

Efecto de la Adición de Hidrocoloides sobre las Características Reológicas de Salmueras para Elaboración de Jamón Cocido

Effect of Addition of Hydrocolloids on Rheological Properties of the Brines Used to Prepare Cooked Ham

Cesar Augusto Sepúlveda Cossio¹; Diego Alonso Restrepo Molina² y Héctor José Ciro Velásquez³

Resumen. Con el fin de determinar el efecto de la inclusión de goma de algarrobo (GA), carragenina kappa (CK) y carragenina iota (CI) en salmueras para inyección de jamones cocidos, sobre algunas propiedades reológicas tales como viscosidad, módulo elástico (G') y tangente de pérdida (tangente δ), se planteó un experimento por diseño de mezclas en el que se empleó una formulación para jamón comercial (1% de hidrocoloides), en la cual se utilizaron hidrocoloides individuales o mezclas binarias y terciarias de GA, CK y CI, respectivamente. Adicionalmente, los resultados fueron analizados mediante la metodología de las superficies de respuesta. Los resultados indicaron que la salmuera que presentó la menor viscosidad fue la que contenía 100% de CK, el gel de salmuera que presentó el mayor G' fue la que contenía 3,8 (GA): 96,2 (CK), y el gel que presentó la menor tangente de pérdida y baja viscosidad fue el diseñado con la mezcla terciaria 10,56 (GA): 72,56 (CK): 16,88 (CI).

Palabras clave: Hidrocoloides, reología, viscoelasticidad, carne.

Abstract. In order to determine the effect on some rheological properties such as viscosity, elastic modulus (G') and loss tangent ($\tan \delta$) of the inclusion of locust bean gum (GA), kappa carrageenan (CK) and iota carrageenan (CI) in brines to inject in cooked ham, a statistical mixture design was established to commercial ham (1% hydrocolloids) in which individual, binary and tertiary mixtures of GA, CK and CI were prepared. The results were analyzed using the response surfaces methodology. The results indicated that the brine with the lowest viscosity was to kappa carrageenan (CK=100%), the brine gel with the highest value of elastic modulus (G') was to the binary mixture containing 3.8 (GA): 96.2 (CK), and the gel with the lowest loss tangent and viscosity was present in the tertiary mixture of 10.56 (GA): 72.56 (CK): 16.88 (CI).

Key words: Gums, rheology, viscoelasticity, meat.

La salmuera es el vehículo para introducir sal, nitritos, fosfatos, extendedores (como proteínas y almidones), aromas y otros aditivos utilizados en la elaboración del jamón cocido. La composición de la salmuera varía en función del tipo de producto y el porcentaje de inyección (López, 2004; Montoya, 2004; Tovar, 2005), influyendo en la calidad final del producto (González *et al.*, 2009).

Las salmueras para jamón contienen generalmente proteína de soya, almidones, sal, azúcar, colorantes, saborizantes y algunos hidrocoloides para modificar las propiedades reológicas, formar gel y retener agua después de la cocción (López, 2004; Montoya, 2004; Molina *et al.*, 2010). Algunas mezclas tienen una viscosidad potenciada a fin de poder usarse como espesantes; en otras mezclas, se busca el efecto contrario, es decir, que incrementen lo mínimo posible la viscosidad a fin de que se inyecte fácil y homogéneamente, sin causar daños a la estructura

muscular de la carne. Estas últimas suelen ser indicadas para productos de una cierta calidad, en los que la inyección de mezclas excesivamente viscosas conduce a la formación de depósitos entre las fibras musculares que aparecen en el producto terminado en forma de gelificaciones transparentes entre fibras abiertas (Montoya, 2004).

Las mezclas de carragenatos (lambda, iota y kappa) se usan tanto en la inyección como en el masaje. La carragenina kappa produce una baja viscosidad en frío, solubiliza cuando se calienta por encima de 60 °C produciendo geles fuertes pero quebradizos y de alta sinéresis; la carragenina iota tiene mediana solubilidad en frío y produce geles de mediana fuerza pero muy elásticos; y la carragenina lambda produce alta viscosidad en frío pero no produce gel (Fennema, 2000; Calvo, 2008). Los carragenatos gelifican reteniendo gran cantidad de agua en los geles que forman y, por tal motivo, son ampliamente usados

¹ Zootecnista. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín - Facultad de Ciencias Agrarias. A.A. 1779. Medellín, Colombia. <casepul0@unal.edu.co>

² Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín - Facultad de Ciencias Agrarias. A.A. 1779. Medellín, Colombia. <darestre@unal.edu.co>

³ Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín - Facultad de Ciencias Agrarias. A.A. 1779. Medellín, Colombia. <hjciro@unal.edu.co>

Recibido: Junio 11 de 2012; aceptado: Agosto 23 de 2012.

como sistemas estabilizantes. Los carragenatos tienen también efectos sinérgicos con algunas gomas, como los galactomananos, que aumentan significativamente la capacidad de retención de agua de los geles formados, disminuyendo también la sinéresis, soliendo usarse a concentraciones entre 1 y 5 g kg⁻¹ de producto terminado (Rhodia, 1999; Amako y Xiong, 2001; Chen *et al.*, 2001; López, 2004; Verdequen *et al.*, 2005).

