

CARACTERÍSTICAS VISCOELÁSTICAS Y ESTIMACIONES DE MASAS MOLECULARES EN ALMIDÓN DE OCA (*Oxalis tuberosum*)

Patricia Glorio Paulet¹, Luis Arturo Bello-Pérez², Francisco Salas¹ y Evelyn Buleje^{*3}

RESUMEN

Se obtuvo almidón de *Oxalis tuberosum* por extracción acuosa y sedimentación. Una parte fue sometida a un tratamiento con 95% DMSO para el estudio de propiedades moleculares por técnicas de dispersión multiángulo de luz láser (MALLS). Se estimó los siguientes valores de masas molares promedio y radios de giro para tres entradas de almidón de oca peruana: oca de Ancash, entrada: AMM5144 = $7,17 \times 10^6$ g/mol y 114,2 nm respectivamente; oca amarilla mawuay de Cajamarca, Chota, entrada: AGM 5093 = $9,35 \times 10^6$ g/mol y 123,2 nm y oca colorada de Junín, entrada: AVM5543 = $8,38 \times 10^6$ g/mol y 108,3 nm.

El almidón nativo fue destinado a la caracterización viscoelástica, en dispersiones del 10% (W/V) fue analizado utilizando un Reómetro AR 2000, con un sensor de geometría de cono y plato paralelos. Se observó que para todas las entradas de oca durante el calentamiento hasta 95°C, los módulos G' y G'' después de los 150 segundos adoptan un comportamiento lineal paralelo de muy poca pendiente, siendo $G' > G''$; manteniendo dicha temperatura, G' y G'' se incrementaron linealmente, siendo la pendiente de G'' mayor. Conforme pasa el tiempo durante el enfriamiento hasta 25°C $G' > G''$ aumentando sus valores promedio para las tres entradas de manera paralela hasta estabilizarse después de 300 segundos. Después de 12 minutos a 25°C se observó que el módulo de elasticidad G' aumenta muy ligeramente en comparación con el módulo viscoso G'' quien lo hace a una mayor pendiente, lo que sugiere la formación de un gel suave con variadas aplicaciones gastronómicas.

Palabras clave: oca, almidón, MALLS, G' , G'' .

VISCOELASTIC BEHAVIOR AND MOLAR MASS ESTIMATIONS OF OCA (*Oxalis tuberosum*) STARCH

ABSTRACT

Oxalis tuberosum starch was obtained by water extraction and sedimentation. Part of the starch was treated with 95% dimethyl sulphoxide for being used in the study of macromolecular features by multi-angle laser light scattering techniques. The apparent weight – average molar mass (M_w) and weight-average root-mean square radius of gyration (R_g) were estimated as follows for peruvian oca starches: from Ancash Collecting Number AMM5144 = $7,17 \times 10^6$ g/mol and 114,2 nm respectively; yellow oca mawuay from Cajamarca, Chota: Collecting Number AGM 5093 = $9,35 \times 10^6$ g/mol, 123,2 nm; and reddish oca from Junin: Collecting Number AVM5543 = $8,38 \times 10^6$ g/mol, 108,3 nm.

¹ Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

* Av. La Molina s/n La Molina - Ap.12-056 Lima Perú.
pgp@lamolina.edu.pe

² Instituto Politecnico Nacional - Acapulco México.

³ Bióloga, estudiante de Post-Grado. Universidad Nacional Agraria La Molina
Av. La Molina s/n La Molina - Ap.12-056 Lima Perú.

Viscoelastic properties of oca native starches (10% solids) were studied using an AR 2000 Rheometer (cone and plate geometry). It was observed after 150 seconds during the heating period and for all oca collection numbers starches studied, that storage G' and loss moduli G'' adopted a linear behavior of small slope, being G' (modulus of elasticity) $>$ G'' (modulus of viscosity). When temperature was kept constant at 95°C, G' and G'' showed a linear increase and for G'' the slope was higher. As time passed by during cooling up to 25°C, $G' > G''$ showing a parallel increase in their value which turned mostly stable after 300 seconds. Following a period of aging of 12 minutes at 25°C it was observed that G' increases slowly meanwhile G'' showed a steeper slope increase. All the results suggest that oca starch gels are soft enough for important gastronomic applications.

Key words: oca, starch, MALLS, G' , G''

INTRODUCCIÓN

La oca, llamada también papa oca o íbia (*Oxalis tuberosum*) es un cultivo muy antiguo en la región; sin embargo, la información científica disponible acerca de su composición¹ y propiedades de sus almidones no es abundante; los datos que existe hasta el momento son principalmente de estudios realizados con variedades ecuatorianas², bolivianas³ y mexicanas⁴; sin embargo, tal como lo reportan en su revisión sobre cultivos andinos Sperling y King⁵ son muy numerosas las ascensiones peruanas en comparación con las de otros países. El esfuerzo realizado en el presente trabajo contribuye a disminuir esta brecha de información.

