

ESTUDIO DEL USO DE ALMIDONES LOCALES COMO SUSTITUTOS DE ADITIVOS EN LA FORMULACIÓN DE LODOS DE PERFORACIÓN

Joselyn Cargua¹, Marcelo Salvador¹

1: Escuela Politécnica Nacional, joselyn.cargua@epn.edu.ec, marcelo.salvadorq@epn.edu.ec

Palabras clave: almidón, raíces y tubérculos de yuca, achira y melloco; pregelatinización, reducción de pérdida de filtrado, envejecimiento

ABSTRACT

Study of Local Starches as Substituters of Aditives in the Formulation of Drilling Fluids

The aim of the study was to compare the use of roots and tubers' starches (achira, melloco, cassava) and commercial starch, as additives for water based muds. The starches used, were extracted by washing, debarking, cutting, liquefying, decanting and grinding processes. The values for size, granule shape and granulometric distribution, water absorption index (WAI), water solubility index (WSI) and swelling power (SP), of natural and modified starches were studied. The modification was achieved by pregelatinization with 0.25% w/w calcium hydroxide. Muds were prepared in order to assess the influence of the origin, treatment and concentration of the starch on the viscosity, gel strength, yield point, loss of filtrate, before and after an aging. Modified starches before aging, as well as starches in the natural state and modified after aging, produce changes on the rheology of the system. The plastic viscosity, gel strength and yield point values, were comparable to those obtained with commercial starch. The origin and the concentration influenced the filtrate loss reduction. It was determined that the natural melloco starch at a concentration of 8 lb/bbl by its ovoid shape, average particle size, WAI, WSI and SP index higher than the rest of starches; allows the formation of low permeability cakes that reduce the loss of filtrate to a value of 6,75 mL/30 min, granting this specie an alternative potential use as a filtering controller.

INTRODUCCIÓN

En Ecuador existe una creciente preocupación por la reducción del cultivo de raíces y tubérculos propios, pese a constituir fuentes ricas en carbohidratos, su marginación y baja frecuencia de consumo son el resultado de la variación en las costumbres alimenticias de las personas y de la escasa información sobre sus formas de preparación gastronómica (Villacrés y Ruiz 2002).

Las raíces y tubérculos andinos (RTA's) de melloco y achira, así como los bulbos de yuca, poseen cantidades importantes de almidón, entre 30-90 % en peso seco (Alcázar y Almeida 2015). Sus diferencias en tamaño, forma de grano y contenido de amilosa y amilopectina, tienen incidencia directa sobre propiedades, como: poder de hinchamiento (PH), índices de absorción y solubilidad en agua (IAA e ISA, respectivamente); estabilidad de gel, viscosidad y temperatura

de gelatinización (Santoyo *et al.* 2001). Estas características permiten que los almidones obtenidos a partir de las materias primas señaladas, sean considerados potenciales aditivos para lodos de perforación.

La construcción de pozos petroleros en Ecuador, se realiza con ayuda de lodos de perforación esencialmente en base agua, sus funciones engloban: regular presión, mantener la estabilidad del pozo, reducir los daños a la formación, separar recortes, controlar la reología y disminuir la pérdida de filtrado (Williamson 2013).

El control de la pérdida de filtrado está relacionado al uso de polímeros naturales y modificados que permiten reducir esta propiedad por medio de: obturación de poros, encapsulación de sólidos mediante la formación de tortas de baja permeabilidad e incremento de la viscosidad del fluido (Ariza *et al.* 2013).

Durante la perforación del pozo, la circulación del fluido suele ser constantemente interrumpida para revisión, adición y cambio de herramientas, cuando esto ocurre, es importante que el lodo sea capaz de mantener en suspensión los recortes que transporta, esta capacidad está asociada a las propiedades reológicas del sistema. (BSS Global Operations Manager 2015).

El estudio reológico de un fluido de perforación consta del análisis de: viscosidad plástica, esfuerzo de gel y punto cedente. La viscosidad plástica puede ser descrita como la resistencia del flujo a la fricción mecánica que causan las partículas en suspensión (API 2014; MI-SWACO 2001). El esfuerzo de gel es la capacidad de un fluido para formar geles cuando se encuentra en reposo y regresar a su estado natural cuando la circulación a nivel de pozo se reactiva. Si el esfuerzo de gel presenta un incremento pronunciado y rápido con el tiempo, el fluido forma geles progresivos; por otra parte, si la variación es mínima, los geles formados son lineales. El punto cedente, hace referencia a la energía necesaria para romper la fuerza de atracción electroquímica de los sólidos presentes en el fluido y permitir el inicio de su circulación (BSS Global Operations Manager 2015; MI-SWACO 2001).

