c B
	6,5	7,0 c E	7,0 c E	5,1 a C	5,0 b C	3,8 bc A	5,6 c D	4,6 c B	4,5 c B
PT	0	75,7 a D	74,6 a C	76,8 a E	75,2 a CD	67,9 a A	67,8 a A	73,8 a B	73,6 a B
	4	76,4 a C	77,0 ab C	78,4 b D	78,4 b D	69,5 b A	69,4 b A	75,3 a B	75,1 b B
	5	78,4 b ABC	83,0 b C	79,5 c BC	79,8 c BC	69,9 b AB	69,7 bc AB	68,2 a A	76,9 c ABC
	6	78,9 b C	79,6 ab C	79,0 bc C	79,5 c A	69,6 b A	70,3 c A	76,8 a B	77,0 c B
	6,5	79,4 b C	78,8 ab C	79,0 bc C	79,2 c C	69,5 b A	69,7 bc A	77,4 a B	76,8 c B

Valores con letras distintas dentro de una misma fila y de una misma columna indican que son significativamente diferentes ($p < 0,05$). PV: viscosidad del pico; TV: *Trough* o viscosidad de caída; BD: *Breakdown* o estabilidad; FV: viscosidad final; SB: *setback* o retrogradación; VT: tiempo al que se alcanza la viscosidad máxima y PT: temperatura de *pasting*.

No obstante, en presencia de proteína de soja, la acidificación aumentó significativamente el PV de todos los almidones (ver Tabla 6), excepto en el caso de la patata.

El aumento de la viscosidad durante el enfriamiento o retroceso, que normalmente se refiere a la cristalización de las cadenas de amilosa de los almidones, podría verse afectado por la reorganización de las proteínas desnaturalizadas de los aislados de proteína. La distinta naturaleza de las proteínas también podría ser responsable de que el comportamiento sea diferente (Villanueva et al., 2014). Los resultados obtenidos concuerdan con lo descrito por otros autores en similares estudios con aislado de proteínas y ácido acético (Ronda et al., 2014; Chen et al., 2014; Cornejo et al., 2014; Waterschoot et al., 2014; Villanueva et al., 2014; Huan-Lin et al., 2013; Wang et al., 2000).

La viscosidad de caída se vio afectada por la presencia de proteína y por la acidificación de la mezcla de manera totalmente análoga a lo descrito para PV. Asimismo, con similitud se observó para la viscosidad final (FV), manteniendo la particularidad el almidón de patata que presenta valores superiores con/sin proteína de soja en medio no ácido que en acidificación.

En el proceso de la retrogradación (*Setback*, SB) se observaron diferencias por efectos de pH y la adición de la proteína de soja. La presencia de ácido, sin embargo, siempre provocó un descenso en el valor del *setback* en el almidón de patata con respecto al agua, no así en el almidón de arroz, tapioca y maíz en el que el ascenso fue de 1%, 5% y 40% respectivamente. La presencia de proteína de soja por el contrario, apenas ejercieron efecto alguno.

La temperatura media de gelatinización de los almidones, en ausencia y presencia de proteína de soja, fue 77,8°C, 78,5°C; 69,3°C; 74,3°C arroz, maíz, patata y tapioca respectivamente. Vemos que el almidón mostró baja temperatura por lo que lo hace posible su inclusión en productos que no requieran temperaturas elevadas (Singh et al., 2005). Una mayor temperatura de gelatinización en almidones nativos refleja una mayor estabilidad interna del gránulo de almidón, normalmente asociada a una mayor presencia de zonas semicristalinas y a un mayor contenido de amilosa (Hiraschima et al., 2012).

5. CONCLUSIÓN

El comportamiento de los almidones en función de la acidificación y la incorporación de la proteína de soja difieren unos con otros. El almidón de arroz se caracterizó por presentar una alta capacidad de absorción de agua, mayor poder de hinchamiento y un elevado índice de solubilidad del agua con respecto al resto de los almidones tanto en ausencia como en presencia de proteína, independiente del medio en el que se realizó el ensayo.

La incorporación de proteína de soja dio lugar a diferentes comportamientos en las propiedades funcionales en función del tipo de almidón y el pH del medio. El efecto de la acidificación fue similar tanto en los almidones individuales como en las mezclas almidón - proteína. La interacción proteína-ácido hizo disminuir los valores de WAC para todos los almidones, sin embargo, el efecto en el WAI, WSI y SP dependió del tipo de almidón.