Según lo reporta Tapia⁶ la domesticación de la oca se evidencia en representaciones cerámicas. En los andes de Perú y Bolivia, la oca se encuentra comúnmente a 3800 msnm. En Nueva Zelanda, conocida como ñame (una variedad color rosa carne), fue introducida en 1860 con buena aceptación y se cultiva en la costa con precipitaciones moderadas, de entre unos 550 y unos 2100 mm anuales. Variedades bolivianas en la planicie de Belén han reportado rendimientos del orden de 33,0 a 26,2 TM/Ha. El rendimiento suele ser menor que el de la papa, ya que es un tubérculo de maduración tardía pero sin embargo es más resistente a las plagas. La clasificación indígena involucra, además, variables como el contenido de oxalato que le confiere mayor o menor sabor amargo, mientras que la clasificación de la oca en tres formas hortícolas ha sido sugerida por Cárdenas citado por Tapia⁶ como sigue: Forma alba : tubérculos blancos o hialinos (el primer ecotipo descrito procedió de Chile) ; Forma flava : ocas de amarillo claro o pigmentadas posiblemente de flavones y amarillo intenso o naranjado con caroteno; y forma roseo-violácea : ocas de tubérculos con coloración desde rosa claro hasta el violáceo muy oscuro, casi negro (rojas, magentas, púrpuras).

En trabajos anteriores⁷ hemos extraído y caracterizado el almidón obtenido en 18 entradas de oca seleccionadas de diferentes lugares del territorio peruano, determinándose los contenidos de amilosa y temperaturas de gelatinización utilizando métodos instrumentales como los del calorímetro diferencial de barrido (DSC), reportando valores de amilosa que oscilan entre los 16,4y 21,6 % para las diferentes entradas. Los datos de viscosidad utilizando el *rapid visco analyzer* (RVA) han permitido identificar que las ocas peruanas presentan temperaturas de gelatinización (entre 57 y 58 °C), algo menores a otras variedades de ocas extranjeras reportadas por la literatura, lo que indicaría una mayor facilidad de cocción.

Los materiales viscoelásticos se caracterizan por una estructura tridimensional incompleta⁸ que se destruye por la aplicación de un esfuerzo y sólo se recupera parcialmente cuando el esfuerzo es removido. El material es más elástico cuando es más resistente a la ruptura y es más viscoso en el caso contrario. Se han descrito algunos parámetros como G' , módulo de almacenamiento y G'' como módulo de pérdida. El primer parámetro se define como el

esfuerzo en fase con la deformación, dividida por la deformación en una prueba sinusoidal. El segundo, como el esfuerzo desfasado 90° respecto a la deformación, dividida por la deformación en una prueba sinusoidal. G' es una medida de la energía almacenada y recuperada por el material en un ciclo y es un indicador del componente elástico del material, mientras que G'' es una medida de la energía disipada por calor por el material en un ciclo y es un indicador del componente viscoso del material.

Como parte de la caracterización se estiman las masas moleculares del almidón identificándose la influencia de las cantidades relativas de amilosa y amilopectina en las masas moleculares promedio del polímero. Asimismo, tal como lo señala Santacruz et. al.⁹, los almidones son frecuentemente modificados y adicionados en los diferentes procesos alimentarios a fin de contribuir con características específicas. Es posible, sin embargo, encontrar almidones naturales con esas características reológicas específicas; por ello, este trabajo determina los coeficientes de viscoelasticidad (G' y G'') en el almidón de oca, utilizando pruebas dinámicas en las etapas de formación y gel a 95°C y retrogradación a 25°C .

PARTE EXPERIMENTAL

Lugar de ejecución

El procedimiento de extracción y preparación de los almidones para los diferentes análisis se realizó en los laboratorios físico-químicos de la Facultad de Industrias Alimentarias de la UNALM en Lima -Perú; las determinaciones de las características viscoelásticas y estimaciones de masas moleculares en los laboratorios de Investigación del Instituto Tecnológico de Acapulco - México.

Tabla 1. Oca utilizada.