Las proteínas y los polisacáridos son dos biopolímeros importantes, que se usan ampliamente en la industria alimentaria y están a cargo de las propiedades reológicas, mecánicas y fisicoquímicas de los productos alimenticios. Las gomas son usadas habitualmente como espesantes en salmuera y químicamente son polisacáridos de estructura normalmente ramificada (Imenson, 2009). Algunas gomas son extraídas de granos, como la goma garrofín (extraída del algarrobo) y la goma guar (extraída de las semillas de guar), estas son genéricamente llamadas galactomananos, es decir, cadenas lineales de manosa con ramificaciones de galactosa, son muy usadas en jamones cocidos de alto rendimiento por la habilidad de mejorar las características de los geles de carragenina y por su gran capacidad espesante; pero, por sí solas, no tienen grandes propiedades gelificantes. En concentraciones excesivas, pueden dificultar la gelificación de las proteínas miofibrilares provocando un aumento de la merma en cocción e incluso el desligado de los músculos en el jamón cocido (Rhodia, 1999; López, 2004; Arda *et al.*, 2009).

El conocimiento del comportamiento reológico de los fluidos de naturaleza alimentaria puede ser útil en el control de calidad del producto, requerimiento de energía, diseño de procesos y en el diseño, selección y/o adaptación de equipos y tecnología para la industria alimentaria (Ibanoglu e Ibanoglu, 1998; Rao, 1999). Las características reológicas de los alimentos son muy importantes para entender el comportamiento macroscópico de esta clase de sistemas con respecto a la organización microestructural, procesamiento, estabilidad y vida útil (Tadros, 2004; Mezger, 2006; Ciro, 2006; Lorenzo *et al.*, 2008). Adicionalmente, para el desarrollo de productos alimentarios, la calidad sensorial y, en consecuencia, la preferencia del consumidor se ve considerablemente afectada por su comportamiento reológico (Steffe, 1996).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la interacción de los hidrocoloides goma de algarrobo (GA), carragenina kappa (CK) y carragenina iota

(CI) en el procesamiento y elaboración de jamones cocidos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el laboratorio de Control de Calidad de Alimentos de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín y la Fundación INTAL, en la ciudad de Medellín a 1.550 msnm y 23 °C de temperatura promedio.

Salmuera base. Se utilizó una fórmula básica para un jamón extendido al 100% que se prepara con 100 kg de carne y 100 kg de salmuera, para obtener 200 kg de jamón. La fórmula de la salmuera fue la siguiente: agua (77,24%), proteína de soya (7%) (proteína aislada de soya, PP500 E, Solae®), almidón de yuca (6,42%) (Poltec®), sal (3,6%) (Refisal®), azúcar (2%) (Manuelita®), mezcla de hidrocoloides (2%) (GA, CK y CI suministrado por Tecnas® S.A.), mezcla de polifosfatos (1%) (Suministrado por Tecnas® S.A. Haifa®), nitral (0,66%) y eritorbato (0,1%) (Tecnas® S.A.).

Preparación de la salmuera. Se pesaron todos los ingredientes secos por cada punto de muestreo y se mezclaron en un recipiente plástico mediante agitación manual, haciendo fricción del material con las paredes del recipiente para tratar de simular la mezcla de ingredientes en un mezclador industrial. Posteriormente, se pesó el agua previamente refrigerada, y se homogenizó en una licuadora Oster® de capacidad 1,25 L con motor de 600 W (400-1.300 rpm), a condiciones ambientales y con tiempos mínimos de licuado (10-20 s). Finalmente, se procedió a incorporar el producto adherido a las paredes del recipiente, mediante acción mecánica, terminando el proceso de mezclado con un tiempo de 10 a 20 s más de agitación.

Diseño estadístico. Se realizó un diseño de mezclas, el cual tomó efectos individuales, por pares e interacciones triples, con tres componentes: GA, CK y CI; se realizó un diseño de mezclas con arreglo cúbico expresado mediante la siguiente ecuación:

$$Y = \beta_1 GA + \beta_2 CK + \beta_3 CI + \beta_4 GA * CK + \beta_5 GA * CI + \beta_6 CK * CI + \beta_7 GA * CK * CI + \beta_8 GA * CK (GA - CK) + \beta_9 GA * CI * (CA - CI) + \beta_{10} CK * CI * (CK - CI) + \epsilon \quad (1)$$

Se verificaron los supuestos de normalidad ($\epsilon \sim \text{Normal}(0, \sigma_2)$), varianza constante ($\sigma_2 = \text{cte}$) e independencia de los errores ($\rho = 0$). Las constantes β_i son provenientes del modelo de regresión.

Puntos de muestreo. Dentro de la mezcla de hidrocoloides, CK y CI variaron en el intervalo de 0 y 100%, mientras que GA se empleó entre 0 y 50%. En el arreglo estadístico cúbico fue necesario explorar 14 puntos dentro de la superficie de muestreo, se realizaron dos repeticiones en los

puntos de muestreo periférico y tres repeticiones en los puntos centrales. Los puntos uno y ocho no fueron evaluados debido a que durante la fase preexperimental, y por la literatura revisada, no se esperó que el óptimo se encontrara en esta área. Las mezclas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Puntos de ensayo experimental para el diseño de salmueras mediante mezclas de hidrocoloides con arreglo cúbico.