Un fluido de perforación, está constituido por una serie de aditivos, cuya composición permite llevar a cabo las funciones señaladas anteriormente. Entre estos aditivos figuran los de origen polimérico como almidones de papa y maíz, celulosa polianiónica (PAC), carboximetilcelulosa (CMC), entre otros (Caenn y Chillingar 1996).

En 2016 Ecuador importó un total de 2 074 000,00 USD, en carboximetilcelulosa y sus sales (ITC 2017a) y 7 853 000,00 USD en éteres de celulosa (ITC 2017b). Se estima que por cada pozo perforado se requieren 300 sacos de 50 lb c/u de estos controladores de filtrado y viscosificantes, cuyo valor unitario bordea los 50,00 USD (Brito, comunicación personal, Junio 15 de 2017); es decir 1 485 000,00 USD, fueron invertidos en aditivos durante ese año; aproximadamente 15,00 % del total de importaciones de este tipo de productos, sin tener en consideración el monto de importaciones de almidones de papa o maíz.

El índice creciente de importaciones a costos elevados (ITC 2017a, 2017b) de los aditivos

mencionados, sumado al desplome del valor monetario del petróleo en los dos últimos años, ha evidenciado la necesidad de disminuir o sustituir importaciones y así reducir costos de producción, mediante el aprovechamiento de almidones de tubérculos locales.

Varias investigaciones realizadas en el tema, han establecido la viabilidad económica de utilizar almidones de tubérculos de diferentes especies endémicas como sustitutos de aditivos comerciales, con rendimientos superiores para el control de filtrado (Ariza *et al.* 2013; Ekeigwe *et al.* 2013; Gonzalez *et al.* 2012; León *et al.* 2011; Udoh y Okon 2012). A su vez modificaciones como el proceso de pregelatinización bajo diversas condiciones, al provocar la ruptura de las estructuras básicas de los polímeros presentes en los almidones, permitirían mejoras sustanciales en sus propiedades reológicas y de resistencia térmica al envejecimiento (Amanullah y Yu 2005; Dias *et al.* 2015; Pineda *et al.* 2011)

El presente estudio analiza de manera comparativa la influencia que tiene el uso de un aditivo comercial y el uso de almidones de tubérculos ecuatorianos, sobre las propiedades de un fluido de perforación. Con la finalidad de conceder a los tubérculos locales un uso potencial alternativo en la industria petrolera, mediante la disminución de la importación de aditivos comerciales y la consecuente reducción en costos de producción de lodos de perforación.

METODOLOGÍA

Se utilizaron almidón comercial de maíz al 100 %, hidróxido de calcio grado analítico al 99 % y goma xantana. Para la extracción de almidón, las RTA's de melloco (*Ullucus tuberosus*) y de achira (*Canna edulis*), así como los tubérculos de yuca (*Manihot sculenta*) se obtuvieron en el Mercado Mayorista del Distrito Metropolitano de Quito, Pichincha y Mercado Mayorista de la ciudad de Riobamba, Chimborazo, Ecuador; respectivamente.

Se extrajeron almidones de yuca, achira y melloco utilizados en estado natural y modificado para preparar fluidos de perforación y evaluar sus propiedades de viscosidad, esfuerzo de gel, punto cedente y pérdida de filtrado. Un almidón comercial fue empleado como estándar de comparación para cada ensayo.

Estudio de las propiedades morfológicas de los almidones de yuca, achira y melloco, naturales y modificados

Para el proceso de extracción, se tomó como base el método enunciado por Espín *et al.* (2003). Las RTA's y tuberculos, se lavaron, trocearon y rallaron para ser licuados por un tiempo de 3 minutos con una relación agua-tuberculo rallado de 1 a 1. Se decantó la lechada de almidón por un tiempo de 6 h, para separar el exceso de agua. Se efectuó un secado a 35 °C durante 6 h. El almidón seco se molió en un molino de martillos hasta un $dp < 106,00 \mu m$ y se almacenó

herméticamente. Un stock de almidón de 2 kg fue obtenido y dividido en dos partes, la primera se conservó en estado natural y la segunda se utilizó para su modificación, según se señala en el siguiente literal.

La modificación mediante pregelatinización alcalina de almidones se realizó con soluciones de hidróxido de calcio al 0,25 % (p/p), según lo establecido por Pineda *et al.* (2011). Se prepararon suspensiones de agua-almidón en una relación en peso 2,5 a 1; relación que fue establecida mediante pruebas preliminares. Las suspensiones se colocaron en un secador de doble tambor a 115 °C durante 15 s según lo sugerido por González y Pérez (2003). Las muestras secas se molieron, tamizaron y almacenaron en condiciones similares a las utilizadas para el almidón natural.

