



Universidad de Valladolid

ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DE DISTINTAS SUSTANCIAS COLORANTES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Curso: 2018/19

Alumno: Cristina Plaza Lafuente

Tutor: Manuel Gómez Pallarés

Co-Tutora: Ángela Bravo Núñez

Tutora externa: Mayara Belorio

Máster en Calidad, Desarrollo e Innovación de Alimentos

E.T.S. Ingenierías Agrarias, Campus de la Yutera (Palencia)

Universidad de Valladolid

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVO	6
3. MATERIAL Y MÉTODOS	6
3.1. Materiales	6
3.2. Métodos	7
3.2.1 Determinación de los porcentajes y preparación de las muestras	7
3.2.2. Propiedades de hidratación	7
3.2.3. Comportamiento viscoso	8
3.3.4. Preparación del gel.....	8
3.3.5. Textura del gel.....	9
3.3.6. Color del gel.....	9
3.3.7. Análisis estadístico	9
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	9
Propiedades de las mezclas almidón / productos vegetales	9
4.1. Propiedades de hidratación	9
4.2. Comportamiento viscoso	12
4.3. Textura	16
4.4. Color	17
5. CONCLUSIONES	20
6. AGRADECIMIENTOS.....	21
7. BIBLIOGRAFÍA.....	22
ANEXOS	25

RESUMEN

Las tendencias actuales del mercado abarcan los productos alimentarios catalogados como saludables, naturales, ecológicos y “clean label”. El presente trabajo evalúa como influyen dos sustancias colorantes novedosas y naturales, Moringa oleífera (verde) y Gac (roja) frente a dos referencias comúnmente utilizadas, espinaca y remolacha en las propiedades de hidratación, textura, color y comportamiento viscoso de los geles de pastas de almidón. Los nuevos colorantes disminuyen las propiedades de hidratación en caliente de las pastas de almidón, mientras que mantienen sus propiedades de hidratación en frío. Ambos productos no muestran diferencias importantes en las propiedades viscosas de las pastas de almidón, pero sí incrementan su dureza. Por otra parte, los nuevos geles verdes presentan tonalidades similares a las convencionales, pero el gac presenta un color más anaranjado que la remolacha.

Palabras claves:

Colorante, gac, moringa, remolacha, espinaca, almidón, propiedades fisicoquímicas

ABSTRACT

Market trends encompass food products cataloged as healthy, natural, ecological and “clean label”. The present work evaluates how two novel and natural coloring substances, Moringa oleífera (green) and Gac (red), and two colorants more commonly used (spinach and beetroot) influence the hydration properties of starch, and texture color and viscous response of starchy pastes and gels. The new dyes decreased the hoy of hot hydration properties comparing to the starch alone, but did not modify them when measured in cold. Regarding pasting properties, none of the novel dyes present significant differences with the starch alone, but texture was increased by their presence. With respect to color, the presence of moringa had a similar influence than the presence of spinach, but for red colorants differences were observed, and the presence of gac resulted in a more orange color than when using beet.

Key Word:

Coloring, gac, moringa, beet, spinach, starch, physicochemical properties

1. INTRODUCCIÓN

El color es la primera sensación que se percibe de un alimento gracias al sentido de la vista y por tanto, también es el primer atributo que se juzga de un producto. Esta cualidad se asocia a la calidad del alimento, es decir, el aspecto visual influye en la percepción sobre el resto de sus características organolépticas (Carocho et al., 2014). A menudo, el color también se relaciona con un sabor u olor específico y es considerado un factor psicológico de apreciación, ya que se trata de un criterio determinante de aceptación o rechazo al escoger un producto alimenticio (Ibáñez et al., 2003). Por consiguiente, es tal la importancia del aspecto exterior de un alimento, que actualmente colorearlos es una práctica común con el fin principal de hacerlos más atractivos para el consumidor; ya sea mediante la recuperación, la potenciación o la unificación de su color original tras haber sido procesados (García & Sanz, 2019).

Esta coloración se realiza con la adición de sustancias colorantes. Según su procedencia pueden clasificarse en colorantes de origen natural (vegetal, animal o mineral) o sintéticos. Los primeros se encuentran de manera intrínseca en una matriz, se extraen y emplean para colorear otros alimentos procesados; los segundos han sido modificados física o químicamente (Parra, 2004).

Actualmente existe un mayor interés por los colorantes de origen natural, ya que los consumidores de hoy exigen etiquetas más limpias en sus alimentos; rechazando los ingredientes identificados con un número E. Según datos de Euromonitor Internacional, ya en 2014 se emplearon 1,7 mil millones de toneladas de productos que cumplen la designación de “etiqueta limpia” en aplicación alimentaria. De estas, 22 millones de toneladas fueron añadidas únicamente con el fin de agregar un valor añadido a los alimentos, como es el caso de los colorantes naturales (Euromonitor Internartional, 2016).

Esta fuerte demanda de los últimos años junto con el desarrollo tecnológico actual han impulsado el uso de sustancias naturales con capacidades colorantes. Actualmente, los colorantes naturales representan más del 55% del mercado de colorantes para alimentos (Barba-Espin et al., 2018). Entre ellos podemos encontrar diversas especies vegetales como la remolacha y la espinaca. Estas dos plantas son muy conocidas en Europa y sus propiedades ya han sido delicadamente estudiadas y definidas.

La remolacha, *Beta vulgaris*, es cultivada en diversos países y forma parte de la alimentación europea como una hortaliza más de nuestra dieta diaria. También se usa popularmente como colorante alimentario y como planta medicinal (Chaudhari & Nikam, 2015). Es una hortaliza reconocida como promotora de la salud por contener compuestos bioactivos tales como compuestos fenólicos, betalaínas, carotenoides, nitratos, vitaminas (priman los folatos) y minerales (destacan el hierro y potasio). Además, como se puede observar en la Tabla 1, se caracteriza por ser rica en proteínas y fibra. Gracias a estos se le atribuyen potenciales efectos beneficiosos para la salud humana como poder antiinflamatorio, anticancerígeno, hepatoprotector, antidiabético, antioxidante, tratamiento de estreñimiento, ictericia, náuseas, vómitos, tuberculosis, hipotensivo, etc. (Chhikara et al., 2018; Chaudhari & Nikam, 2015).

Por otra parte, la industria agroalimentaria utiliza la betalaína, pigmento natural de la remolacha, para la obtención de colorantes; entre ellos el denominado rojo de remolacha (E-162). Su uso como colorante está actualmente muy extendido y estudiado. Se utiliza en una amplia gama de productos alimentarios tales como yogures, bebidas, helados, gelatinas, dulces, cookies, licores, carne procesada, productos horneados, mermeladas, pescados en conserva, etc. (Yanchapanta, 2011; Chaudhari & Nikam, 2015; Amnah, 2013; Barba-Espin et al., 2018).



Ilustración 1: Raíz de remolacha (*Beta vulgaris*)

Tabla 1. Composición nutricional raíz de remolacha

Composición nutricional por 100 g raíz de remolacha	
Energía (Cal)	46,0
Carbohidratos (g)	7,9
Grasa (g)	0,1
Proteína (g)	2,0
Fibra dietética total (g)	2,8
Cenizas (g)	1,4
Agua (g)	85,8

Información obtenida de Shaheen et al. (2013)

La espinaca, *Spinacea oleracea L.* es cultivada en Europa, Asia y América, siendo China el mayor productor; responsable del 85-90% del total de la producción mundial (Rodríguez et al., 2008). Es una verdura de hoja verde destacada por su alto valor nutricional y potencial colorante, debido a su elevado contenido en un pigmento verde denominado clorofila. También es altamente perecedera con pérdidas de características nutricionales y sensoriales, por lo que se está estudiando la manera más efectiva de mantener sus propiedades tras su procesamiento (congelación, deshidratación, cocción, etc.) (Pighín & Rossi, 2010). Además, las hojas son una buena fuente de fibra, minerales esenciales (sobre todo hierro y potasio), vitaminas (destacan la vitamina



Ilustración 2: Hojas de espinaca (*Spinacia oleracea*)

C, E, A y folatos) y otros fitoquímicos biológicamente activos como los carotenos, ácidos fenólicos y flavonoides (Shevkani et al., 2019; Fundación Española de la Nutrición, 2018). Todos estos compuestos son los responsables de catalogar a la espinaca como superior en términos nutricionales a la mayoría de verduras, según investigaciones recientes (Cuesta, 2018). Por otra parte, se le atribuyen propiedades antioxidantes, anticancerígenas y antimicrobianas (Shevkani et al., 2019; Cuesta, 2018). En cuanto a su utilización, a parte de su consumo en todas las variedades que le corresponden a una verdura, también es común su uso como colorante en elaboraciones a base de harinosos, como es el caso del pan, la pasta y la repostería (Sandoval & Álvarez, 2011).

Tabla 2: Composición nutricional hoja de espinaca

Composición nutricional por 100 g de hoja de espinaca	
Energía (Cal)	26
Carbohidratos (g)	0,9
Grasa (g)	0,5
Proteína (g)	3,0
Fibra dietética total (g)	2,9
Cenizas (g)	2,0
Agua (g)	90,8

Información obtenida de Shaheen et al. (2013)

Sin embargo, existen otras especies vegetales con un potencial colorante que todavía no han sido estudiadas en profundidad, como son la moringa y el fruto gac, que además de poseer poder colorante cuentan con unas propiedades nutricionales beneficiosas que actualmente apenas se conocen en países europeos, como es el caso de España (Downham & Collins, 2000).