Punto de muestreo	Réplicas	GA (%) ^a	CK(%) ^b	CI(%) ^c
1	0	0	0	100
2	2	0	100	0
3	2	50	50	0
4	2	50	0	50
5	2	0	33,33	66,67
6	2	0	66,67	33,33
7	2	25	75	0
8	0	25	0	75
9	3	50	16,17	33,33
10	3	50	33,33	16,17
11	3	25	56,25	18,75
12	3	25	18,75	56,25
13	3	12,5	43,75	43,75
14	3	37,5	31,25	31,25

^aGoma de algarrobo; ^bcarragenina kappa; ^ccarragenina iota.

Pruebas de viscosidad. Una vez elaborada la salmuera, se vertieron 200 cm³ en un recipiente de vidrio y se colocó en refrigeración a 5 °C para hacer mediciones al día siguiente. La medición de viscosidad se realizó en un reoviscosímetro Brookfield® modelo R/S plus con cilindros concéntricos CC 45 DIN versión V2.8, en modo rotacional y a una temperatura de 4 °C. Las pruebas se fundamentaron en un barrido ascendente con una velocidad de corte de 0 a 100 s⁻¹ y otro barrido descendente a una velocidad de 100 a 0 s⁻¹.

Preparación de geles. Después de mezclar la salmuera en la licuadora, se tomaron 200 cm³ de salmuera y 200 cm³ de agua refrigerada, se mezclaron y se sometieron a calentamiento en baño maría a 80 °C homogenizando constantemente, hasta que la salmuera alcanzó 70 °C. Luego, se vertieron 25 cm³ de la disolución en tubos Falcon® de 50 cm³, los cuales fueron sumergidos en agua

fría durante 30 min (20 °C), y a continuación fueron almacenadas bajo refrigeración a 4 °C por 24 h.

Pruebas oscilatorias. Los ensayos dinámicos oscilatorios se realizaron en un reómetro Anton Paar® MCR 101 equipado con un sistema de cilindros concéntricos como herramienta de medición. Se tomaron inicialmente 2 tubos Falcon® con 25 cm³ de gel y se efectuaron primero dos barridos de esfuerzo por tratamiento (entre 0,1 y 10 Pa a una frecuencia constante de 0,1 Hz) para encontrar la región viscoelástica lineal que fuera común para todos los tratamientos. Se seleccionó un valor de 0,4 Pa (límite de viscoelasticidad lineal) como valor de esfuerzo constante para realizar los barridos de frecuencia, para lo que se tomaron otros dos tubos con 25 cm³ de gel y se realizaron dos barridos entre 0,1 a 10 Hz. Se efectuaron dos barridos de cada repetición, tomándose el valor de G' (módulo elástico) y G'' (módulo de pérdida) a 1 Hz para la

evaluación estadística. A partir de estos valores se determinó la tangente de pérdida = G''/G' .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se muestran los resultados promedios de viscosidad de la salmuera refrigerada y los

valores de las características viscoelásticas (G' , G'' y tangente de pérdida), de los geles de salmuera para cada punto de muestreo. Fue usado el software Design-Expert® versión 6 para obtener las superficies de respuesta y los ANAVAS correspondientes para estas variables a un nivel de significancia del 5%.

Tabla 2. Valores promedio de viscosidad aparente de la salmuera y propiedades dinámicas (G' , G'' y tangente de pérdida) de los geles de salmuera, en cada uno de los puntos de muestreo.

Punto de muestreo	Viscosidad aparente (Pa.s)	Módulo elástico (G') (Pa)	Módulo viscoso (G'') (Pa)	Tangente de pérdida
1 ^a	-	-	-	-
2	65,5	1607,50	252,25	0,157
3	774,1	411,75	62,45	0,152
4	1179,5	136,25	21,28	0,156
5	370,5	427,00	57,53	0,135
6	213,0	370,75	55,38	0,149
7	376,0	996,50	150,75	0,151
8 ^a	-	-	-	-
9	935,7	161,50	26,72	0,166
10	800,0	321,17	48,95	0,154
11	228,7	786,50	115,00	0,146
12	451,7	270,33	37,85	0,141
13	233,7	538,0	76,15	0,142
14	366,7	325,33	51,57	0,159

^a no evaluado

El primer aspecto evaluado fue la viscosidad aparente. Una salmuera con una viscosidad baja permite el fácil masajeo, posibilitando que la salmuera penetre en las piezas de carne durante el tiempo de reposo (Metalquimia,

2007). En la Figura 1, se observa la superficie de respuesta obtenida con los puntos de muestreo estudiados. Las curvas de nivel muestran las regiones que poseen viscosidades semejantes en la superficie de respuesta.

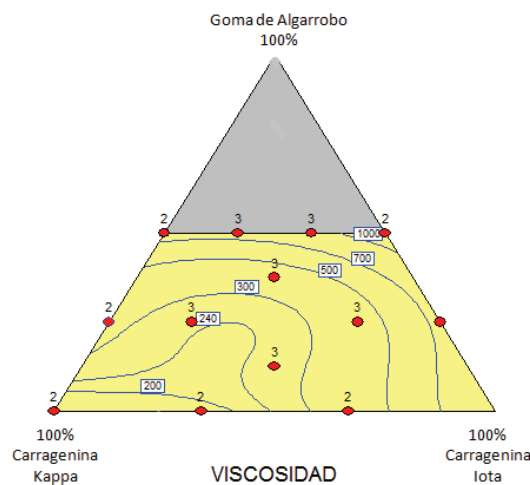


Figura 1. Superficie de respuesta para la viscosidad aparente de las salmueras líquidas preparadas con hidrocoloides.