La caracterización de almidones naturales y modificados se realizó por duplicado bajo las siguientes normas y métodos:

Tamaño de gránulo: el tamaño de gránulo de los almidones naturales se determinó mediante un análisis de granulometría láser empleando el equipo Laser Scattering Particle Size Distribution Analyser LA-950V2. Para los almidones modificados se usó el método por tamizado, con cribas de malla 140 (105 µm), 120 (125 µm), 100 (149 µm), 80 (177 µm) y 60 (250 µm), bajo los parámetros de la Norma ISI 32-1e: Determination of Starch Size Distribution by Screening, (ISI 1999).

Índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH): se pesaron tubos de centrifuga en los que se colocaron 2,5 g de almidón y 30 mL de agua para su agitación. Los tubos se depositaron en un baño termostático a 30 °C durante 30 min, agitándolos cada 10 min para posteriormente ser centrifugados. Se midió el sobrenadante y se pesó el gel. Se tomaron alícuotas de 10 mL de cada gel para su secado a 100 °C y se pesaron. Los análisis se realizaron según los métodos descritos por Orozco (1990) y Coyago (2003).

Humedad o contenido de materia seca: se determinó el contenido de humedad en los almidones naturales y modificados según lo sugerido en el método AOAC 925.10: Solids (Total) and Moisture in Flour (AOAC 2005)

Pureza o contenido de almidón: Se analizó la pureza de los almidones obtenidos y la del almidón comercial. Los análisis se realizaron bajo los métodos AOAC 920.44 y 25.1.11: Starch in baking powders y AOAC 923.09 y 44.1.15: Invert sugar in sugars and syropus. Lane-eynon general volumetric method (AOAC 2005). Adicionalmente, se evaluó el contenido de almidón en las pulpas (subproductos del proceso de extracción) bajo el método anteriormente señalado.

Apariencia microscópica: se realizaron observaciones de los almidones naturales y modificados en un microscopio óptico y en un estereoscopio con diferentes aumentos, según lo indicado en los manuales de los equipos.

Determinación de la influencia de la fuente y la concentración de almidones naturales y modificados, sobre las propiedades de un lodo de perforación

El tratamiento de datos se realizó mediante un diseño experimental del tipo multifactor categórico totalmente al azar con una réplica. Se evaluaron, la influencia de la concentración de

almidón en 4 niveles (2, 4, 6 y 8 g/350 mL o lb/bbl), tipo de tratamiento en dos niveles (natural y modificado) y origen del almidón en 4 niveles (yuca, achira, melloco y comercial). Como variables de respuesta se analizaron: viscosidad plástica, pérdida de filtrado, esfuerzo de gel y punto cedente.

En un segundo diseño experimental, se evaluó el comportamiento de las variables de respuesta señaladas anteriormente, después de un envejecimiento que se realizó en un horno Fann Model 705ET a una temperatura de 82,22 °C (180 °F) durante 16 h, con la finalidad de simular las condiciones de pozo y evaluar el comportamiento de cada almidón (MI-SWACO 2001), adicionalmente se midió el pH después de este proceso.

Se prepararon lodos poliméricos a temperatura ambiente (25 °C), con ayuda de un agitador Hamilton Beach Model HB 960. Se tomó como base un barril de laboratorio (1 bbl = 350 mL). Para su formulación se utilizaron: 350 mL (1 bbl) de agua; 0,50 mg/350 mL (0,50 lb/bbl) de goma xantana, almidón natural o modificado e hidróxido de sodio 0,02 mg/350 mL (0,02 lb/bbl) aproximadamente, para mantener el pH entre 9,5-10,0 (Brito 2017). Este parámetro se midió utilizando un medidor de pH con electrodo de vidrio, previamente calibrado.

Una vez que los lodos fueron preparados (primer diseño experimental) y envejecidos (segundo diseño experimental), se agitaron durante 5 minutos e inmediatamente cada lodo se depositó en la termocopa de un viscosímetro Fann Model VG35Ax1 hasta que alcanzó una temperatura de 48,88 °C (120 °F).

A esta temperatura se midieron el esfuerzo de gel a 10 s, 10 min y 30 min de reposo del lodo con una velocidad de corte de 3 RPM. Se realizaron mediciones de viscosidad a las velocidades de corte de 600, 300, 200, 100, 6 y 3 RPM para poder calcular la viscosidad plástica y el punto cedente como se indica en las Ecuaciones 1 y 2, respectivamente.

$$n_p = R_{600} - R_{300} \quad (1)$$

$$Y_{P,B} = R_{300} - n_p \quad (2)$$

Donde n_p es la viscosidad plástica en (cP), R_{600} es la lectura de viscosidad a 600 RPM, R_{300} es la lectura de viscosidad a 300 RPM y $Y_{P,B}$ es el punto cedente en $(\frac{\text{lb}_f}{100 \text{ ft}^2})$.