La *Moringa oleifera*, de la familia Moringaceae, es un árbol caducifolio originario del Himalaya (norte de la India), aunque actualmente se cultiva por todo el trópico y subtropico (Moyo et al., 2011). Se conoce por diferentes nombres como moringa, árbol de la vida, árbol milagroso, árbol de la esperanza, regalo natural o mejor amigo de la madre (Leone et al., 2015). Estos nombres hacen referencia a las múltiples propiedades tanto nutritivas como terapéuticas, que se le atribuyen a la especie. Desde hace milenios, esta planta se ha usado como tratamiento o remedio para una amplia gama de enfermedades. Se le achacan propiedades antiulcerosas,



antiinflamatorias, antibióticas, hipocolesterolemiantes, hipoglucemiantes, antiespasmódicas, antihipertensivas, antioxidantes y antibacterianas

Ilustración 3: Hojas de *Moringa oleifera* sin flor

(Martín et al., 2013; Bonal et al., 2012; FAO, 2018). Por otra parte, se ha demostrado que las hojas actúan como antiinflamatorio vascular, ayuda a controlar la Diabetes Mellitus tipo 2, disminuyen la fatiga muscular, tiene propiedades antimicrobianas, propiedades antioxidantes en esteatosis hepática y también cumple la función de antiséptico de manos (Doménech et al., 2017). La revisión de Stohs & Hartman (2015) concluye reafirmando el poder antihiper glucémico, antilipídico y antioxidante de las hojas de moringa en polvo mediante diferentes estudios realizados en sujetos humanos. Otras referencias también lo indican contra el dolor de cabeza, las hemorroides, la fiebre, el dolor de garganta, bronquitis, infecciones óticas y oculares, escorbuto, catarro, control de niveles de glucosa y de la inflamación glandular (Bonal et al., 2012; FAO, 2018).

Crece en condiciones áridas y soporta periodos de sequías, siendo una especie resistente que requiere poca atención hortícola, su crecimiento es rápido y alcanza con facilidad hasta 10-12 metros de altura (Bonal et al., 2012; Folkard & Sutherland, 1996). La principal ventaja es el aprovechamiento del árbol en prácticamente su totalidad; hojas, frutos, flores, corteza, semillas y raíces, ya sea para uso alimentario (alimentación animal o humana), medicamentoso o fines industriales (Martín et al., 2013).

La *Moringa oleifera*, en especial las hojas, presentan unas cualidades nutritivas excepcionales. Son buena fuente de proteína, como se muestra en la Tabla 3 y además contiene aminoácidos esenciales como la histidina. También destacan por su alto contenido en calcio, potasio, vitamina A (β -carotenos), vitamina C, vitamina B2 y antioxidantes. Además, presenta niveles significativos de hierro, fósforo y magnesio (Anwar et al., 2007; Leone et al., 2015; Del Toro et al., 2011; Moyo et al., 2011). Estas características excepcionales la hacen idónea para la alimentación en países donde no resulta sencillo cumplir los requerimientos nutricionales diarios. Las preparaciones culinarias de las hojas de moringa se realizan tanto en crudo como cocinadas, con el fin de prevenir y tratar patologías asociadas a deficiencias nutricionales. La FAO promueve el uso de la moringa en un programa especialmente destinado a la malnutrición en población infantil y madres gestantes o lactantes.

Tabla 3: Composición nutricional hoja de moringa

Composición nutricional por 100 g hoja de moringa	
Energía (Cal)	43
Carbohidratos (g)	5,1
Grasa (g)	0,2
Proteína (g)	2,9
Fibra dietética total (g)	4,8
Cenizas (g)	1,9
Agua (g)	85,2

Información obtenida de Shaheen et al. (2013)

Actualmente, se está estudiando la incorporación de la moringa como un ingrediente más en diferentes alimentos con el fin de hacer llegar sus propiedades beneficiosas al consumidor. Ya sea usa como un conservante y/o antioxidante (productos cárnicos) o para ampliar las propiedades nutricionales (pan y galletas) (Doménech et al., 2017). Su función como colorante alimentario todavía no ha sido planteada fuera de la cocina casera, ni tampoco investigada científicamente.

La *Momordica cochinchinensis* Spreng, es una enredadera de hoja caduca perteneciente a la familia Cucurbitaceae. Es originaria de Vietnam, pero su cultivo se extiende por Asia meridional y sudoriental. El fruto de esta planta, también conocido como calabaza de cochinchin, calabaza amarga espinosa, calabaza dulce o melón rojo, hacen referencia a su morfología, aunque su nombre más común es “Gac” (Le et al., 2018).

El fruto maduro se compone de la cáscara con espinas en la superficie, la pulpa anaranjada y las semillas que están rodeadas de una membrana roja aceitosa; el arilo. Este último es el componente más valioso de la fruta por sus cualidades nutricionales y pigmentos colorantes, aunque supone una escasa proporción de la fruta (<30%) (Chuyen et al., 2015).



Ilustración 4: Fruto gac y sus semillas rodeadas del arilo rojo característico

Tradicionalmente, este fruto ha ido destinado a fines médicos y alimentarios en Asia. Comúnmente se consume como fruta fresca, pero también en polvo como colorante, en aceites como aditivo natural o como ingrediente funcional o farmacéutico debido a su amplias cualidades nutricionales beneficiosas (Purnomo et al., 2018).

Todas las partes del gac tienen utilidad debido a sus componentes nutricionales. La cáscara y la pulpa contienen cantidad significativas de carotenoides, en especial luteína que se usa como tratamiento en enfermedades oculares (Chuyen et al., 2015). Las semillas, se han utilizado en la medicina tradicional con diferentes propiedades curativas en varias enfermedades como trastornos del hígado y del bazo, hemorroides, heridas, moretones, hinchazón, pus, mastitis, forúnculos y piodermas (Chuyen et al., 2015; Le et al., 2018). Por otra parte, Yu et al. (2017) estudió el alivio en los espasmos musculares, dolor reumático, hemorroides y hematomas. Además, también se consideró reductor de accidentes cerebrovasculares y preventivo de la deficiencia de vitamina A. En un reciente estudio de Le et al. (2018) se han determinado los componentes bioactivos de las semillas: inhibidores de la tripsina (posee actividad antioxidante, antiinflamatoria y antibacteriana), saponinas (gastroprotector, actividades antiinflamatorias, anticancerígenas y antitumorales) y compuestos fenólicos.

Tabla 4: Composición nutricional pulpa gac

Composición nutricional por 100 g pulpa gac	
Energía (Cal)	151
Carbohidratos (g)	30,4
Grasa (g)	0,4
Proteína (g)	5,6

Fibra dietética total (g)	1,5
Cenizas (g)	2.0
Agua (g)	60,1

Información obtenida de Shaheen et al. (2013)

El arilo contiene una gran cantidad de carotenoides, en especial licopeno y β -carotenos como se muestra en la *Tabla 2* y ácidos grasos esenciales, 22% del arilo son ácidos grasos (ácido oleico, palmítico y linoleico) (Müller-Maatsch et al., 2017; Chuyen et al., 2015).

Tabla 5: Composición de carotenoides en el arilo de gac

Carotenoides en 100 g arilo:	
Licopeno	> 300 mg
B-carotenos	> 140 mg
Vitamina E	> 2911 (UI/kg)

Información obtenida de etiquetado del producto utilizado en el presente estudio (Gac Viet Company)

Como se ha comentado anteriormente, estas dos últimas plantas tienen un poder colorante destacable en estudio junto con unas propiedades nutricionales exquisitas. El Gac se emplea como un colorante alimentario en ciertas regiones de Asia, pero en el caso de la moringa aún no se ha planteado este uso a nivel industrial. En el presente trabajo se estudiará el comportamiento de la Moringa oleífera en polvo y del arilo de Gac en polvo al adicionarse a almidón de maíz en diferentes proporciones. Se establecerán así sus propiedades y se compararán con los colorantes naturales más usados actualmente en el sector de los cereales en España; los cuales son el polvo de espinaca y remolacha para conseguir tonalidades verdes y rojizas respectivamente.

2. OBJETIVO

El objetivo del presente estudio se centra en investigar los efectos de productos vegetales colorantes, la moringa y la espinaca (tonos verdes) y la remolacha y el arilo de gac (tonos rojizos), sobre las propiedades de las pastas y los geles de almidón de maíz (hidratación, viscosidad, textura y color). La sustitución de almidón por estos productos colorantes se estudió con concentraciones de 0, 2,5 y 5%. De esta manera se estudiará la influencia de las especies con tonalidades similares, con el propósito de introducir la moringa y el gac como nuevos colorantes naturales en productos alimentarios a base de almidón.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Materiales

El almidón de maíz fue suministrado por Syral Iberia S.A.U (Zaragoza, España). En el caso de los productos vegetales colorantes; la espinaca en polvo fue suministrada por Altaquímica S.A. (Barcelona, España), la moringa oleífera en polvo por Coperblanc Zamorana (Zamora, España), la remolacha en polvo por Mekong Herbals Corporation (Ho Chi Minh, Vietnam) y el polvo de gac por Gac Viet Company (Ho Chi Minh, VietNam).

3.2. Métodos

3.2.1 Determinación de los porcentajes y preparación de las muestras

En primer lugar, se realizaron pruebas con el objetivo de encontrar la mínima cantidad de colorante vegetal que confiriese al almidón un color visualmente apreciable. Para ello se realizaron mezclas de colorante y almidón a diferentes concentraciones. Se partió de un 1% de colorante y se fue incrementando hasta finalmente establecer como límite inferior de detección de color la concentración de 2,5%.

En cuanto a la preparación de las muestras finales, éstas se realizaron sustituyendo un 2,5 o un 5% del almidón por cada colorante, con un posterior mezclado en seco. Para el estudio del color también se analizó únicamente el colorante (100%). Se obtuvieron un total de ocho mezclas (dos por colorante) más el control y los colorantes puros, como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6: Composición de las muestras (colorante y/o almidón)

Especie vegetal colorante (Muestras)	Porcentaje de colorante en mezcla	Porcentaje de almidón en mezcla
<i>Control (C)</i>	0%	100%
<i>Moringa (M1)</i>	2,5%	97,5%
<i>Moringa (M2)</i>	5%	95%
<i>Moringa (M3)</i>	100%	0%
<i>Espinaca (E1)</i>	2,5%	97,5%
<i>Espinaca (E2)</i>	5%	95%
<i>Espinaca (E3)</i>	100%	0%
<i>Gac (G1)</i>	2,5%	97,5%
<i>Gac (G2)</i>	5%	95%
<i>Gac (G3)</i>	100%	0%
<i>Remolacha (R1)</i>	2,5%	97,5%
<i>Remolacha (R2)</i>	5%	95%
<i>Remolacha (R3)</i>	100%	0%

Elaboración propia

3.2.2. Propiedades de hidratación

En este estudio las propiedades de hidratación de las muestras se caracterizaron mediante la determinación de la capacidad de retención de agua en reposo (WHC), el volumen de hinchamiento (SV), la capacidad de fijación de agua tras un proceso de centrifugación (WBC) y el índice de absorción de agua (WAI), tras un calentamiento.