Se observa que la región cercana al 100% de CK presentó la menor viscosidad y las regiones cercanas al 100% de CI y la línea que marca el 50% de GA, presentaron los valores más altos de viscosidad. En la región cercana a la combinación 50:50 (CI:GA), se logra observar una curva de nivel de 1000 Pa.s, siendo esta región la de mayor viscosidad. Esto coincide con un estudio realizado por Molina *et al.* (2010), quienes analizaron la viscosidad de una salmuera para jamón que contenía mezclas de varios hidrocoloides; los valores de viscosidad más bajos fueron para las salmueras que contenían altos porcentajes de carragenina kappa y una mezcla de carragenina kappa I y II, mientras que los mayores valores se obtuvieron cuando se uso la goma de algarrobo en altos porcentajes.

En la Tabla 3 se muestra la prueba de falta de ajuste para una superficie de respuesta lineal, la desviación estándar

y el ajuste obtenido para los modelos cuadrático, cúbico especial y cúbico. Se observa que a medida que el modelo es más complejo el F-calculado disminuye, por tanto el valor obtenido para el punto de muestreo, está más cerca del valor para ese punto en la superficie de respuesta. Pese a que el modelo cúbico es el sugerido en este estudio, su valor de P es de 0,0012, lo cual indica que la falta de ajuste es significativa ($P < 0,05$) o sea que la superficie podría explicarse mejor con un modelo más complejo y que no podría usarse para predecir, sino solo para mostrar tendencias. Adicionalmente, los valores de R^2 aumentan a medida que se incrementa la complejidad del modelo estudiado disminuyendo la respectiva desviación estándar, o sea que el valor de la superficie de respuesta es más cercano al valor obtenido en el muestreo. Para el modelo cúbico se obtuvo una desviación estándar de 45,64 Pa.s y un R^2 de 98,59%.

Tabla 3. Prueba de la falta de ajuste para la viscosidad aparente de las salmueras preparadas con los hidrocoloides GA, CK, y CI.

Modelo	Valor de F calculado	Probabilidad (P)	Desviación estándar	R ² ajustado	R ² predicho
Lineal	66,34	< 0,0001	158,24	0,7577	0,7294
Cuadrático	23,69	< 0,0001	86,97	0,9268	0,9017
Cúbico especial	11,57	< 0,0001	61,22	0,9637	0,9553
Cúbico	8,17	0,0012	45,64	0,9798	0,9686

El análisis de varianza (ANOVA) para un nivel de significancia del 5%, mostró efecto del tipo de hidrocoloide sobre la variable viscosidad aparente. Sin embargo, el efecto combinado CK*CI(CK-CI) no fue estadísticamente significativo. El ANOVA para la viscosidad aparente fue realizando para el modelo cúbico.

Con los componentes obtenidos del análisis estadístico, se determinó la expresión (2) para estimar la viscosidad aparente, y de esta forma encontrar la mezcla que reúna las condiciones buscadas. Para este caso, se determinó la menor viscosidad como una condición deseable en la salmuera, siendo la mezcla 100% de CK la que presentó el menor valor esperado para esta variable con 81,9 Pa.s (Figura 2). Además, para determinar el área en la cual no se presentaran diferencias significativas en esta variable, se sumaron a este valor dos desviaciones estándar, mostrando un resultado de 173,2 Pa.s. Esta zona también se puede visualizar en la Figura 2.

$$\begin{aligned}
 \text{VISCOSIDAD} = & +8584,59*GA + 81,86*CK + 997,68*CI - 14124,83 \\
 & GA*CK - 14312,65*GA*CI - 1177,06*CK*CI + 10651,60*GA*CK*CI - \\
 & 8255,33*GA*CK*(GA-CK) - 5934,76*GA*CI*(GA-CI) + 666,58 \\
 & *CK*CI*(CK-CI) \quad (2)
 \end{aligned}$$

Modulo elástico (G'). En la Figura 3 se observa la superficie de respuesta obtenida de acuerdo con el diseño estadístico. Se observa que la región cercana al 100% de CK presentó los valores de G' más altos, lo cual es consecuente con lo expresado con Fennema (2000), Calvo (2008); Imeson (2009), quienes consideran que la carragenina kappa forma geles duros. En la región cercana al 100 % de CI se presentaron valores medios de G', ya que la carragenina iota forma geles de mediana fuerza y la línea que marca el 50% para GA presentaron los menores valores de G', ya que la goma por sí sola no produce gel. En la región cercana a la combinación 50:50 (GA:CI), se observó una curva de nivel de 100 Pa, siendo esta región la de menor G'. Lundin y Hermansson (1997); Chen (2001) reportan los mayores valores de G' para geles de

carragenina kappa con adición de goma de algarrobo, y Dustan *et al.* (2001), con adición de KCl; estos autores

prepararon los geles en agua y los valores de G' se ubicaron entre 10.000 y 30.000 Pa.