La interacción proteína-ácido favoreció perfiles de viscosidad más altos, sobre todo para el almidón de patata. La acidificación aumentó la temperatura de *pasting* para todos los almidones, con y sin proteína de soja. Se puede concluir que la adición de proteína de soja y acidificación, afectó a las propiedades funcionales y de empastado de los almidones de estudio y los resultados obtenidos podrán ser utilizados para el desarrollo de nuevos productos.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Ádina, L., Santana. A.L., Meireles A. (2014). New Starches are the Trend for Industry Applications: A Review. *Food and Public Health*, 4 (5), 229-241.
- Ashogbon, A.O; Akintayo, E.T. (2012). Morphological, functional and pasting properties of starches separated from rice cultivars grown in Nigeria. *International Food Research Journal*, 19 (2), 665-67.
- Beuchat, L. R. (1977). Functional and electrophoretic characteristics of succiny lated peanut flour protein. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 25, 258–261.
- Burrell, M.M. (2003). Starch: the need for improved quality or quantity - an overview. *Journal of Experimental Botany*, 54, 382.
- Cai, J., Cai, C., Man, J., Zhou, W., Wei, C. (2014). Structural and functional properties of C-type starches. *Carbohydrate Polymers*, 101, 289– 300.
- Chinma, C. E., Ariahu, C.C., Abu, J.O. (2014). Shelf Life Extension of Toasted Groundnuts through the Application of Cassava Starch and Soy Protein-Based Edible Coating. *Official Journal of Nigerian Institute of Food Science and Technology*. NIFOJ, 32 (1), 133 – 138.
- Cristina, Merino. (2013). Mejora de la calidad de panes sin gluten a través de la mezcla de almidones y harinas. Área de Tecnología de los Alimentos, 34004 Palencia, España.
- Copeland, L., Blazek, J., Salman, H., Tang, M.C. (2009). Form and functionality of starch. *Food Hydrocolloids*, 23, 1527–1534.
- Cornejo, F., Rosell, M.C. (2015). Physicochemical properties of long rice grain varieties in relation to gluten free bread quality. *LWT - Food Science and Technology*, 62, 1203 - 1210.
- Da Silva, M.C., Carvalcho, C.W., Andrade, C.T. (2009). The effects of water and sucrose contents on the physicochemical properties of non-directly expanded rice flour extrudates. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, Campinas, 29 (3), 661-666.
- D. Huc., A. Maignon., P. Barey., M. Desprairies., S. Mauduit., J.M. Sieffermann.(2014). Interactions between modified starch and carrageenan during pasting. *Food Hydrocolloids*, 36, 355 – 361.