Número de Ascensión	202073 (Oca 12)	202342 (Oca 01)	202011 (Oca 14)
Nombre de la Ascensión	Oca	Oca colorada	Oca amarilla mawuay
Género	Oxalis	Oxalis	Oxalis
Especie	Oxalis tuberosa	Oxalis tuberosa	Oxalis tuberosa
Estatus biológico	Cultivo tradicional Landrace	Cultivo Tradicional Landrace	Cultivo Tradicional Landrace
País de Origen	Perú	Perú	Perú
Collecting Number	AMM 5144	AVM 5543	AGM 5093
Lugar	Ancash, Yungay, Comunidad Huashcau	Junín, Concepción Comunidad Huánchar	Cajamarca, Chota Rojaspampa - Choctapata
Latitud; longitud; elevación	-9, 18; -77, 63; 3800 msnm	3 3376 msnm.	-6, 55; -78, 63; 2800 msnm

Material Biológico

Los tubérculos de Oca fueron proporcionados por el Centro Internacional de la Papa. Las características del material Biológico utilizado se presentan en la tabla 1.

Materiales

Material necesario para trabajo en laboratorio

Equipos y Reactivos

- Equipo de dispersión de luz láser. Se utilizó un equipo DAWN desarrollado por Wyatt Technology acoplado a un detector auxiliar de índice de refracción: IR (Wyatt Technology Corporation, 2002).
- AR 2000 Reometro (TA instruments, Inc DE. USA) con una geometría de cono y plato paralelos, donde el cono de acero presentó un ángulo de 2° y diámetro de 60 mm, truncación de 60 µm luz entre el cono y el plato (*gap size*) de 1000 µm.
- Dimetil sulfóxido (DMSO), obtenidos de Sigma, acetona de Baker y éter dietílico de Merck.

Métodos de análisis

Obtención del almidón:

- Se obtuvo el almidón de cada una de las entradas obtenidas siguiendo el siguiente método desarrollado en el CIP¹⁰ y es el siguiente:
- Se realizó una selección mediante una inspección visual, luego se procedió a eliminar las extremidades y cortar el tubérculo en cubos medianos, después se homogenizó mezclando manualmente y se pesará aproximadamente 1 kg.
- Con la finalidad de romper las células y liberar los gránulos de almidón se utilizará una licuadora por 2 minutos a velocidad máxima, utilizando dos litros de agua.
- Mediante una malla de tela se filtró el afrecho producido añadiendo dos litros de agua, luego se exprimirá al máximo la tela para dejar pasar el almidón a un recipiente de 4 litros de capacidad; la pulpa y el afrecho restante se eliminaron y se procedió a la sedimentación.
- La sedimentación se realizó por tres horas, al cabo de las cuales se eliminaron cuidadosamente el sobrenadante, quedando en el fondo del recipiente el sedimento de almidón.
- Para diluir y remover el sedimento se añadieron aproximadamente dos litros de agua.
- El almidón se filtró a través de un tamiz de 200 mesh y se dejó reposar en una bandeja de plástico por dos horas.
- Se dejó sedimentar por dos horas, para luego eliminar el sobrenadante. Después con ayuda de una espátula de plástico se removió el sedimento agregando dos litros de agua y dejando reposar por 2 horas. Este procedimiento se repitió tres veces.
- Después del último lavado se dejó a temperatura ambiente de 1 a 2 horas, luego se procedió a desmenuzar el almidón con ayuda de una espátula; enseguida se colocó en bandejas de aluminio y se llevó a estufa a 45°C por 24 horas. Luego se procedió a pesar el almidón obtenido para obtener el rendimiento.

Tratamiento del almidón con dimetilsulfóxido (DMSO) para las estimaciones de masas moleculares con técnicas de dispersión de luz láser (MALLS):

Se utilizó el método propuesto por Bello-Pérez y col.¹¹ 1 gramo de muestra se disolvió en 20 ml de dimetilsulfóxido (DMSO) al 95%, dejando en agitación por 3 días a temperatura ambiente. La muestra se precipitó con 60 ml de etanol y almacenó toda la noche a 4° C. El precipitado fue filtrado y posteriormente lavado con 10 ml de acetona y 10 ml de éter dietílico. Después de secar el precipitado a temperatura ambiente por unas horas, para eliminar los restos de disolventes, se colocó en una estufa a 45° C por 18 a 20 hrs.

Determinación de tamaños moleculares por la técnica de análisis instrumental MALLS:

Este método se basa en que conforme el tamaño de la molécula se incrementa, la luz dispersada por ella es mas pronunciada en la dirección hacia delante, cuanto mayor sea el tamaño de la partícula también mayor será la disimetría de la luz dispersada entre los ángulos de dispersión bajos y altos. El DAWN utilizado presentó detectores multiángulo¹² que permiten realizar estas mediciones de dispersión de luz de manera simultánea. A muy bajas concentraciones se observa una relación entre el ángulo de dispersión y las propiedades moleculares, las que fueron calculadas utilizando el programa ASTRA® que utiliza ecuaciones reportadas anteriormente por Yoo y Jane¹³, (2002); utilizándose la ecuación de primer orden de Zimm para el ajuste de los datos y fijando el coeficiente virial (A2) a un valor de cero¹⁴.