Para conocer tanto la WHC y el SV, se añadieron 100g de agua destilada a 5 g (± 0.01 g) de cada una de las distintas muestras (Ms) (Anexo 1). Se dejaron hidratar durante 24 h. Después, se pesó la muestra hidratada (Mh) tras haber decantado lentamente sobre otro recipiente el sobrenadante y se estimó la capacidad de retención de agua en reposo mediante la *ecuación 1*, expresando los valores en gramos de agua por gramos de sólido.

$$\text{Ecuación 1: } WHC (g/g_0) = (Mh - Ms)/Ms$$

Para el SV, los valores se expresan en mililitros de la muestra hidratada por gramo de muestra como refleja la Ecuación 2. Este procedimiento se llevó a cabo mediante la realización de una medición volumétrica con la graduación de la probeta, antes y después de la hidratación (Martínez et al., 2015).

$$\text{Ecuación 2: } SV(ml/g) = Vh/Ms$$

La WBC se estimó añadiendo 25 g de agua destilada a 5 g (± 0.01 g) de cada una de las distintas muestras (Tabla 4). Las muestras se centrifugaron durante 10 minutos a una velocidad de 3000 rpm. Tras eliminar el agua sobrante, se pesó el sobrenadante y se estimó WBC mediante la ecuación 3.

$$\text{Ecuación 3: } WBC (g/g_0) = g \text{ de agua retenida} / g \text{ de muestra seca}$$

Por otra parte, para determinar el WAI, al igual que en los ensayos anteriores, se añadió a cada una de las muestras de 5 g (± 0.01 g) 30 ml de agua destilada (Tabla 4). El proceso consistió en calentar y agitar las muestras en Eppendorf ThermoMixerC a 90 °C, 6000 rpm, durante 15 minutos. A continuación, se sometieron a centrifugación durante 10 minutos a velocidad de 3000 rpm, sin calentamiento. Por último, se pesaron los sólidos sedimentados, tras la eliminación del agua sobrante y se halló el Índice según la ecuación 4 (Kaur & Singh, 2005).

$$\text{Ecuación 4: } WAI (g/g_0) = g \text{ de agua retenida} / g \text{ de muestra seca}$$

Todas las pruebas de propiedades de hidratación se realizaron por duplicado, es decir, cada muestra se repitió dos veces para su posterior análisis.

3.2.3. Comportamiento viscoso

Las propiedades de viscosidad de las muestras se determinaron utilizando un Rapid Visco Analyser (Modelo RVA4C, Newport Scientific Pty. Ltd., Warriewood, Australia). La suspensión se preparó dispersando 3,5 g ($\pm 0,001$ g) de cada una de las muestra en 25 g de agua destilada (Anexo 1).

Las muestras se sometieron a un ciclo de calentamiento-enfriamiento que se detalla a continuación: 50°C durante 1 minuto, seguido de un incremento a 95 °C a una velocidad de 12 °C/min. Una vez alcanzada dicha temperatura, se mantuvo durante 2 min y 30 s, seguido de un enfriamiento hasta 30°C a una velocidad de -12 °C/min. Una vez alcanza dicha temperatura se mantuvo durante 4 min. Durante todo el experimento la velocidad de rotación de la pala se mantuvo a 160 rpm, a excepción de los primeros 10 s en los que dicha velocidad fue de 960 rpm (Martínez et al., 2015). Se evaluaron las muestras con tres repeticiones cada una.

3.3.4. Preparación del gel

Los geles se elaboraron con las pastas obtenidas de los ensayos del RVA descrito en el apartado anterior. Además, se elaboraron muestras con una concentración del 100% para cada colorante con la finalidad de estudiar su comportamiento tras sufrir el mismo ciclo térmico que las mezclas. Las pastas obtenidas en el ensayo del RVA se traspasaron a unos recipientes plásticos, transparentes y cilíndricos de 35 mm de diámetro interno y 20 mm de altura y se dejaron enfriar a temperatura ambiente durante 1 h. Posteriormente, se mantuvieron en refrigeración a 4 °C durante 24 h. Trascorrido este tiempo, las muestras se atemperaron

durante una hora de manera previa a la determinación del color y la textura (Martínez et al., 2015).

Loa geles para cada una de las muestras se elaboraron por duplicado.

3.3.5. Textura del gel

Para la medición de la textura, los geles se dejaron reposar una hora a temperatura ambiente antes de su medición. La textura se determinó haciendo uso de texturómetro TA.XT2i Texture Analyzer (Stable Micro Systems Ltd., Surrey, RU). La carga empleada fue de 5 kg para la calibración de la fuerza, y se empleó un plato de compresión de aluminio de 50 mm de diámetro. Cada muestra se sometió a un ciclo de compresión a una velocidad constante de 5 mm/s, con una fuerza de contacto de 5 g seguido de un retorno a la posición original y después una segunda repetición del ciclo. De esta manera se obtuvo una curva fuerza-tiempo a partir de la cual se calculó la dureza; definida como la máxima fuerza necesaria para obtener una deformación determinada.

Se realizaron y evaluaron las nueve muestras por duplicado.

3.3.6. Color del gel

Para determinar el color de las diferentes muestras, se utilizó un espectrofotómetro Minolta CN-508i (Minolta, Co. LTD, Tokio, Japón) utilizando el D65 como iluminante patrón y un 2º observador estándar. Los resultados obtenidos fueron expresados en el espacio de color CIE $L^*a^*b^*$, donde a^* y b^* son las coordenadas cromáticas y L^* la luminosidad. También se expresan en el espacio CIEL*C*h donde L^* sigue siendo la luminosidad, C^* representan el croma o saturación y h el tono o matriz. Ambos cuentan con el mismo diagrama, pero L^*C^*h se emplea más en el ámbito industrial. Para la determinación del color, se realizaron y evaluaron las muestras por duplicado.

3.3.7. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza simple (ANOVA) para determinar las diferencias de los promedios obtenidos de las muestras. El método que se empleó para establecer las diferencias mínimas significativas fue el test LSD de Fisher, con un intervalo de confianza del 95%. Empleando para ello el software Statgraphics 18-X64 (Statpoint Technologies, Inc., Warrenton, Virginia, USA).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades de las mezclas almidón / productos vegetales

4.1. Propiedades de hidratación

- Especies colorantes verdes

Los resultados obtenidos para las muestras de moringa y espinaca de los diferentes ensayos de hidratación, tanto en frío como en caliente, se presentan en la Tabla 7.

Con respecto a las propiedades de hidratación en frío, se observa que sustituir almidón por cualquiera de los colorantes verdes (moringa y espinaca) resulta en un incremento significativo de WHC, SV y WBC a medida que se aumenta el porcentaje de los mismos en las mezclas. Estas propiedades de hidratación están fuertemente correlacionadas con el poder de hinchamiento de las moléculas de almidón. Según Saleh et al. (2016), las fibras procedentes de productos vegetales, como la celulosa y sus derivados, son algunos de los compuestos responsables de este hinchamiento en frío. La moringa y la espinaca (Tabla 2 y 3) son especies ricas en fibras, lo que justificaría el aumento en la retención de agua.

Por otra parte, al comparar la capacidad de absorción y retención de agua en reposo (WHC) frente a someter a la muestra a centrifugación (WBC) observamos que la diferencia es prácticamente nula, siendo levemente superior el mantenimiento en reposo. También se corrobora el incremento de absorción a mayor sustitución de almidón, mediante los datos obtenidos del volumen de hinchamiento (SV), los cuales muestran diferencias significativas con respecto al control cuando la muestra tiene un 5% de las sustancias colorantes.

Por último, no se encontraron diferencias significativas entre la moringa y la espinaca para los parámetros de hidratación en reposo (WHC). En cambio tras la centrifugación sí existen ligeras diferencias, siendo mayor el incremento en el caso de la espinaca.

Tabla 7: Propiedades de hidratación de las diferentes muestras

Muestras	WHC	SV	WBC	WAI
Control	0,8± 0,02a	1,5± 0,06a	0,74± 0,01a	5,31± 0,34f
M1	0,9± 0,01cd	1,6± 0,0ab	0,76± 0,01b	3,36± 0,25a
M2	0,9± 0,01e	1,7± 0,1bc	0,82± 0,01d	3,11± 0,01a
E1	0,8± 0,04bc	1,6± 0,06ab	0,81± 0,01d	4,6± 0,81bcd
E2	0,9± 0,00de	1,7± 0,1bc	0,86± 0,01f	4,15± 0,27b
G1	0,8± 0,01ab	1,8± 0,0cd	0,77± 0,00c	4,72± 0,00cde
G2	0,9± 0,01e	1,9± 0,1de	0,78± 0,00c	4,31± 0,30bc
R1	1,0± 0,03f	1,8± 0,0cd	0,8± 0,01e	5,04± 0,10def
R2	1,1± 0,04g	2± 0,2e	0,9± 0,01g	5,21± 0,02ef

Valores medios ± SD (desviación estándar) seguidos por la misma letra en la misma columna no presentan diferencias significativas ($p \leq 0,05$). WBC (Capacidad de fijación de agua), WHC (Capacidad de retención de agua), SV (Volumen de hinchamiento), WAI (Índice de absorción de agua). M1 (Moringa 2,5%), M2 (Moringa 5%), E1 (Espinaca 2,5%), E2 (Espinaca 5%), G1 (Gac 2,5%), G2 (Gac 5%), R1 (Remolacha 2,5%), R2 (Remolacha 5%).