- Doungjai, T., Sanguansri, C. (2006). Thermal and pasting properties of native and acid-treated starches derivatized by 1-octenyl succinic anhydride. *Carbohydrate Polymers*, 66, 258–265.
- Eliasson, A. C., Gudmundsson, M. (1996). Starch: Physico-chemical and functional aspects. *Carbohydrates in food*, 431–503.
- Eliasson, A.-C., Krog, N. (2005). Physical properties of amylose–monoglyceride complexes. *Journal of Cereal Science*, 3, 239–248.
- Falade, K.O., Semon, M., Fadairo, O.S., Oladunjoye, A.O., Orou, K.K. (2014). Functional and physico chemical properties of flours and starches of African rice cultivars. *Food Hydrocolloids*, 39, 41 - 50.
- Felicidad, R., Marina. V., Concha, C. (2014). Influence of acidification on dough viscoelasticity of gluten-free rice starch-based dough matrices enriched with exogenous protein. *LWT - Food Science and Technology*, 59, 12 - 20.
- Galus, S., Mathieu, H., Lenart, A., & Debeaufort, F. (2012). Effect of modified starch or maltodextrines incorporation on the barrier and mechanical properties, moisture sensitivity and appearance of soy protein isolate-based edible films. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 16, 148 - 154.
- Han, J. A., Lim, S. T. (2004). Structural changes in corn starches during alkaline dissolution by vortexing. *Carbohydrate Polymers*, 55, 193–199.
- Hirashima, M., Takahashi, R., Nishinari, K. (2012). The gelatinization and retrogradation of cornstarch gels in the presence of citric acid. *Food Hydrocolloids*, 27, 390 -393.
- Hoover, R. (2000). Acid-treated starched. *Food Review International*, 16(3), 369–392.
- Jasmien, W., Sara, V., Gomand, J. K., Willebrods, E. Fierens., Jan, A. Delcour. (2014). Pasting properties of blends of potato, rice and maize starches. *Food Hydrocolloids*, 41, 298-308.
- Jheng-Hua, L., Wen-Tsu, K., You-Che, T., Yung-Ho, Chang. (2013). Effect of granular characteristics on pasting properties of starch blends. *Carbohydrate Polymers*, 98, 1553 – 1560.
- Juscelino, Tovar., Mireya, F. Piedra., Adriana, B. M. (2005). Digestibilidad in vitro del almidon en preparaciones cocidas y molidas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Interciencia*, 30 (12), 780-783.
- J.R. Witono., I.W. Noordergraaf., H.J. Heeres., L. P, Janssenba. (2014). Water absorption, retention and the swelling characteristics of cassava starch grafted with polyacrylic acid. *Food Hydrocolloids*, 41, 298 – 308.
- Jyothi, A.N., Moothandasarry, S.S., Sreekumar, J.N. (2010). Hydrothermal Modifications of Tropical Tuber Starches. Effect of Heat-Moisture Treatment on the Physicochemical, Rheological and Gelatinization Characteristics. *Starch/Stärke*, 62, 28–40.
- Kaushal, P., Kumar, V., Sharma, H. K. (2012). Comparative study of physico-chemical, functional, antinutritional and pasting properties of taro (*Colocasia esculenta*), rice (*Oryza sativa*) flour, pigeonpea (*Cajanus cajan*) flour and their blends. *LWT – Food Science and Technology*, 48, 59–68.
- Kim, M., Yun, Y., Jeong, J. (2015). Effects of Corn, Potato, and Tapioca Starches on the Quality of Gluten-free Rice Bread. *Food Sci. Biotechnol*, 24 (3), 913-919.

- Lee, H.J., Han, J.A., Lim, S.T. (2009). Effect of pH on aqueous structure of maize starches analyzed by HPSEC-MALLS-RI system. *Food Hydrocolloids*, 23, 1935–1939.
- Lian, X., Zhu, W., Wen, Y., Li, L., Zhao, X. (2013). Effects of soy protein hydrolysates on maize starch retrogradation studied by IR spectra and ESI-MS analysis. *International Journal of Biological Macromolecules*, 59, 143– 150.
- Li, J.Y., Yeh, A.I., Fan, K.L. (2007). Gelation characteristics and morphology of corn starch/soy protein concentrate composites during heating. *Journal of Food Engineering*, 78, 1240–1247.
- Miranda, A.G., Montañéz, J.L., Ruiz G.I. (2008). Parcial caracterización de nuevos almidones obtenidos del tubérculo de camote del cerro. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 9 (1), 81-88.
- Mishra, S., Rai, T. (2006). Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. *Food Hydrocolloids*, 20, 557–566.
- M. Villanueva., R. R. Mauro., F. Ronda (2014). Acidification of protein-enriched rice starch doughs: effects on breadmaking. *European Food Research and Technology*, 3 - 12.
- M, Schirmer., A. Höchstötter., M. Jekle., E. Arendt., T. Becker. Physicochemical and morphological characterization of different starches with variable amylose/amylopectin ratio. *Food Hydrocolloids*, 32, 52 – 63.
- Olu-Owolabi., B.I., Olayinka, O., Adegbemile, A., Adebowale, K. O. (2014). Comparison of Functional Properties between Native and Chemically Modified Starches from Acha (*Digitaria Staph*) Grains. *Food and Nutrition Sciences*, 5, 222-230.
- Qiu, C., Li, X., Ji, N., Qin, Y., Sun, Q., Xiong, L. (2015). Rheological properties and microstructure characterization of normal and waxy corn starch dry heated with soy protein isolate. *Food Hydrocolloids*, 48, 1-7.
- Ryan, K. J., Brewer, M. S. (2005). Model system analysis of wheat starch–soy protein interaction kinetics using polystyrene microspheres. *Food Chemistry*, 92, 325–335.
- Ryan, k., Brewer, M.S. (2005). Purification and identification of interacting components in a wheat starch–soy protein system. *Food Chemistry*, 89, 109 – 124.
- Ryan, k., Brewer, M.S. (2005). Model system analysis of wheat starch-soy protein interaction kinetics using polystyrene microspheres. *Food Chemistry*, 92, 325–335.
- Ryan, K., Brewer, M.S. (2005). Model system analysis of wheat starch-soy protein interaction kinetics using polystyrene microspheres. *Food Chemistry*, 92, 325–335.
- Ryan, k., Brewer, M.S. (2007). In situ examination of starch granule-soy protein and wheat protein interactions. *Food Chemistry*, 104, 619–629.
- Sabato, S. F., Lacroix, M. (2002). Radiation effects on viscosimetry of protein based solutions. *Radiation Physics and Chemistry*, 63, 357–359.
- Sidsel, Jensen., Leif, H., Skibsted, Ulla., Kidmose, Anette., K. Thybo. (2015). Addition of cassava flours in bread-making: Sensory and textural evaluation. *LWT - Food Science and Technology*, 60, 292 – 299.