Determinación de los coeficientes de viscoelasticidad:

De manera similar a lo reportado por otros investigadores¹⁵, el reómetro estaba conectado a una computadora con un sistema de software de AR® (*Rheology advantage data analysis*) el cual, además del análisis de los datos, permite el registro sistemático del tiempo, temperatura, ángulo de frecuencia, ángulo de fase y G' y G'', entre otros. En el equipo, la aplicación de un torque se transforma en deformación debido al movimiento rotacional. Además, la presencia de una capucha en el equipo ayudó a prevenir la evaporación del agua y la pérdida de calor. Se usó el método oscilatorio dinámico, por el cual primero se obtuvieron para todas las muestras un barrido de deformaciones (o de amplitud del esfuerzo) a fin de determinar la región lineal donde las propiedades reológicas no son dependientes ni de la deformación ni del esfuerzo. Luego se procedió a realizar un barrido de frecuencias, para indicar los cambios en el comportamiento elástico y viscoso de la muestra con respecto al tiempo de aplicación de la deformación o del esfuerzo.

El equipo permitió estudiar un barrido de temperaturas, partiendo de 25°C; el equipo subió la temperatura de la muestra a 95°C, mantuvo la temperatura a 95°C por 12 minutos, luego la bajó a 25°C y finalmente mantuvo la temperatura a 25°C por un tiempo similar. El tiempo de equilibrio fue de 1 minuto. En cada una de estas etapas se realizaron los registros de las características reológicas de la muestra. Durante los barridos de deformación el % de strain (% de deformación) varió desde 0,1 a 5%, con una frecuencia de 1,0 Hz; valores absolutos de flujo: torque 1 micro N/m; velocidad angular 6,284 (rad/seg)

Los resultados del barrido de deformación fueron realizados con la finalidad de identificar la zona de viscoelasticidad lineal y comprobar que los posteriores barridos de frecuencia con los que se estudió la evolución de los valores G' y G'' se realicen a un nivel de deformación fija dentro de esta zona. De esta manera para los estudios con barridos de frecuencia, ésta varió desde 0,1 a 10 Hz., fijándose la deformación a % strain = 0,5, cuando se estudió la evolución de estos coeficientes de viscoelasticidad al mantener la temperatura constante a 95°C y 25°C después del enfriamiento. Para el caso de los estudios durante el calentamiento y el enfriamiento, esto se consiguió a % strain = 0,3.

Metodología experimental

Para las estimaciones de masas moleculares se prepararon 5 concentraciones diferentes de la muestra en estudio que fueron sometidas a tratamiento con DMSO, las que fueron solubilizadas en agua con ayuda de un microondas dentro de un recipiente a presión¹¹ e inyectadas en el equipo MALLS.

Para el AR 2000 Reómetro, se prepararon tres repeticiones para cada una de las muestras bajo la forma de dispersiones al 10% (W/V) de almidón de oca nativo en agua destilada y se lograron correr un mínimo de dos repeticiones y tres en la mayoría de las etapas de cocción del

almidón. Los resultados para los estudios de viscoelasticidad, fueron promediados usando la opción "Merge" que ofrece el software "TA data análisis" que viene con el equipo; esta opción permite promediar todos los datos para un mismo valor X siempre que los valores de la variable Y no tengan una variabilidad mayor del 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación de tamaños moleculares por la técnica de análisis instrumental MALLS:

Los resultados encontrados indicaron los siguientes valores de Masas Molares Promedio y Radios de Giro que se observan en la tabla 2; cabe señalar que por corresponder a almidones de oca que contienen ambos amilosa (entre un 16,94 – 21,68%)⁷ y amilopectina, presentan valores de masas molares promedio ubicadas entre los valores reportados por la literatura¹³ para la amilosa pura: $2,8 \times 10^5$ y la amilopectina pura: 7×10^7 y $5,7 \times 10^9$. Los contenidos de amilosa tienden a decrecer los valores de R_g y Mw en la mezcla¹³. Se menciona que para polímeros puros estos valores en promedio son: R_g 10 – 60 nm para amilosa R_g 200nm para amilopectina y Mw 10^5 – 10^6 g/mol para amilosa y 2×10^8 g/mol para amilopectina¹⁶. Los valores encontrados permiten recomendar rangos de poros para purificaciones posteriores usando columnas de exclusión molecular que permitirían posteriormente determinaciones más precisas separando la amilosa de la amilopectina y permitan utilizar técnicas de HPSEC-MALLS; sin embargo, también se confirma la dificultad ya antes reportada¹⁵ de encontrar una columna de exclusión molecular apropiada para la separación de altos Mw por técnicas de HPSEC - MALLS. Esto debido principalmente a la amilopectina de alto peso molecular. En este sentido algunos autores han reportado el éxito de técnicas que no requieren de columnas tales como las del fraccionamiento en un campo de flujo (FFF) previas al análisis en el DAWN.