En el caso de las propiedades de hidratación tras el calentamiento, se observa que a medida que se incrementa el porcentaje de colorante el índice de absorción de agua (WAI) disminuye de manera significativa con respecto al control, como ocurre en el estudio de Chhikara et al., 2018 al adicionar polvo de remolacha al almidón. Esta disminución del WAI puede deberse a la aparición de fibra en las mezclas ya que al interaccionar con los polímeros de almidón reduce el número de enlaces disponibles para inmovilizar el agua Chhikara et al. (2018). Además, la presencia de mayor cantidad de proteína también forma enlaces proteicos intra e intermoleculares con la amilosa y la amilopectina del almidón y con la fibra; lo que también conduciría a una disminución del WAI (Shevkani et al., 2019). La disminución fue mayor en el caso de la moringa que en el de la espinaca, esto se puede deber a que la moringa presenta un

mayor contenido de fibra y proteína (Tablas 2 y 3). Por otra parte no existen diferencias significativas entre la sustitución de 2,5% y del 5% en ambos colorantes. Aunque si existen diferencias significativas con respecto al control y también entre la moringa y la espinaca.

- Especies colorantes rojas

Al igual que en el caso de los colorantes verdes, las muestras con gac y las muestras con remolacha, también presentan un incremento significativo de WHC, WBC y SV al sustituir parte del almidón por dichos colorantes (Tabla 7). Además, en ambos casos el incremento es notablemente mayor con respecto al control. Este aumento se debe principalmente al contenido en fibra de los colorantes. Cuanto mayor es el porcentaje de sustitución, mayor es el incremento de las propiedades de hidratación en frío. La remolacha contiene más fibra que el gac (Tablas 1 y 4) y cómo podemos apreciar en la tabla anterior también es la que más aumenta el valor numérico de estas propiedades de hidratación.

Al comparar la capacidad de absorción y retención de agua en reposo (WHC) frente a someter a la muestra a centrifugación (WBC) se presentan diferencias notables, siendo superior la retención de agua en reposo. Esto ocurre en ambas muestras, pero las muestras con remolacha constatan una mayor diferencia entre el WBC y WHC. También se confirma el incremento de absorción a mayor sustitución de almidón, mediante los datos obtenidos del volumen de hinchamiento (SV) y la mayor notoriedad de esto en el caso de la remolacha frente al control. Por otra parte, no existen diferencias significativas para SV entre las muestras de remolacha y gac cuando las comparamos entre ellas a las mismas concentraciones.

Por último, con respecto a las propiedades de hidratación tras el calentamiento, comprobamos que a medida que se incrementa el porcentaje de colorante el índice de absorción de agua (WAI) disminuye de manera significativa con respecto al control en el caso de las muestras con gac. Sin embargo, en el caso de la remolacha, aunque también disminuye, estos valores son más cercanos al control y no constatan diferencias significativas. Por lo que ocurre lo contrario que en las propiedades de hidratación en frío. En el estudio Chhikara et al. (2018) al sustituir almidón por remolacha se sigue la misma tendencia pero ésta está más acentuada ya que la cantidad de remolacha que utilizan es mayor. Como se comentó anteriormente la disminución de WAI se debe al incremento en las mezclas de proteína y fibra, ya que sus interacciones influyen negativamente en la absorción de agua en caliente (Chhikara et al., 2018). Por esto resultaría lógico que el gac presente menor WAI, ya que es el colorante que contiene menos fibra en su composición. Además, también es el que contiene más cantidad de proteína (Tabla 4) y por tanto mayor facilidad para formar enlaces con el almidón y en consecuencia obtener dicha disminución del Índice de absorción de agua (Shevkani et al., 2019). Por otra parte no existen diferencias significativas entre la sustitución de 2,5% frente al 5% para ambos colorantes, ni tampoco entre el gac y la remolacha, excepto en la muestra G2 que difiere con el resto.

4.2. Comportamiento viscoso

- Especies colorantes verdes

Tras realizar el ensayo de calentamiento y enfriamiento de la muestra en el equipo RVA podemos extraer los siguientes datos sobre la viscosidad de la muestra y la influencia de los colorantes: Peak Viscosity (PV) indica la viscosidad máxima alcanzada durante la gelatinización; Peak Time (PT) es el tiempo que tarda en alcanzarse esa viscosidad máxima; Trough Viscosity (TR) la caída de la viscosidad o viscosidad mínima tras el pico; Breakdown (BR) es la estabilidad del gránulo tras la gelatinización (diferencia entre la viscosidad máxima y la mínima); Final Viscosity (FV) y Setback (ST), también conocida como retrogradación, que es la viscosidad final menos TR (Crosbie & Ross, 2007).

Los resultados del comportamiento viscoso de las muestras están representados en los Gráficos 1 y 2. En el Anexo 2 también pueden consultarse los valores numéricos de este ensayo. Como se puede observar las curvas resultantes tienen una forma muy similar a la del comportamiento típico de un almidón, a excepción de las muestras que contienen únicamente colorante, las cuales analizaremos por separado ya que no se comportan como un pasta o gel.

La gelatinización permite observar como el pico máximo de viscosidad (PV) no varía significativamente al incrementar la concentración de colorante, por lo que podría deducirse que estos colorantes no afectan la disponibilidad de agua requerida por los gránulos de almidón para que ocurra el proceso de gelatinización (Martínez et al., 2015). El tiempo necesario hasta alcanzar este pico tampoco presenta diferencias significativas en las muestras.

Tras alcanzar el PV, las pastas presentaron una caída en su viscosidad, debido a la ruptura de los gránulos de almidón. En el caso de las muestras con moringa, trough viscosity (TR) presenta valores más pequeños según se incrementa la proporción de colorante, llegando a disminuir $700 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$. Por lo tanto, al mantener el PV y disminuir TR, el breakdown se ve incrementado según se aumenta la concentración de colorante. Esto coincide con el estudio de Martínez et al. (2015), en el cual el breakdown es más pronunciado en las combinaciones con hidrocoloides/fibras, frente al control (harina). Podríamos aplicar este estudio a nuestro caso ya que entre los componentes de los colorantes destaca una cantidad de fibra dietética importante. Esta fibra está constituida por hidratos de carbono no digeribles (celulosa, hemicelulosa y pectina) y también lignina, es por tanto deducible que los colorantes pueden añadir cierto poder gelificante. De tal manera que aunque el pico de viscosidad no se haya incrementado porque no ha habido un mayor hinchamiento de los gránulos, si se han podido crear uniones entre las fibras y los polímeros de almidón que provoquen una fuerza mayor dentro de los gránulos, que resulten en una desintegración mayor de estos (Quintero, 2016; Zhuang et al., 2019).

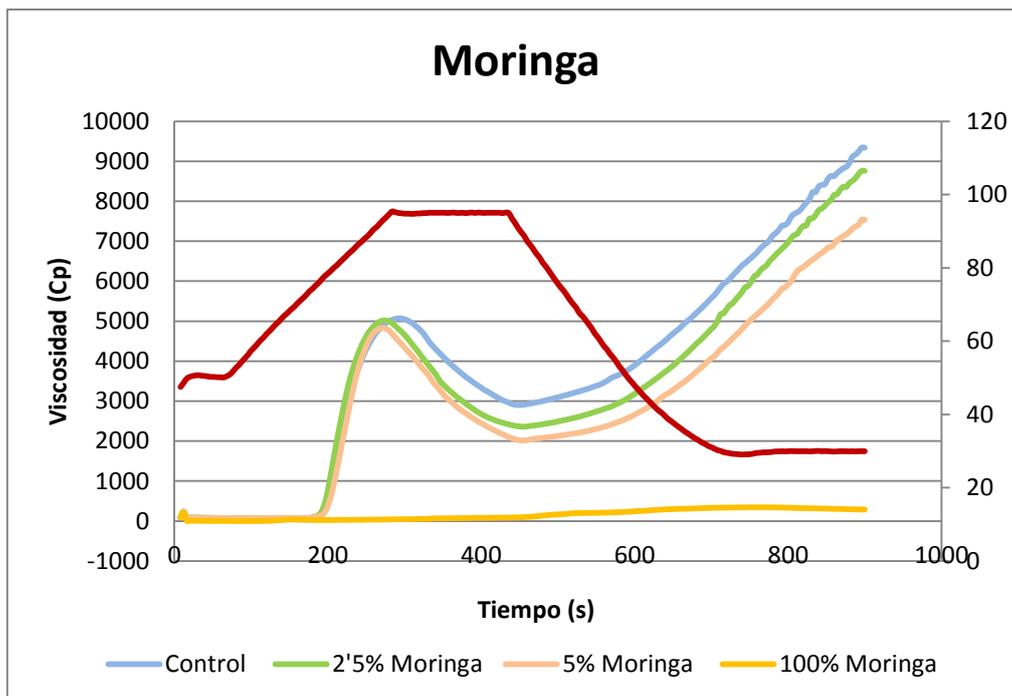


Gráfico 1: Comportamiento viscoso combinaciones almidón/moringa

En el caso de las muestras de espinaca, los valores de la viscosidad mínima son muy similares al control, sin observar diferencias significativas. La rotura de éstas tampoco presenta apenas divergencia. En el estudio de Sun et al. (2017) la PV y TR también se ven poco afectadas por la adicción de fibras. Rosell et al. (2011) tampoco encontró que las fibras modificasen el PV trabajando con almidón de maíz. Por otro lado, sí encontramos diferencias entre el BR de las muestras de espinaca frente a las de moringa, esto puede deberse al contenido en fibra de las mismas, como se comentaba anteriormente. La desintegración de los granulo (BR) es mayor en el caso de la moringa, la cual presenta casi el doble de fibra que la espinaca (4,8g frente a 2,9g/100g de producto) (Tabla 2 y 3). Esto discrepa con el estudio del polvo de remolacha de Chhikara et al. (2018)., en el cual los valores de viscosidad (PV, BR, FV) se ven reducidos al añadir mayor concentración de ésta, coincidiendo únicamente con este estudio la tendencia de la FV, pero cabe destacar que la cantidad de remolacha que usan es mucho mayor a los porcentajes de colorantes utilizados en el presente estudio.