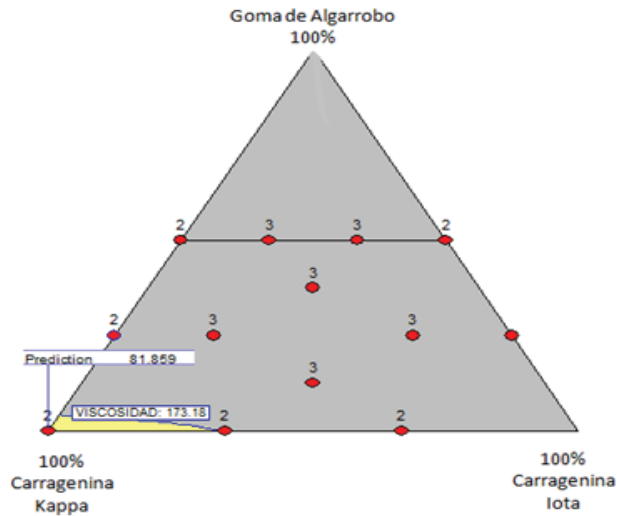


Figura 2. Representación dentro de la superficie de respuesta de la mezcla de hidrocoloides con menor viscosidad y el área de baja viscosidad.

En la Tabla 4 se muestra la prueba de falta de ajuste obtenidos para una superficie de respuesta lineal, cuadrática, cúbico especial y cúbico. Los resultados muestran que

para todos los modelos considerados, la prueba de ajuste es significativa ($P < 0,05$), o sea que la superficie podría explicarse mejor con un modelo más complejo.

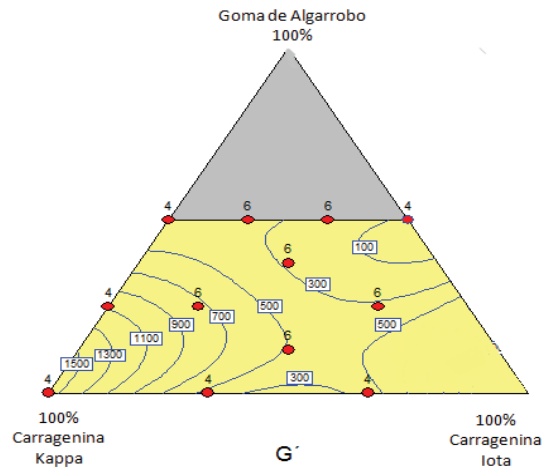


Figura 3. Superficie de respuesta para el módulo elástico (G') en los geles de salmuera preparados con los hidrocoloides GA, CK, y CI.

En la expresión (3), se encuentra el modelo para estimar la tendencia de los valores del módulo elástico (G'), en función de las concentraciones de los hidrocoloides definidas en este estudio. Para este caso, se determinó que un alto valor de G' es una condición deseable en el gel de salmuera, debido a que este componente mejora

la estabilidad estructural del producto (Mezger 2006); y en los jamones, es una característica deseable ya que se puede relacionar con una mejor mordida. Una evaluación de la expresión (3) muestra que la mezcla binaria 3,8:96,2 (GA:CK), es la que presenta el mayor módulo elástico con un valor esperado de 1602,66 Pa (Figura 4).

Tabla 4. Prueba de la falta de ajuste para el módulo elástico (G') de los geles de salmuera preparados con los hidrocoloides GA, CK, y CI.

Modelo	Valor de F calculado	Probabilidad (P)	Desviación estándar	R ² ajustado	R ² predicho
Lineal	85,19	< 0,0001	179,69	0,7766	0,7517
Cuadrático	47,69	< 0,0001	118,23	0,9033	0,8856
Cúbico especial	38,85	< 0,0001	101,61	0,9286	0,9169
Cúbico	36,15	< 0,0001	73,72	0,9624	0,9538

Adicionalmente, el análisis de varianza al 5% para el modelo cúbico, mostró que todos los efectos son significativos para la variable del módulo elástico (G').

$$G' = 7049,60*GA + 1577,56*CK + 2592,94*CI - 15815,05*GA*CK - 18984,46*GA*CI - 7481,37*CK*CI + 34541,55*GA*CK*CI - 11702,99*GA*CK*(GA-CK) - 5446,06*GA*CI*(GA-CI) + 2511,25*CK*CI*(CK-CI) \quad (3)$$

Los resultados encontrados en este estudio son similares a los de Chen *et al.* (2001), quienes trabajaron con mezclas de CK y GA con adición de KCl, encontrando que el máximo efecto sinérgico se dio cuando la GA estaba al 8% en la mezcla, mientras que Fernández *et al.* (1991) determinaron el mayor G' cuando la relación de CK:GA fue de 4:1.

Además, al valor encontrado ($G' = 1602,66$ Pa) se restó el valor de dos desviaciones estándar dando 1455,22 Pa. De acuerdo con la predicción, cualquier mezcla en esta área no tendría diferencia estadística con respecto al óptimo. Esta zona también se puede visualizar en la Figura 4.

Tangente de pérdida. El tangente de pérdida se obtiene tomando el valor del módulo viscoso y dividirlo por el módulo elástico, donde valores bajos indican que en la estructura del gel prima la parte