En la figura 1, se presenta un modelo de ploteo Zimm para una de las muestras de oca estudiadas; todas las otras muestras presentaron comportamiento similar. Las diferencias entre ellas se observan en el cálculo de los valores RMS y MM a través de los cuales se estima R_g y Mw, los que son presentados en la tabla 2 para cada una de las muestras.

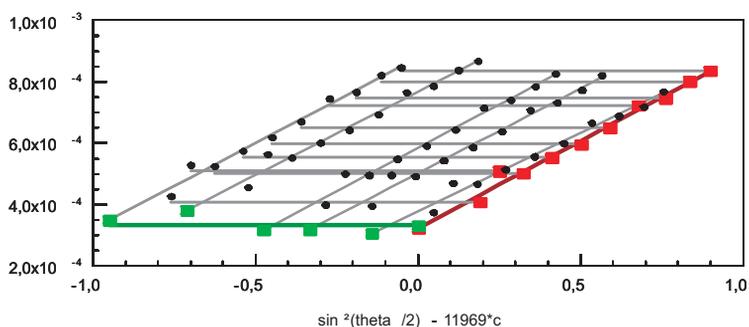


Figura 1. Ejemplo de ploteo Zimm para oca AGM 5093.

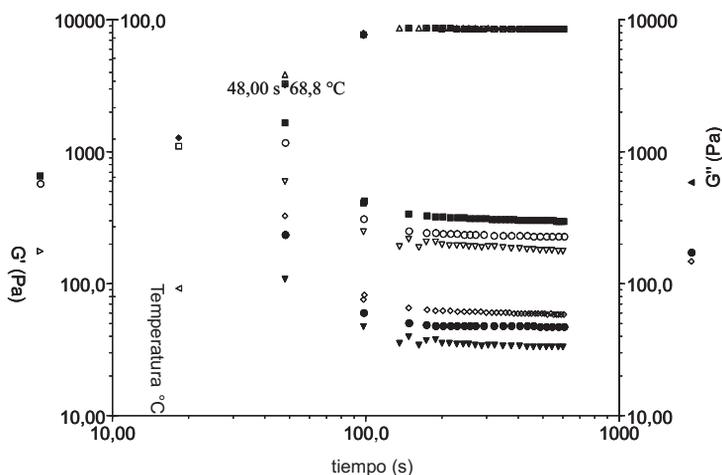
RMS : 123,2 ± 2,8 nm
 MM : (9,354 ± 0,476)e+6 g/mol
 A2 : 0,000e+00 mol mL /g²

Tabla 2. Resultados de estimaciones MALLS en el análisis de almidón de oca.

Entrada	Mw	Rg	%amilosa
AVM5543	$(8,386 \pm 0,297)e^6$ g/mol	108,3 \pm 3,1 nm	21,31
AGM5093	$(9,354 \pm 0,476)e^6$ g/mol	123,3 \pm 2,8nm	18,53
AMM5144	$(7,175 \pm 0,271)e^6$ g/mol	114,2 \pm 2,7nm	16,65

Análisis reológico de barrido de frecuencias durante el calentamiento.

Con las geometrías indicadas en la sección de materiales y métodos fue difícil poder ubicar un comportamiento de tipo lineal con los datos de las dispersiones de almidón trabajadas a 25°C sin calentamiento previo. Este fenómeno se explica en parte a que a 25°C los almidones de las ocas estudiadas se dispersan dificultosamente en agua, no forman verdaderas soluciones por lo cual es difícil determinar las características reológicas G' y G'' propuestas con la geometría disponible en el equipo, proponiéndose la necesidad de explorar para estos casos de un sistema de platos completamente paralelos. Debido a ello el comportamiento viscoelástico a temperaturas inferiores y hasta 25°C no fueron estudiados en este trabajo.