Por otra parte, con respecto a la viscosidad final observamos como los valores obtenidos por las muestras son significativamente inferiores al control, excepto en la muestra con un 2,5% de espinaca (E1). Esto puede ser causado por la mayor desintegración de los gránulos en la caída de viscosidad, lo que también supone una mayor disolución de las moléculas de almidón poliméricas, es decir, el almidón y en especial la amilosa se encuentra disueltos en el agua. Todo esto supone una menor inmovilización del agua y por lo tanto, menor consistencia de gel (Martínez et al., 2015). Las muestras que contienen espinaca presentan valores mayores, los cuales son más próximos a la muestra control, sin embargo las muestras con moringa no consiguen tanto incremento de la viscosidad final. En el estudio de Sun et al. (2017) también las muestras con fibras presentan menor FV que el almidón de maíz solo. Por último, analizamos la retrogradación de las muestras y podemos concluir que al sustituir parte el almidón por colorante, la retrogradación resultante tiene valores menores. Sin embargo, éstas no son significativas salvo por el caso de la E2. Una menor retrogradación significa que existe

una mayor resistencia a la retrogradación de la amilosa durante el enfriamiento, esto puede deberse a la rápida agregación y la formación de uniones mediante enlaces de hidrogeno entre los diferentes compuestos y la amilosa, disminuyendo su disponibilidad para formar las cadenas lineales (Sun et al., 2017). Katekhong & Charoenrein (2012) también estudia esta disminución de la retrogradación al adicionar fibras a almidón de maíz.

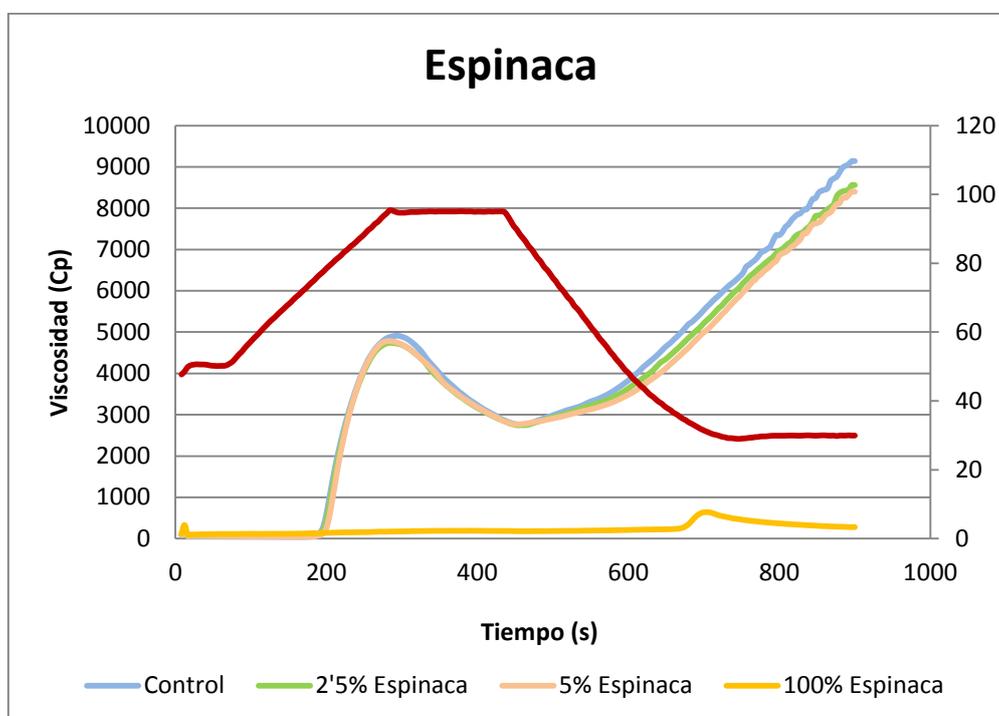


Gráfico 2: Comportamiento viscoso combinaciones almidón/moringa

Finalmente, se puede observar como las sustancias colorantes por sí solas (M3 y E3) difieren completamente de la curva patrón del almidón ya que no presentan apenas viscosidad. Por lo tanto, se puede concluir que las sustancias colorantes no tienen grandes propiedades espesantes o gelificantes, sin embargo su contenido en fibra puede modificar significativamente las propiedades viscosas del almidón cuando colorante y almidón coexistan en una mezcla.

- **Especies colorantes rojas**

El comportamiento viscoso del gac se ve reflejado en el gráfico 3 y en la tabla 2 de Anexos. En ambos se puede apreciar una diferencia significativa de la muestra con 5% de colorante (G2) frente a la curva de almidón. El gac es el colorante que menos contenido de fibra contiene, este dato puede ligarse a que también es el que presenta el menor pico de viscosidad y parámetros de viscosidad en general, porque como veíamos anteriormente la fibra puede intervenir en las propiedades de viscosidad del almidón. La explicación podría ser que el número de gránulos de almidón hinchados sea menor o que no se crean interacciones entre el almidón y los componentes del gac al no haber tanta cantidad de fibra como en otros colorantes. Varela et al. (2016) también presenta una disminución en el PV al adicionar fibras

(Hidroximetilpropilceulosa) realizando la investigación con almidón de trigo y de patata. El tiempo en conseguir el pico máximo de viscosidad tampoco muestra diferencias significativas. La caída de viscosidad o viscosidad mínima apenas muestra variaciones con el control. Sin embargo, el BR disminuye de manera importante, en función del aumento de la concentración de colorante, como veíamos en el estudio de Martínez et al. (2015). Esto podría deberse a que la rotura de los gránulos de almidón no se ve alterada puesto que no ha habido tantas interacciones intermoleculares.

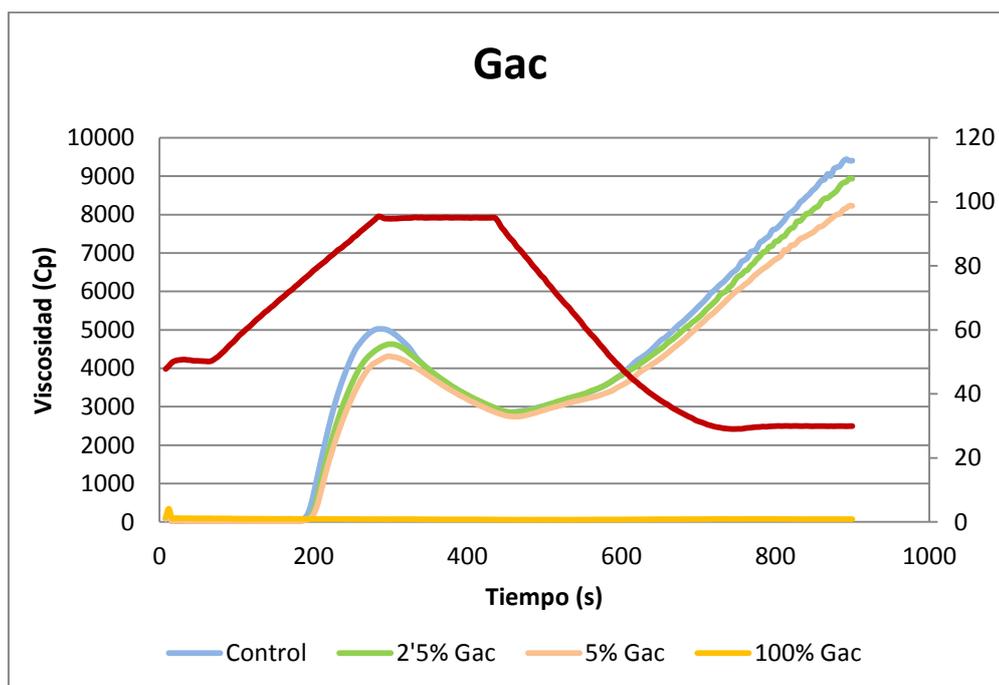


Gráfico 3: Comportamiento viscoso combinaciones almidón/gac

Por último, para G2 la viscosidad final y la retrogradación son significativamente menores a la curva de almidón. La viscosidad final, puede deberse como indicábamos anteriormente a un menor contenido en fibra en la muestra. Por otra parte, según Zhuang et al. (2019), la disminución de la retrogradación puede ser causado por una compatibilidad hidrodinámica de las moléculas de los diferentes polímeros, lo que se traduce en una disminución de las interacciones amilosa-amilosa.

En el caso de la remolacha, no encontramos diferencias significativas en ninguno de los parámetros analizados con la curva de almidón (control), ni tampoco existen diferencias significativas entre las diferentes concentraciones de colorantes en las muestras. Esto puede deberse a la concentración en remolacha de pectinas con el ácido galacturónico acetilado. Estos grupos acetilos impiden la gelificación de la remolacha e incrementan el efecto estabilizante y por lo tanto no se muestra una intervención significativa de la remolacha en la curva (Quintero, 2016). La mayor diferencia la presenta la muestra compuesta únicamente por el colorante, en este caso, la remolacha (R3). A pesar de no poder analizar los diferentes parámetros de la curva con certeza, si podemos observar como presenta una mayor viscosidad que el resto de colorantes, sin embargo, al juntarse con el almidón esta alta viscosidad no se refleja en los resultados obtenidos.