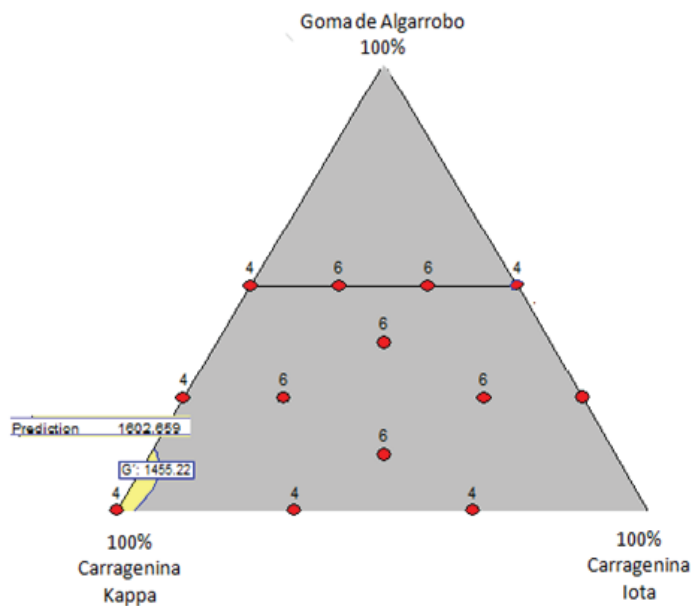


Figura 4. Representación dentro de la superficie de respuesta de la mezcla de hidrocoloides con mayor G' y área con alto G' .

elástica sobre la parte viscosa dando idea de una estructura más estable (Tadros, 2004; Mezger, 2006). En la Figura 5 se observa la superficie de respuesta obtenida con el diseño experimental establecido. La

región cercana al 100% de CI presentó los menores valores de tangente de pérdida (0,135). De acuerdo con Fennema (2000); Calvo (2008), la carragenina iota produce geles de mediana fuerza, elásticos y

de baja sinéresis, lo cual coincide con los valores obtenidos. El área cercana al 100% de CK presentó valores altos (0,15). Varios autores tales como Rhodia (1999); Fennema, (2000); López (2004); Calvo (2008) mencionan que la carragenina kappa produce geles duros pero quebradizos y de alta sinéresis, lo cual coincide con altos valores de la tangente de pérdida.

De la Figura 5, en la línea que marca el 50% para GA, se presentaron los mayores valores de la tangente de pérdida,

ya que la goma por si sola produce viscosidad pero no forma gel. En la región alrededor de la mezcla terciaria 10:70:20 (GA:CK:CI), se observa un área con un valor de tangente de pérdida de 0,14; lo cual puede ser originado a posibles efectos sinérgicos entre los tres hidrocoloides que mejoraron la microestructura del gel. Los valores de la tangente de pérdida para los geles variaron entre 0,135 y 0,16 indicando un predominio del módulo elástico (G'). Vanegas (2009) evaluó el uso de de goma de algarrobo, goma xántica y carragenina kappa en un complemento nutricional líquido para niños, encontrando valores de

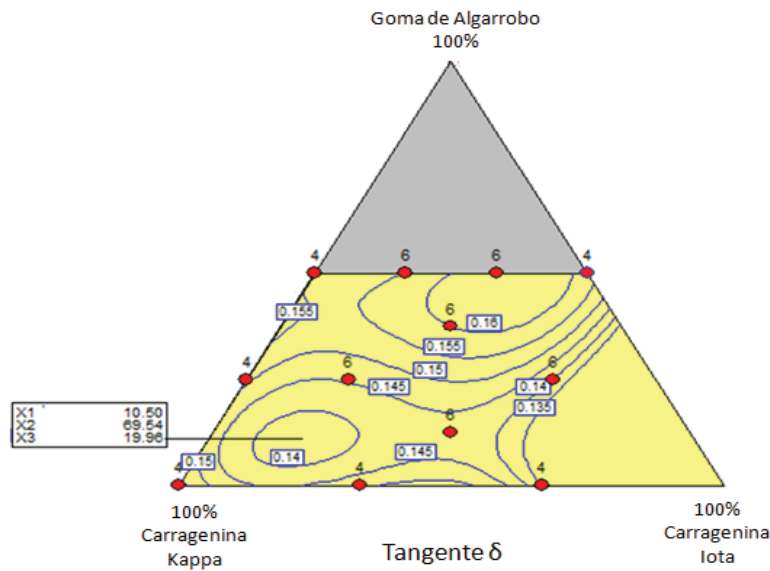


Figura 5. Superficie de respuesta para el tangente de pérdida de los geles de salmuera preparados con los hidrocoloides GA, CK, y CI.

tangente de pérdida entre 1,31 y 2,17. En la Tabla 5 se muestra la prueba de falta de ajuste para la variable tangente de pérdida para los diferentes

modelos propuestos. La probabilidad es mayor al 0,05 en el modelo cuadrático y en el modelo cúbico; pese a que los dos modelos son sugeridos por el

Tabla 5. Prueba de la falta de ajuste para el tangente de pérdida de los geles preparados con los hidrocoloides GA, CK, y CI.

Modelo	Valor de F calculado	Probabilidad (P)	Desviación estándar	R ² ajustado	R ² predicho
Lineal	3,10	0,0051	0,01021	0,2291	0,1738
Cuadrático	1,58	0,1731	0,00912	0,3838	0,3142
Cúbico especial	1,80	0,1312	0,00917	0,3776	0,2991
Cúbico	0,49	0,6136	0,00875	0,4329	0,3187

El análisis de varianza a un nivel de significancia del 5% para la variable tangente de pérdida usando el modelo cúbico, estableció que los efectos no significativos son: GA*CK, GA*CK (GA-CK), GA*CI(GA-CI).

análisis estadístico, el modelo cúbico presenta la menor desviación estándar (0,00875) y mayor valor de R^2 (0,32). La prueba de falta de ajuste no fue estadísticamente significativa en el modelo cúbico, por lo cual el modelo estimado puede ser usado para predecir la variable tangente de pérdida en función de los hidrocoloides estudiados.