**Figura 2** Propiedades viscoelásticas almidón de oca. (Time Sweep, 1 Hz calentamiento hasta 95°C)

- ● BF_oca AMM 5144(Calentamiento 68.8°-95°), Time sweep step 1
- ◆ BF_oca AGM 5093(Calentamiento), Time sweep step 1
- ▼ ▲ BF_oca AVM 5543 (Calentamiento), Time sweep step 1

Si observamos en la figura 2 el comportamiento reológico ofrecido por el equipo en las condiciones de experimentación de tipo barrido de frecuencia, observamos que los registros aparecen recién cuando el almidón ya se ha calentado hasta por o menos 68°C ya que se necesitaron por lo menos 48 segundos para que el equipo llegue al nivel de deformación constante propuesto. Debemos recordar que en trabajos anteriores hemos determinado que la gelatinización del almidón de oca peruana ocurre a bajas temperaturas (AGM 5093 $58^{\circ}\text{C} - 59,27^{\circ}$; AMM 5144 $58,25^{\circ}\text{C} - 59,52^{\circ}\text{C}$; AVM 5543 $57,9^{\circ}\text{C} - 59,77^{\circ}\text{C}$; valores de punto de gelatinización determinados por métodos de análisis amilográfico RVA y por DSC, respectivamente). Debido a ello, en la figura 2 se encuentra ya con una pasta viscoelástica donde se observan propiedades de líquido y de sólido. La formación de la pasta indica que seguido de conseguir la gelatinización aumenta el hinchamiento de los gránulos y la exudación de sus componentes moleculares con la eventual ruptura del gránulo. Esta dinámica de formación de pasta de alguna manera se estabiliza después de 148 segundos donde se observa que la pendiente de disminución de los coeficientes G' y G'' es mínima. Se observa asimismo que, a todos los niveles de frecuencia estudiados predomina el comportamiento elástico G' sobre el viscoso G'' , lo que es de esperar debido al moderado contenido de amilosa de este almidón determinado en trabajos anteriores por DSC (AGM 5093, 18,2%; AMM, 16,35%; AVM 5543, 21,31%; todos en base húmeda de almidón en polvo).

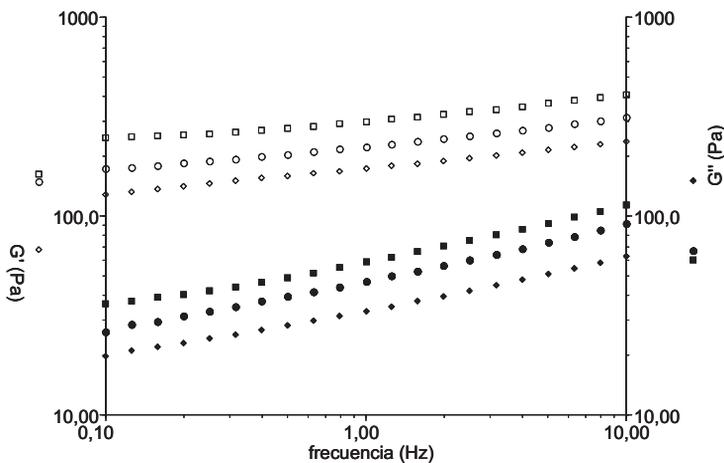


Figura 3 Propiedades viscoelásticas almidón de oca. (Barrido de Frecuencias, temperatura mantenida en 95°C)

- ● BF_oca AMM 5144 (holding 95°C), Frequency sweep step 2
- ■ BF_oca AGM 5093 (holding 95°C), Frequency sweep step 2
- ◇ ◆ BF_oca AVM 5543 (holding 95°C), Frequency sweep step 2

Análisis reológico de barrido de frecuencias a 95°C

En la figura 3 se observa que para el almidón de oca manteniendo la pasta a 95°C aumentan los coeficientes tanto elásticos como viscosos; sin embargo, el comportamiento viscoso lo hace con una mayor pendiente. Como lo mencionan Atwell y Thomas¹⁷ la viscosidad de la pasta es mayor cuando la mayoría de los gránulos están totalmente hinchados e intactos posteriormente la viscosidad disminuye cuando éstos son rotos y se pierde la integridad de la estructura. Kapri y Bhattacharya¹⁸ mencionan que en los gránulos hinchados hay una progresiva exudación de la amilosa hacia fuera donde eventualmente forma conexiones tipo gel. A esta temperatura, si bien algunos gránulos permanecen intactos e hinchan más (aumento de G'), otros, un mayor número ya se empiezan a romper (aumento de G'').

Análisis reológico del barrido de frecuencias durante el enfriamiento

Para los almidones de oca se observa en la figura 4 que los coeficientes G' y G'' van en aumento a una moderada pendiente conforme la temperatura baja hasta 27°C; luego el coeficiente G'' se mantiene casi constante hasta 25°C mientras que el coeficiente elástico G' sigue aumentando, pero a una menor pendiente. De esta manera, durante el enfriamiento se empieza a formar un gel el cual cuanto más firme, mayor sería el comportamiento elástico.