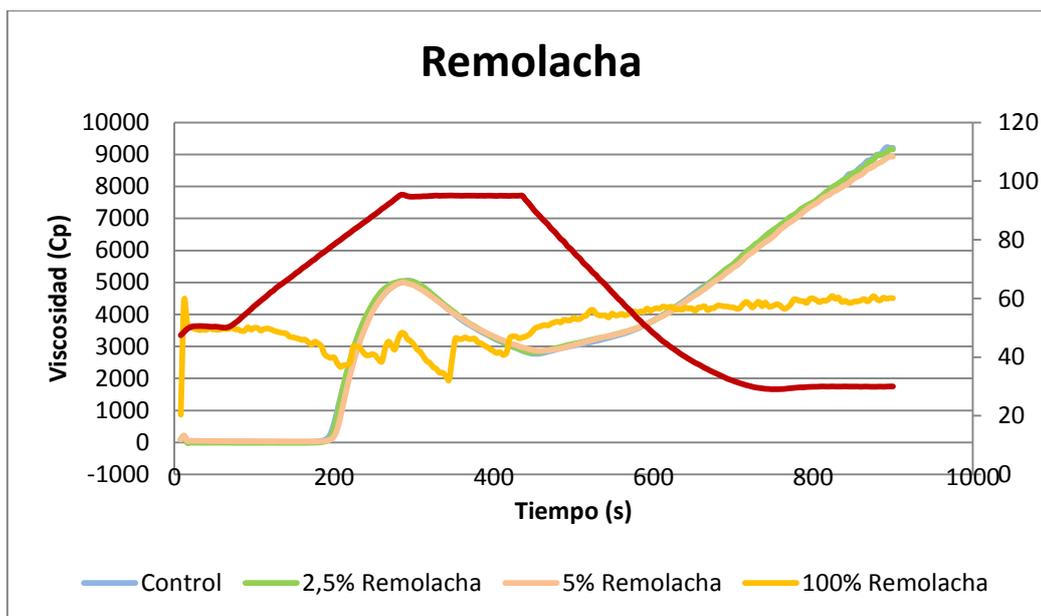


Gráfico 4: Comportamiento viscoso combinaciones almidón/remolacha

4.3. Textura

- Especies colorantes verdes

Los resultados de textura de los geles están presentados en la Tabla 8. En esta podemos comprobar cómo los geles elaborados con mezcla de almidón y colorantes presentan una mayor dureza frente al control. Según el estudio de Chhikara et al. (2018), esto podría deberse a las interacciones entre almidón, proteínas y fibras, dotándolos de mayor integridad estructural. No obstante, este incremento de dureza no es proporcional al aumento del porcentaje de colorante en las muestras (5% < 2,5%).

Por otra parte, podemos apreciar como la muestra con espinaca tiene una mayor dureza que la de moringa, pero no presentan diferencias significativas a las mismas concentraciones de colorantes. La diferencia puede ser debida a la mayor concentración de proteínas, como en el estudio de Wee et al. (2019). Este incremento de la dureza o pérdida de fragilidad también se puede observar en la investigación de Saavedra & Algecira (2010) donde a mayor contenido de proteínas vegetales la dureza se veía incrementada. Otros estudios también han corroborado la importancia de las fibras en la dureza, concluyendo que a mayor cantidad de fibra mayor inmovilización de las moléculas de agua, resultando en geles más duros que los geles de almidón puro (Saleh et al., 2016).

Tabla 8: Resultados de textura de los geles de las muestras analizadas

Muestras	Dureza (N)
Control	6,0 ± 0,53a
M1	9,4 ± 1,03def
M2	7,7 ± 0,67bcd
E1	10,6 ± 0,77f

Muestras	Dureza (N)
E2	8,9 ± 0,45cde
G1	9,5 ± 0,76ef
G2	7,4 ± 0,18abc
R1	6,9 ± 1,05ab
R2	7,2 ± 1,20ab

Valores medios \pm SD (desviación estándar) seguidos por la misma letra en la misma columna no presentan diferencias significativas ($p \leq 0,05$). M1 (Moringa 2,5%), M2 (Moringa 5%), E1 (Espinaca 2,5%), E2 (Espinaca 5%), G1 (Gac 2,5%), G2 (Gac 5%), R1 (Remolacha 2,5%), R2 (Remolacha 5%).

- Especies colorantes rojas

Los resultados de textura de las muestras están representados en la Tabla 8. De manera general, se refleja como los geles elaborados con mezcla de almidón y colorantes presenten una mayor dureza frente al control, como en el caso de los colorantes verdes. Esta disminución de la fragilidad es proporcional al aumento del porcentaje de colorante en las muestras, como nos adelantaban los resultados de las pruebas de viscosidad, pero este incremento de la dureza no resulta significativo, salvo para el caso de G1. En el estudio de Shevkani et al., (2019), también se incrementa la dureza con la adición de polvo de garbanzo y polvo de hoja de espinaca al almidón de maíz. En general, el incremento de la dureza de los geles se debe a las interacciones creadas entre todos los componentes de las mezclas, es decir a los enlaces que se crean entre proteínas, fibras y polímeros de almidón. La mayor dureza la presentan los geles de gac, en especial G1, coincidiendo con un mayor contenido de proteínas, casi el triple que la remolacha. Como veíamos antes el mayor contenido de proteína y fibra implica mayores interacciones aportando integridad estructural y dureza al gel. Por otra parte, al comparar el comportamiento de ambos colorantes se ve que no existen diferencias significativas entre ellos, salvo para G1.

4.4. Color

- Especies colorantes verdes

Los resultados de color de los geles obtenidos a partir de las sustancias colorantes, agua y almidón se muestran en la Tabla 9. La luminosidad de los geles decrece de manera significativa según se aumenta la concentración de colorante, es decir, van oscureciendo con respecto al control. Esta tendencia también se observa en el estudio de Shevkani et al. (2019) cuando se adiciona polvo de espinaca a almidón. La moringa presenta valores significativamente menores que la espinaca, excepto para las muestras 100% colorantes que los resultados son prácticamente idénticos. También se puede apreciar este parámetro en la Ilustración 3.

Analizando las coordenadas cromáticas (a, b) del espacio de color CIEL*a*b*, observamos que en cuanto a la coordenada a* (+a* indica tonos rojos; -a* tonos verdes) las diferencias con el control no son significativas más que para la muestra conformada únicamente por moringa. Esto puede deberse a que la cantidad del pigmento clorofila, responsable del colore verde, presente tanto en la moringa como en la espinaca es muy parecido, como veremos a continuación.

Por otra parte, la coordenada b^* ($+b^*$ tono amarillo, $-b^*$ tono azul) en ambos colorantes presentan valores numéricos significativamente mayores que los del control. Los valores son mayores en el caso de la moringa que en el de la espinaca, esto se debe al mayor contenido de carotenoides totales de la moringa en comparación con el de la espinaca. Los carotenoides son pigmentos que confiere un color amarillo-anaranjado (Manrique, 2003). La tendencia deja de estar clara con las muestras que únicamente contienen colorante, ya que el valor numérico no sigue la tendencia creciente y no existen diferencias significativas entre la moringa y la espinaca. Según el estudio de Chhikara et al. (2018), la obtención en general de valores mayores de a^* y b^* e inferiores de Luminosidad (L^*) a la muestra de almidón puede estar correlacionado con



Ilustración 2. Geles de las diferentes muestras a concentración de 2,5% y 5% de Espinaca (E) y Moringa (M).

el contenido de antioxidantes y fenoles totales de las muestras con sustancias colorantes, pero principalmente dependen de los pigmentos mencionados anteriormente.

Tabla 8. Resultados de color de los geles de las muestras analizadas.

Muestra	L^*	a^*	b^*	C^*	$h(^{\circ})$
Control	61,8 ± 2,1g	-2,2 ± 0,5a	-9,5 ± 0,9a	9,8 ± 1d	257 ± 2g
M1	54,5 ± 1,2d	-2,1 ± 1,9a	5,5 ± 1,4f	6 ± 1,9b	109 ± 13de
M2	50,2 ± 0,3e	-1,4 ± 2ab	8,8 ± 0,6g	9 ± 0,9cd	99 ± 12cde
M3	33,1 ± 1b	1 ± 0,5b	2 ± 0,3e	2,4 ± 0a	63 ± 15ab
E1	56,8 ± 1,9f	-2,47 ± 1,4a	-0,2 ± 1,2d	2,7 ± 1,2a	193 ± 33f
E2	54,0 ± 3,9ef	-2,4 ± 2,9a	3,4 ± 2,3e	4,3 ± 3,4ab	116 ± 21e
E3	33,5 ± 0,1b	0,1 ± 0,8ab	1,9 ± 0,7e	2 ± 0,6a	81 ± 27bcd
G1	56,5 ± 3,2f	0,18 ± 0,1ab	6,6 ± 0,3f	6,6 ± 0,3bc	88 ± 0,8bcde
G2	52,9 ± 1,8ef	4,15 ± 0,5c	13,9 ± 0,4h	14,5 ± 0,5e	73 ± 1,6bc
G3	35,6 ± 0,1bc	10,48 ± 0,3d	9,6 ± 0,6g	14,2 ± 0,7e	43 ± 0,8a
R1	44,4 ± 1,9d	13,07 ± 0,2d	-4,6 ± 0,6b	13,9 ± 0,4e	340 ± 2h
R2	37,9 ± 1,6c	17,33 ± 0,8e	-3,3 ± 0,8bc	17,6 ± 0,9f	349 ± 2,1h
R3	27,7 ± 2,1a	11,54 ± 2,7d	-2,3 ± 0,0c	11,8 ± 2,6de	349 ± 2,5h

Valores medios ± SD (desviación estándar) seguidos por la misma letra en la misma columna no presentan diferencias significativas ($p \leq 0,05$). L^* (Luminosidad), a^* y b^* (cromaticidad), C^* (saturación) y h (tono). M1 (Moringa 2,5%), M2 (Moringa 5%), M3 (Moringa 100%), E1 (Espinaca 2,5%), E2 (Espinaca 5%), E3 (Espinaca 100%), G1 (Gac 2,5%), G2 (Gac 5%), G3 (Gac 100%), R1 (Remolacha 2,5%), R2 (Remolacha 5%), R3 (Remolacha 100%).

El tono (h) y la saturación o croma del espacio de color $L^*C^*h^*$ nos indican el color (en este caso define el tono verdoso del que se trata) y la viveza de éste, respectivamente.

En cuanto al tono distinguimos que la muestra de espinaca presenta valores acotados entre 81° y 193°, es decir, superiores a los valores de la muestra con moringa (63° y 109°). Por lo tanto, la espinaca presenta colores que tienden más a verde puro; en cambio, la moringa colores más amarillentos. Ambos tienen valores significativamente inferiores al tono del control (color blanquecino). Estas diferencias de color se pueden deber a su contenido de pigmentos. Puesto que ambos presentan tanto clorofila (verde) como carotenos (amarillos), podemos deducir que al tener prácticamente la misma cantidad de clorofila (140 y 138 mg por cada 100g de las hojas de moringa y espinaca, respectivamente), pero mayor cantidad de carotenoides 79 mg en el caso de la moringa frente a 23mg/100g de la espinaca, las muestras con moringa tienden a ser más amarillentas (Saini et al., 2012; Kidmose et al., 2001).