Del análisis estadístico (ANOVA) se obtuvieron los coeficientes para definir el modelo de predicción para la tangente de pérdida. Para este caso se determinó que un valor bajo de tangente de pérdida es deseable, ya que en el gel producido

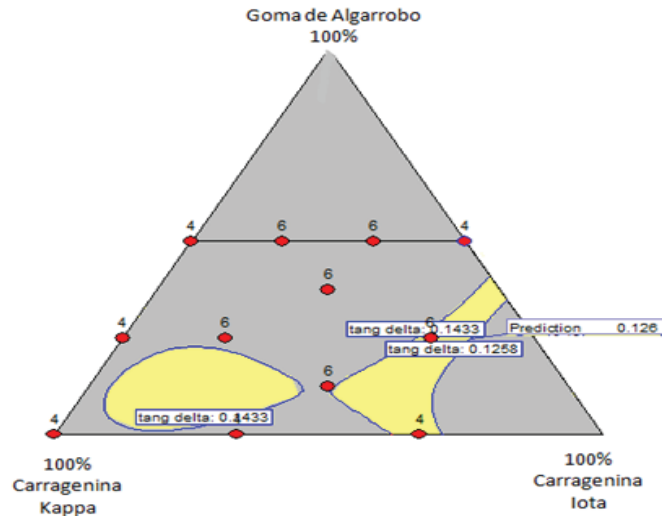


Figura 6. Representación dentro de la superficie de respuesta de la mezcla de hidrocoloides con el menor tangente de pérdida y el área que no presenta diferencia estadística con el óptimo.

por la salmuera predomina la parte elástica sobre la parte viscosa, dando un gel más estable, siendo la mezcla terciaria 24,69:11,71:63,60 (GA:CK:CI), la que presentó el menor tangente de pérdida en la superficie de respuesta con un valor esperado de 0,1258 (Figura 6). Además, se sumaron a este valor dos desviaciones estándar dando 0,1433; según la predicción, cualquier mezcla en esta área no tendría diferencia estadística con respecto al óptimo. Esta zona también se puede visualizar en la Figura 6.

$$\begin{aligned} \text{Tangente} = & -0,19*GA+0,16*CK - 0,029*CI+ 0,66*GA*CK+ \\ & 1,06*GA*CI+0,35*CK*CI- ,45*GA*CK*CI+0,48*GA*CK \\ & *GA-CK)+0,45*GA*CI*(GA-CI)-0,33*CK*CI*(CK-CI) \end{aligned} \quad (4)$$

El valor de tangente de pérdida no se puede analizar de forma individual, ya que un valor bajo indica estabilidad del gel pero no indica un gel elástico, esta interpretación debe ir acompañada de los valores de G' y de esa forma lograr un gel estable y que sea fuerte. En la Figura 6 se observan dos regiones; la región donde la mezcla tiene altos porcentajes de CI, está acompañada por bajos valores de G' ; mientras que el área con altos porcentajes de CK está acompañada de altos valores del módulo

elástico (G'). Así, en la Figura 7 se combinaron los dos criterios: bajo tangente de pérdida y alto valor de G' , dando un punto óptimo con esta respectiva combinación.

CONCLUSIONES

La adición de goma de algarrobo, carragenina kappa y carragenina iota individualmente o en mezclas (binarias y/o terciarias) tiene efectos significativos sobre las propiedades reológicas de las salmueras utilizadas para inyección de jamones cocidos. Las salmueras que contenían mayor porcentaje de carragenina kappa presentaron la menor viscosidad; las que tenían mayor porcentaje de carragenina iota presentaron una viscosidad media y la mayor viscosidad se alcanzó con la mezcla 50: 50 (GA:CI). Los mayores valores del módulo elástico (G') se presentaron en la región cercana al 100% de CK, evidenciándose también un efecto sinérgico con la GA donde el mayor G' en el gel de salmuera se presentó en la mezcla 3,6:96,4 (GA:CK).

Los menores valores de la tangente de pérdida se presentaron en dos regiones; en la primera estuvo

acompañada de bajos valores de módulo elástico correspondiente a los mayores porcentajes de CI; y en la segunda se presentó acompañada de altos valores del módulo elástico para la mezcla

terciaria 10,16:78,45:11,39 (GA:CK:CI), siendo esta combinación correspondiente a la zona óptima para la formulación de los hidrocoloides en salmueras de inyección para jamones cocidos.

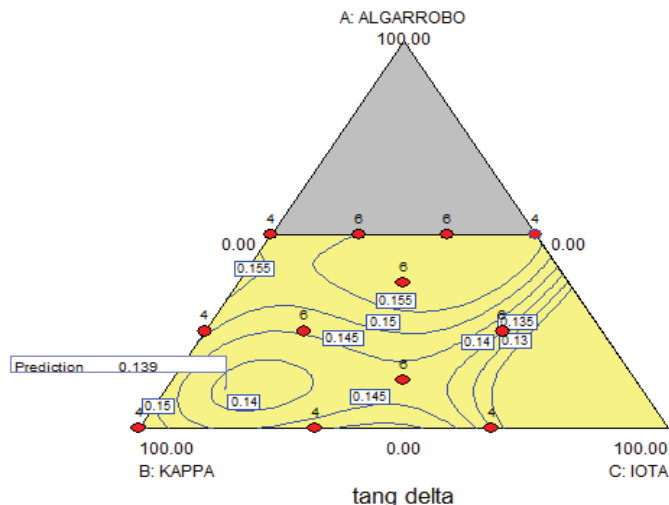


Figura 7. Zonas determinadas estadísticamente con baja tangente de pérdida y alto valor de G' para geles de salmuera preparados con los hidrocoloides GA, CK, y CI.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a Dirección de Investigaciones Medellín (DIME) y a la empresa Tecnas S.A. por el apoyo brindado en la realización de esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

Arda, E., S. Kara and O. Pekcan. 2009. Synergistic effect of the locust bean gum on the thermal phase transitions of k-carrageenan gels. *Food Hydrocolloids* 23(2): 451–459.