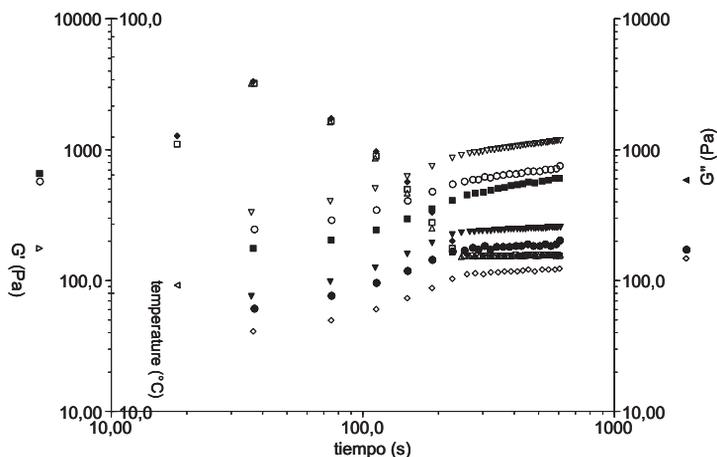


Figura 4. Propiedades viscoelásticas almidón de oca. (Time Sweep, 1 Hz enfriamiento hasta 25°C)

- BF_oca AMM 5144 (Enfriamiento, 95°-25°C), Time sweep step 2
- ◇◆ BF_oca AVM 5543 (Enfriamiento 95°-25°C), Time sweep step 2
- ▽▼△ BF_oca AGM 5093 (Enfriamiento 95°-25°C), Time sweep step 2

Análisis reológico de barrido de frecuencias a 25°C después del enfriamiento.

Después de bajar la temperatura a 25°C, se mantuvo dicha temperatura durante 12 minutos permitiéndose al equipo registrar los cambios en los coeficientes de viscoelasticidad, observándose el rango estudiado el comportamiento elástico predominante sobre el viscoso, lo que está en concordancia con lo reportado anteriormente³ para almidón de variedades mexicanas. Asimismo, en la figura 5 es notorio que conforme aumenta la frecuencia de deformación, hay un mayor pendiente en el incremento del comportamiento viscoso G'' en

comparación con G' ; esto nos indicaría que el gel formado con el almidón de oca es un gel más bien suave donde una mayor frecuencia en la deformación afecta su estructura tipo sólida. Al final del periodo de estudio se observa que los valores de ambos coeficientes se acercan bastante. Como ya anteriormente ha sido reportado, una mayor o menor firmeza de un gel dependería de la capacidad del almidón de formar un mayor número de reasociaciones no covalentes entre las cadenas de amilosa. El efecto de la amilosa de aumentar la firmeza de los geles durante el enfriamiento ha sido reportada por algunos investigadores como una de las causas iniciales de la firmeza del gel, el que luego cada vez se haría más firme a causa de la progresiva cristalización de la amilopectina y la co-cristalización de amilosa junto con amilopectina dentro del granulo durante el periodo de añejamiento a una determinada temperatura. Asimismo, la conservación de la integridad del gránulo ha sido encontrada importante para que tenga más fuerza la estructura de red formada, por lo que en los almidones en los que se presenta un mayor rompimiento de los gránulos el efecto en la pérdida de viscosidad es mayor, observándose un mayor comportamiento tipo fluido.

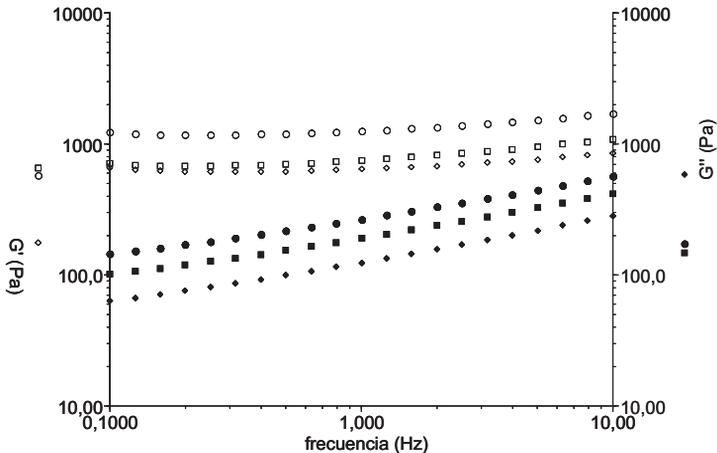


Figura 5 Propiedades viscoelásticas del almidón de oca. (Barrido de frecuencias, temperatura mantenida en 25°C).