Con respecto al croma o saturación, no podemos observar una tendencia clara, aunque los valores de las muestras de espinaca son menores que los de la moringa, es decir, son colores menos vivos. Esto resulta incoherente con los resultados obtenidos de luminosidad anteriormente.

- Especies colorantes rojas

En la Tabla 9 se presentan los resultados de color de los geles obtenidos en las distintas muestras. En primer lugar, la luminosidad de los geles va disminuyendo de manera significativa respecto al control, según se van aumentando las concentraciones de colorantes, es decir, van perdiendo luminosidad u oscureciéndose, como ocurría con los colorantes verdes. Las muestras con remolacha son con diferencia las más ensombrecidas, llegando a disminuir la L* hasta 35 puntos. El gac y la remolacha presentan desigualdades importantes para este parámetro.

En cuanto al parámetro +a*(enrojecimiento) se incrementan los valores significativamente, salvo en G1, en el cual el aumento no es significativo. Los valores obtenidos de las muestras con remolacha son considerablemente más altos que para el gac, esto es indicativo de que el la remolacha proporciona un calor más rojo, como se observa en la Ilustración 2. Esto se debe a un pigmento específico que se detalla más adelante. En general, la tendencia es a aumentar el valor de a* según se incrementa la concentración de colorante, excepto para R3 que muestra un valor impropio de la tendencia. Por otra parte, los valores de la coordenada b* (amarillez) de las muestras con colorantes son significativamente mayores con respecto al control. Sin embargo, la tendencia no está clara.

El gac presenta valores más altos que la remolacha, por tanto presentará un color más amarillento que la remolacha, debido al alto contenido en carotenoides (Tabla 4). Estas discrepancias entre los dos colorantes son destacables. La disminución de L* y el aumento de a* y b* frente al control concuerdan con las tendencias obtenidos en el estudio de Chhikara et al. (2018) y los valores numéricos presentan las mismas tendencias que el presente estudio.

En general las muestras con colorantes presenta valores mayores de croma con respecto al control, salvo en el caso de G1, lo que indica una mayor viveza. Sin, embargo la tendencia no está clara. Las diferencias existentes entre los cromas del gac frente a los de la remolacha no son en general significativos, aunque los valore resultan levemente superiores en la muestras de remolacha.

Por último, el tono define en este caso el color rojizo/anaranjado de las muestras. Las muestras de gac presentan valores significativamente menores al control. Por otra parte, no se detectan diferencias significativas al aumentar su concentración de 2,5% a 5%. Sin embargo, las muestras de remolacha presentan valores significativamente superiores a la muestra, pero sin diferencias entre las distintas concentraciones de las tres muestras, aunque la tendencia es un aumento del valor. Al comparar los colorantes, detectamos que los valores del tono del gac son menores (menos rojizo y más anaranjado). Este tono se debe a la

alta concentración de carotenoides (450 mg /100 g de arilo) en el gac, en especial licopeno y β -caroteno (Kubola et al., 2013). Sin embargo, la concentración de carotenoides en la remolacha no es destacable, pero sí su contenido en betaninas (370mg/100g raíz de remolacha), pigmento responsable de la dotación del color rojo al gel (Wee et al., 2019).



Ilustración 3: Geles de las diferentes muestra a concentración de 2,5% y 5%: Gac (G) y Remolacha (R).

5. CONCLUSIONES

Tras evaluar y discutir los resultados analizados para las diferentes sustancias colorantes en solución con almidón de maíz, cabe destacar que existen diferencias entre ambos productos de cada gama de color, pero estas diferencias no son tan importantes si los evaluamos de manera separada colorantes verdes o colorantes rojos, ya que las tendencias siempre son muy similares. Los resultados obtenidos nos sugieren que las nuevas sustancias colorantes (moringa y gac) absorben menos agua en caliente que sus respectivos colorantes ya popularizados (espinaca y remolacha), esto sería un factor a tener en cuenta en las industrias de fabricación de pasta. Sin embargo, las propiedades de hidratación en frío son muy similares, lo que resultaría útil, para la elaboración de purés o sopas que se comercializan deshidratadas. En

cuanto al comportamiento viscoso y la textura no se encuentran importantes diferencias entre los pares de colorantes ni entre las distintas concentraciones evaluadas. En general, la dureza de los geles se incrementa con la adicción de colorantes. Las curvas de viscosidad apenas varían con el control del almidón aunque sí se destaca una menor viscosidad final en los geles obtenidos. Las muestras de 100% sustancia colorante por sí solas no crean estructura de gel. La evaluación del color nos indica que el gac y la remolacha presentan entre sí ciertas diferencias notorias, siendo el gac un producto con un tono más anaranjado de lo esperado debido a su alto contenido en carotenoides. Sin embargo, la espinaca y la moringa presentan una menor variación de color entre ellas. La moringa muestra un color levemente más amarillento que la espinaca por su mayor contenido en carotenoides. Con respecto al color también se puede concluir que el aumento de la concentración de las sustancias colorantes hasta el 5% sí presentan diferencias frente al control, incluso perceptibles a simple vista en todos los muestras.

Se puede concluir por tanto, que la sustitución de las actuales sustancias colorantes por moringa en el caso de producciones de coloración verdosa y por gac para los tonos rojizos, sería posible sin grandes dificultades para la industria. Además de esta manera sería posible conseguir un etiquetado “clean label” y se aportaría un valor extra de propiedades nutricionales beneficiosas para el ser humano. Por último, destacar la importancia de la elección de una adecuada concentración de colorante en función del uso con farináceos al que se le vaya a destinar.

6. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi tutor, Manuel Gómez Pallarés, por apoyarme y guiarme durante estos meses y por dejarme llevar a cabo en su departamento y laboratorio el presente estudio. Además, también me gustaría agradecer la colaboración de Marta y en especial, toda la dedicación, paciencia y apoyo de Ángela y Mayara. Por último, agradecer a las empresas Syral Iberia, Altaquímica, Coperblanc, Mekong Herbals Corporation y Gac Viet Company por el suministro de los productos utilizados.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Amnah, M. (2013). Nutritional, sensory and biological study of biscuits fortified with red beet roots. *Life Science Journal*, 10(3), 1579-1583.
- Anwar, F., Latif, S., Ashraf, M., & Gilani, A. (2007). Moringa oleifera: a food plant with multiple medicinal uses. *Phytotherapy Research*, 21, 17-25.
- Barba-Espin, G., Glied-Olsen, S., Dzhhanfezova, T., Joernsgaard, B., & Lütken, H. (2018). Preharvest application of ethephon and postharvest UV-B radiation improve quality traits of beetroot (*Beta vulgaris L. ssp. vulgaris*) as source of colourant. *BMC Plant Biology*, 18(316).
- Bonal, R., Rivera, R., & Il y Bolívar, M. (2012). Moringa oleifera: una opción saludable para el bienestar. *Medisan*, 16(10), 1029-3019.
- Carocho, M., Barreiro, M. F., Morales, P., & Ferreira, I. (2014). Adding molecules to food, pros and cons: a review on synthetic and natural food additives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13, 377-387.
- Chaudhari, S., & Nikam, M. (2015). Development and sensory analysis of beetroot jelly. *International Journal of Science and Research*, 4(10), 827-829.
- Chhikara, N., Kushwaha, K., Jaglan, S., & Pangal, S. (2018). Nutritional, physicochemical, and functional quality of beetroot (*Beta vulgaris L.*) incorporated Asian noodles. *American Association of Cereal Chemists*, 96, 154-161.
- Chhikara, N., Kushwaha, K., Jaglan, S., Sharma, P., & Panghal, A. (2018). Nutritional, physicochemical, and functional quality of beetroot (*Beta vulgaris L.*) incorporated Asian noodles. *Cereal Chemistry*, 96, 154-161.
- Chuyen, H., Nguyen, M., Roach, P., Golding, J., & Parks, S. (2015). Gac fruit (*Momordica cochinchinensis Spreng.*): a rich source of bioactive compounds and its potential health benefits. *International Journal of Food Science and Technology*, 50, 567-577.
- Crosbie, G., & Ross, A. (2007). *The RVA Handbook*. St. Paul: American Association of Food Chemists.
- Cuesta, A. (2018). *Obtención de colorantes naturales a partir de espinaca, berro, y brócoli para uso alimenticio*. Riobamba, Ecuador.
- Del Toro, J., Carballo, A., & Rocha, L. (2011). Valoración de las propiedades nutricionales de Moringa Oleifera en el departamento de Bolívar. *Revista de Ciencias*, 15, 23-30.
- Doménech, G., Durango, A., & Berruezo, G. (2017). Moringa oleifera: revisión sobre aplicaciones y usos en alimentos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 67(2).
- Downham, A., & Collins, P. (2000). Colouring our foods in the last and next millennium. *International Journal of Food Science and Technology*, 35, 5-22.
- Folkard, G., & Sutherland, J. (1996). Moringa oleifera un árbol con enormes potencialidades. *Agroforestry Today*, 8(3), 5-8.
- Folkard, G., & Sutherland, J. (1996). *Moringa oleifera un árbol con enormes potencialidades*. Equipo de Ingeniería Ambiental del Departamento de Ingeniería de la Universidad de Leicester, Turrialba, Costa Rica.
- García, J., & Sanz, J. (2019). *Secna group*. Retrieved 05 20, 2019, from R&D and Quality Direction Secna Natural Ingredients Group, S.L.: <https://secna.com/es/>