Calvo, M. 2008 *Bioquímica de alimentos*. <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/azucares/xantana.html>; consulta: mayo 2010.

Chen, Y., M. Liao, D. Boger and D. Dunstan. 2001. Rheological characterization of K-carrageenan/locust bean gum mixtures. *Carbohydrate Polymers* 46(2): 117-124.

Ciro, H.J. 2006. *Reología de fluidos y su aplicación en el área de los alimentos*. Investigación (Ingeniería Agrícola y Alimentos). Facultad de Ciencias

Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 82 p.

Amako, D.E. and Y.L. Xiong. 2001. Effects of carrageenan on thermal stability of proteins from chicken thigh and breast muscles. *Food Research International* 34(2): 247-253.

Dunstan, D., Y. Chen, M. Liao, R. Salvatore, D. Boguer and M. Prica. 2001. Structure and rheology of the k-carrageenan/locust bean gum gel. *Food Hydrocolloids* 15(4-6): 475-484.

Fennema, O. 2000. *Química de los Alimentos*. Editorial Acribia, Zaragoza, España. 1.280 p.

Fernandez, P.B., M.P. Goncalves and J.L. Doublier. 1991. A rheological characterization of kappa carrageenan/galactomannan mixed gel: a comparison of locust bean gums samples. *Carbohydrate Polymers* 16(3): 253-274.

González, M., H. Suárez y O. Martínez. 2009. Correlación de características fisicoquímicas y sensoriales de jamón de cerdo en función del proceso de cocción y temperatura de almacenamiento. *Vitae* 16(2): 183-189.

- İbanoğlu, Ş. and E. İbanoğlu. 1998. Rheological characterization of some traditional turkish soup. *Journal of Food Engineering* 35(2): 251-256.
- Imeson, A.P. 2009. Carrageenan, furcelleran and other seaweed-derived products. pp. 87-101 In: Phillips, G.O. and P.A. Williams (eds.). *Handbook of hydrocolloids*. Second edition. Woodhead Publishing Series in Food Science, Sawston, Cambridge, UK. 948 p.
- López, J. 2004. Curso virtual de industria cárnica de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá ICTA. En: http://virtual.unal.edu.co/cursos/agronomia/2001819/lecciones/cap05/cap05_01.; consulta: mayo 2010.
- Lorenzo, G., N. Zaritzky and A. Califano. 2008. Modeling rheological properties of low-in-fat o/w emulsions stabilized with xanthan/guar gums. *Food Research International* 41(5): 487-494.
- Lundin, L. and A. Hermansson. 1997. Rheology and microstructure of Ca and Na-k-carrageenan and locust bean gum gels. *Carbohydrate Polymers* 34(4): 365-375.
- Metalquimia. 2007. Aditivos e ingredientes en la fabricación de productos cárnicos cosidos de musculo entero. Documentos técnicos. http://www.metalquimia.com/home_esp.htm; consulta: abril 2011.
- Mezger, T.G 2006. *The Rheology Handbook*. Second edition. Vincentz Network, Hannover, Germany. 299 p.
- Molina, F., D. Restrepo y J. López. 2010. Estudio preliminar sobre la influencia de la carragenina kappa, kappa I-II y goma tara en la viscosidad y tixotropía de las salmueras de inyección para jamones cocidos picados de cerdo. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 63(2): 5707-5715.
- Montoya, L. 2004. Efecto de la adición de alginato de sodio sobre las purgas de un jamón cocido, tajado, empacado al vacío. Informe final de Especialización en Ciencia y Tecnología en Alimentos. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 69 p.
- Rao, M.A. 1999. *Rheology of fluids and semisolid foods: principles and applications*. Aspen Publishers, Maryland, USA. 433 p.
- Rhodia (Compañía). 1999. Ventajas de utilizar sistemas de hidrocoloides en productos cárnicos. Medellín. 60 p.
- Steffe, J. 1996. *Rheological Methods in Food Process Engineering*. Second edition. Freeman Press, East Lansing, MI, USA. 418 p.
- Tadros, T. 2004. Application of rheology for assessment and prediction of the long-term physical stability of emulsions. *Advances in Colloid and Interface Science* 108-109: 227-258
- Tovar, A. 2005. *Guía de Procesos para la Elaboración de Productos Cárnicos*. Editorial Convenio Andrés Bello, Bogotá Colombia. 32 p.
- Vanegas, L.S. 2009. Evaluación del efecto del uso de hidrocoloides en la reológica de un complemento nutricional líquido. Tesis Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 104 p.
- Verdeken, D., N. Neirinck, P. Meeren and K. Dewettinck. 2005. Influence of k-carrageenan on the thermal gelation of salt-soluble meat proteins. *Meat Science* 70(1): 161-166.