- Sriburi, P., Hill, S.E., Mitchell, J.R. (1999). Effects of l-ascorbic acid on the conversion of cassava starch. *Food Hydrocolloids*, 13, 177–183.
- Solina, M., Johnson, M.L., Whitfield, F.B. (2007). Effects of soy protein isolate, acid-hydrolysed vegetable protein and glucose on the volatile components of extruded wheat starch. *Food Chemistry*, 104, 1522–1538.
- Solina, M., Johnson, R. L., Whitfield, F. B. (2007). Effects of glucose and acid-hydrolysed vegetable protein on the volatile components of extruded wheat starch. *Food Chemistry*, 100, 678–692.
- Sun, Q. J., Xu, Y. C., Xiong, L. (2014). Effect of microwave-assisted dry heating with xanthan on normal and waxy corn starches. *International Journal of Biological Macromolecules*, 68, 86 - 91.
- Shujun, W., Les, C.(2006). Effect of Acid Hydrolysis on Starch Structure and Functionality: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55 (8), 1081-1097.
- Surendra, B.A., Parimalavalli, R. (2012). Functional and Chemical Properties of Starch isolated from Tubers. *International Journal of Agriculture and Food Science*, 2 (3), 77-80.
- Torres, R., Montero, C., Duran, L. (2013). Propiedades fisicoquímicas, morfológicas y funcionales del almidón de malanga (*Colocasia esculenta*). *Revista Lasallista de Investigación*, 10, (2), 52-61.
- V, Singh., S.Z. Ali. (2000). Acid degradation of starch. The effect of acid and starch type. *Carbohydrate Polymers*, 41, 191–195.
- Wang, H.H; Sun, D.W; Zen, Q; Lu, Y. (2000). Effect of pH, corn starch and phosphates on the pasting properties of rice flour. *Journal of Food Engineering*, 46, 133-138.
- Wenting, C., Hongxian, Z., Hong, Yang. (2015). Effects of charge-carrying amino acids on the gelatinization and retrogradation properties of potato starch, *Food Chemistry*, 167, 180-184.
- Workineh, Abebeab., Concha, Collarc., Felicidad Ronda. (2015). Impact of variety type and particle size distribution on starchenzymatic hydrolysis and functional properties of tef flours. *Carbohydrate Polymers*, 115, 260–268.
- Yotsawimonwat, S., Sriroth, K., Kaewvichit, S., Piyachomkwan, K., Jane, J.L., Sirithunyalug, J. (2008). Effect of pH on complex formation between debranched waxy rice starch and fatty acids. *International Journal of Biological Macromolecules*, 94–99.
- Yusuf, A. A., Ayedun, H., Logunleko, G. B. (2007). Functional properties of unmodified and modified Jack bean (*Canavalia ensiformis*) starches. *Nigerian food journal*, 25, (2).
- Zhu, F., (2014). Composition, structure, physicochemical properties, and modifications of cassava starch. *Carbohydrate Polymers*, 122, 456–480