- ● BF_oca AGM 5093 (holding 25°C), Frequency sweep step 3
- ■ BF_oca AMM 5144 (holding 25°C), Frequency sweep step 3
- ◇ ◆ BF_oca AVM 5543 (holding 25°C), Frequency sweep step 3

En dispersiones de almidón mayores al 8%¹⁹ (en nuestra investigaciones se utilizaron concentraciones del 10%), se ha reportado una mayor rigidez de las partículas por lo que aumentaría la ruptura de los gránulos.

CONCLUSIONES

Se pudo comprobar que para el almidón de oca de las tres entradas estudiadas, el comportamiento elástico determinado a través del coeficiente G' es el que predomina principalmente en las observaciones determinadas por encima de la temperatura de

gelatinización. Asimismo se comprueba que durante el enfriamiento se produce retrogradación y se reporta el aumento progresivo a la disminución de temperatura del módulo G'. También se obtuvo un gel que podríamos calificar como "suave"; en él se constató que una mayor frecuencia en la deformación ocasiona un aumento en su comportamiento tipo fluido evidenciado por un aumento con una pendiente más pronunciada del módulo G" en comparación con la pendiente de G' para las tres entradas estudiadas. Consideramos que esta naturaleza de almidones tiene aplicaciones muy variadas en la gastronomía de varios países de la región y en la industria.

AGRADECIMIENTO

Proyecto CYTED XI.18 "Composición, estructura, propiedades biológicas de carbohidratos y su utilización en alimentos".

Instituto Tecnológico de Acapulco. Laboratorio de Investigación. México.

REFERENCIAS

1. Buleje, E., Glorio, P. Hermann, M. Diversidad de la composición de la Oca (*Oxalis tuberosa* Mol) en el Perú. I Congreso Internacional Científicos Peruanos (I CICIP) Lima, Perú, 2 a 5 de Enero 2003.
2. Santacruz, S., Koch, K., Svensson, E. Ruales, J., & Eliasson, A.-C. *Carbohydrate Polymers*. 2002, 49(1), 63-70.
3. Malice, M., Martin, N., Pissard, A., Rojas-Beltran, J., Gandarillas, A., Bertin, P., Baudoin, J-P. *Genet Resour Crop Evol* 2007, 54:685-690.
4. Hernández-Lauzardo, A. N., Méndez-Montealvo, G., Velázquez del Valle, M. G., Solorza-Feria, J., Bello-Pérez, L. A. *Starch/Stärke*. 2004, (56): 357-363
5. Sperling, C.R. and King, S.R. *Andean tuber crops: Worldwide potential*. p. 428-435. In: J. Janick and J.E. Simon (eds.), *Advances in new crops*. Timber Press, Portland, OR. 1990.
6. Tapia, M.E. *Cultivos Andinos Subexplotados*. FAO. 205 p. 1990
7. Glorio, P., Barrientos, E. B., Ruales, J., Sánchez, CV. En *Avances sobre el uso y las propiedades de los carbohidratos de alimentos regionales*. Eds. E.W. Meneses., F.M, Lajolo, pp 139 -152 Proyecto CYTED XI.18/CNPq. JK Sao Paulo. 2003.
8. Solorza, J. Métodos de medición de la viscoelasticidad. En : « Introducción a la Reología » eds. Mendez, M., Nuñez, M. y Solorza, J. Instituto Politécnico Nacional. Primera Edición. México. 2001.
9. Santacruz, S., Ruales, J. Y Eliasson, A-C. *Carbohydrate Polymers*. 2003, (51):85-92.
10. Tarazona, G. Tesis Maestría. EPG- UNALM. Lima Perú 113p. 1995.
11. Bello -Pérez, L.A., Roger, B., Baud, P., Colonna, P. *J. Cereal Sci*. 1998, (27): 267-278.
12. Wyatt Technology Corporation. Advantages of the Multi - Angle Light Scattering Approach. 30 south La Patera Lane, B-7. Santa Bárbara CA 93117. www.wyatt.com. 2002.
13. Yoo, S-H., Jane, J-L. *Carbohydrate Polymers* 2002, (49): 307-314.
14. Fishman, M.L., Rodríguez, L. y Chau, H. K., *J. Agric. Food Chem* 1996, (44): 3182-3188.
15. Oomah, D., Séry, G., Godfrey, D.V. and Beveridge, T.H.J. *J.Agric. Food Chem*. 1999, (47):3546-3550.
16. Roger, P., Baud, B., Colonna, P. *Journal of Chromatography A*. 2001, (917): 179-185.
17. Thomas, D. J. y A. Atwell, W.S. *Starches*. Eagan Press. pag. 25-27. 1998.
18. Kapri, A. y Bhattacharya, S. *Journal of Texture Studies* 2008 231-251
19. Lua, T-J., Duhb, Ch-S., Linc, J-H and Chang, Y-H. *Food Hydrocolloids* 2008 (22): 164-173