- Graziano, J. (n.d.). *FAO*. Retrieved junio 15, 2019, from Organización para las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <http://www.fao.org/home/es/>
- Ibáñez, F., Torre, P., & Irigoyen, A. (2003). *Aditivos alimentarios*. Navarra.
- Euromonitor International. (2016). Clean Label Revolution: Response of the Ingredients Industry. Retrieved mayo 20, 2019, from Euromonitor International Limited: <https://www.euromonitor.com/clean-label-revolution-response-of-the-ingredients-industry/report>
- Katekhong, W., & Charoenrein, S. (2012). The effect of rice aging on the freeze-thw stability of rice flour gels. *Carbohydrate Polymers*, 89(3), 776-783.
- Kaur, M., & Singh, N. (2005). Studies on functional, thermal and pasting properties of flours. *Food Chemistry*, 403-411.
- Kidmose, U., Knuthsen, P., Edelenbos, M., Justesen, U., & Hegelund, E. (2001). Carotenoids and flavonoids in organically grown spinach (*Spinacea oleracea* L) genotypes after deep frozen storage. *Journal of the Science Food and Agriculture*, 81, 918-923.
- Kubola, J., Meeso, N., & Siriamornpun, S. (2013). Lycopene and beta carotene concentration in aril oil of gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng) as influenced by aril-drying process and solvents extraction. *Food Research International*, 50, 664-669.
- Le, A., Parks, S., Nguyen, M., & Roach, P. (2018). Physicochemical properties of gac (*Momordica cochinchinensis (lour.) spreng*) seeds and their oil extracted by supercritical carbon dioxide and soxhlet methods. *Technologies*, 6(94), 2-14.
- Leone, A., Spada, A., Battezzati, A., Schiraldi, A., Aristil, J., & Bertoli, S. (2015). cultivation, genetic, ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacology of *Moringa oleifera* leaves: an overview. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(6), 1279-1835.
- Manrique, E. (2003). Los pigmentos fotosintéticos, algo más que la captación de luz para la fotosíntesis. *Ecosistemas*, 12(1), 1-12.
- Martín, C., Martín, A., García, A., Fernández, T., Hernández, E., & Puls, J. (2013). Potenciales aplicaciones de *Moringa oleifera*. Una revisión crítica. *Pastos y forrajes*, 36(2).
- Martínez, M., Macias, A., Belorio, M., & Gomez, M. (2015). Influence of marine hydrocolloids on extruded and native wheat flour. *Food Hydrocolloids*, 172-179.
- Moyo, B., Masika, P., Arnold, H., & Muchenje, v. (2011). Nutritional characterization of moringa (*Moringa oleifera* Lam.) leaves. *African Journal of Biotechnology*, 10(60), 12925-12933.
- Müller-Maatsch, J., Sprenger, J., Hempel, J., Kreiser, F., Carle, R., & Schweiggert, R. (2017). Carotenoids from gac fruit aril (*Momordica cochinchinensis [Lour.] Spreng.*) are more bioaccessible than those from carrot root and tomato fruit. *Food Research International*, 99(2), 928-935.
- Nutrición, F. E. (n.d.). *fen.org*. Retrieved junio 15, 2019, from <http://www.fen.org.es/mercadoFen/pdfs/espinacas.pdf>
- Parra, V. (2004). *Estudio comparativo en el uso de colorantes naturales y sintéticos en alimentos, desde el punto de vista funcional y toxicológico*. Valdivia, Chile.
- Pighín, A., & Rossi, A. (2010). Espinaca fresca, supercongelada y en conserva: contenido de vitamina c pre y post cocción. *Revista Chilena de Nutrición*, 37(2), 201-207.

- Purnomo, E., Nindyautami, F., Konsue, N., & Pathomrungsyounggul, P. (2018). fortification of rice grain with gac aril (*Momordica conchinchinensis*) using vacuum impregnation technique. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 6(2), 412-424.
- Quintero, A. (2016). *Obtención y caracterización de hidrocoloides a partir de residuos de la industria frutícola*. Bogotá, Colombia.
- Rodríguez, M., Plaza, G., Gil, R., Chaves, B., & Jiménez, J. (2008). Reconocimiento y fluctuación poblacional arvense en el cultivo de espinaca (*Spinacea oleracea L.*) para el municipio de Cota, Cundinamarca. *Agronomía Colombiana*, 26(1), 87-96.
- Rosell, C., Yokoyama, W., & Shoemaker, C. (2011). Rheology of different hydrocolloids-rice starch blends. Effect of successive heating-cooling cycles. *Carbohydrate Polymers*, 84(1), 373-392.
- Saavedra, N., & Algecira, N. (2010). Evaluación de películas comestibles de almidón de yuca y proteína aislada de soya en la conservación de fresas. *Ciencias Biomédicas*, 8(14), 171-182.
- Saleh, M., Ajo, R., Al-Ismael, K., & Ondier, G. (2016). Effects of hydrocolloids on acorn starch physical properties. *Starch/Stärke*, 68, 1-11.
- Saini, R., Shetty, N., Giridhar, G., & Ravishankar, A. (2012). Rapid in vitro regeneration method for *Moringa oleifera* and performance evaluation of field grown nutritionally enriched tissue cultured plants. *3Biotech*, 2(3), 187-192.
- Sandoval, G., & Álvarez, M. (2011). *Manual de elaboración de pastas alimenticias*. Ambato.
- Shaheen, N., Torab, A., Mohiduzzaman, M., Parvin, C., Latiful, B., A., B., et al. (2013). *Food Composition Table for Bangladesh*. Trishal, Mymensingh, Bangladesh: Intergraphic Limited.
- Shevkani, K., Singh, N., Rattan, B., Pal Singh, J., Kaur, A., & Singh, B. (2019). Effect of chickpea and spinach on extrusion behavior of corn grit. *Journal of Food Science and Technology*, 56(4), 2257-2266.
- Stohs, S., & Hartman, M. (2015). Review of the safety and efficacy of *Moringa oleifera*. *Phytotherapy Research*.
- Sun, J., Zuo, X., Fang, S., Xu, H., Chen, J., Meng, Y., y otros. (2017). *Effects of cellulose derivative hydrocolloids on pasting, viscoelastic and morphological characteristics of rice starch gel*. Hangzhou, China.
- Varela, M., Navarro, A., & Yamul, D. (2016). Effect of hydrocolloids on the properties of wheat/potato starch mixtures. *Starch/Stärke*, 68(7-8), 752-762.
- Wee, M., Loud, D., Tan, V., & Forde, C. (2019). Physical and sensory characterisation of noodles with added native and denatured pea protein isolate. *Food Chemistry*, 294, 152-159
- Yanchapanta, D. (2011). *Obtención de un colorante natural la betalaina a partir de la remolacha (beta vulgaris) para su aplicación en alimentos y bebidas, sin que sus propiedades organolépticas (sabor y olor) afecten su utilidad*. Ambato, Ecuador.
- Yu, J., Roh, H., Lee, S., Jung, K., Baek, K., & Hyum, K. (2017). Antiproliferative effect of *Momordica cochinchinensis* seeds on human lung cancer cells and isolation of the major constituents. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 27(3), 329-333.
- Zhuang, H., Feng, T., & Bemiller, J. (2019). Effects of hydrocolloids on normal maize starch and its distarch phosphates. *Food Hydrocolloids*, 96, 231-245.

ANEXOS

Anexo 1: Cantidad de los componentes utilizados en las diferentes muestras para cada análisis

	Concentración	Almidón (g)	Colorante (g)	Agua (ml)
WHC	0%	5,000	0,000	100
	2,5%	4,875	0,125	100
	5%	4,750	0,250	100
WBC	0%	5,000	0,000	25
	2,5%	4,875	0,125	25
	5%	4,750	0,250	25
WAI	0%	2,500	0,000	30
	2,5%	2,438	0,062	30
	5%	2,375	0,125	30
Análisis de viscosidad y textura	0%	3,500	0,000	25
	2,5%	3,412	0,088	25
	5%	3,275	0,175	25

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2: Parámetros viscosos de las diferentes muestras

Muestras	PT (min)	TR (cP)	PV (cP)	BR (cP)	FV (cP)	ST (cP)
Control	288± 5,66b	2731± 39c	5000± 126d	2270± 165ef	9104± 50,9g	6378± 18e
M1	276± 0b	2459± 52bc	5018± 107d	2560± 54,5fg	8543± 378def	6084± 326de
M2	268± 0b	2073± 86be	4940± 16d	2867± 71g	7889± 135c	5816± 49cde
M3	276± 169,7b	80± 1,4a	95,5± 22a	15,5± 21a	302± 21a	222± 19,8a
E1	288± 5,66b	2800± 78c	4853± 158d	2052,5± 80de	8785± 320efg	5985± 242cde
E2	282± 2,83b	2763± 10c	4823± 60d	2060± 69de	8470± 98de	5707± 108cd
E3	556± 209,3c	163± 38a	394± 351a	236± 320a	256± 33 ^a	97,5± 2,1a
G1	300± 0,00b	2842± 18c	4645± 21cd	1803,5± 39cd	9046± 156g	6204± 174de
G2	300± 5,7b	2793± 71c	4327± 19c	1534± 52c	8222± 9,9cd	5429± 81c
G3	30± 14,14a	75± 1,4a	101± 1,4a	26± 0a	74± 21,2 ^a	-1± 17,8a
R1	292± 11,3b	2833± 90c	4837± 292d	2004± 322de	9046± 157g	6214± 187,4de
R2	288± 0b	2868± 5c	5022± 28d	2154± 23de	8841± 127fg	5974± 133cde
R3	200± 96,2ab	2208± 744b	2850± 423b	642± 321b	6396± 3643b	2358± 823b

Valores medios ± SD (desviación estándar) seguidos por la misma letra en la misma columna no presentan diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Parámetros que proporciona el equipo RVA en un ensayo de calentamiento/enfriamiento. Peak Time, (PT), Trough (TR), Peak Viscosity (PV), Breakdown (BR), Final Viscosity (FV) y Setback (ST). M1 (Moringa 2,5%), M2 (Moringa 5%), M3 (Moringa 100%), E1 (Espinaca 2,5%), E2 (Espinaca 5%), E3 (Espinaca 100%), G1 (Gac 2,5%), G2 (Gac 5%), G3 (Gac 100%), R1 (Remolacha 2,5%), R2 (Remolacha 5%), R3 (Remolacha 100%).