Para determinar la pérdida de filtrado se agitó nuevamente el lodo durante 5 min y se colocó en una copa provista de papel filtro Fann No. 50 de 3 1/2 in de diámetro. La copa se ajustó en un filtro prensa marca Fann serie 300 LPLT Filter Press (Six Unit Filter Press Assembly), se suministró una presión de $6,90 \times 10^5$ Pa (100 psi) con nitrógeno como gas inerte y se colectó el volumen desplazado durante 30 min. Al finalizar la prueba se midió el espesor de la torta o revoque acumulado en el papel filtro.

Las pruebas mencionadas se realizaron según lo establecido en la norma API RP 13B-1: “Recommended Practice for Field Testing Water-based Drilling Fluids”. (API 2014)

Análisis de las propiedades del fluido de perforación con la mejor composición de los tubérculos en estudio

Se consideró la capacidad de control de filtrado como principal aplicación del almidón; en consecuencia, se tomó a esta propiedad como la principal variable de respuesta para la selección del mejor fluido de perforación. La viscosidad plástica, esfuerzo de gel y punto cedente se analizaron de forma secundaria. Se realizaron análisis de densidad, que se determinó con ayuda de una balanza de lodo Fann previamente calibrada; según las especificaciones de la norma API 13B-1 (API 2014).

RESULTADOS

Estudio de las propiedades morfológicas de los almidones de yuca, achira y melloco, naturales y modificados

La Fig. 1 corresponde al análisis granulométrico de los almidones en estudio. Como se observa, el almidón de achira posee el mayor tamaño de grano, con un d80 de 47,40 μm ; en concordancia con lo reportado en 2014 por Uthumporn *et al.* La desviación de la curva de distribución para este almidón podría ser el resultado de la ruptura de los granos de almidón durante el proceso de rallado para su extracción (Aristizábal y Sánchez 2007). La tendencia para los almidones de melloco y yuca es semejante a la obtenida para el almidón comercial, con valores de d80 correspondientes a 22,30 μm ; 18,40 μm y 21,60 μm ; respectivamente. Resultados similares fueron reportados por Aristizábal y Sánchez (2007) y Espín *et al.* (2003)

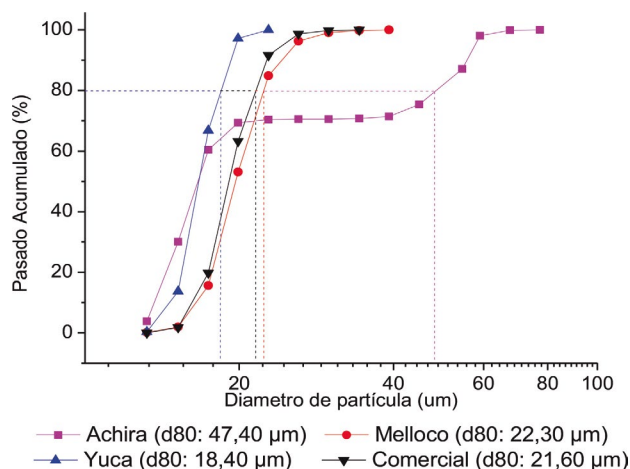


Figura 1. Análisis granulométrico para almidones naturales

En la Tabla 1 se presentan valores bibliográficos de temperatura de gelatinización y contenidos de amilosa y amilopectina, así como los resultados para índices de solubilidad (ISA) y absorción en agua (IAA), poder de hinchamiento (PH), humedad y pureza obtenidos, para cada uno de los almidones.

Los granos de almidón se encuentran compuestos por cadenas poliméricas de amilosa y amilopectina. Su presencia está ligada a la complejidad de la síntesis del polisacárido según la especie vegetal (Copeland *et al.* 2014), razón por la cual los datos observados de porcentajes de amilosa y amilopectina, corresponden únicamente a valores aproximados que permitieron sustentar el comportamiento de las propiedades funcionales de cada almidón.

Tabla 1. Caracterización de los almidones naturales y modificados

Tipo de almidón	ISA (%)		PH		IAA (g gel/ g almidón)		Amilosa (%)	Amilopectina (%)	Tg (°C)	Humedad (%)		Pureza (%)	Almidón en pulpa (%)
	N	M	N	M	N	M				N	M		
Achira	1,20	20,30	2,00	8,80	2,00	7,00	27,00*	73,00*	60,00*	7,25	4,72	92,10	54,10
Melloco	0,70	33,40	2,10	7,30	2,10	4,80	26,00*	74,00*	63,00*	5,71	5,86	92,10	78,30
Yuca	1,20	45,30	1,90	7,30	1,90	4,00	17,00**	83,00**	60,00*	4,17	9,23	88,10	65,40
Comercial (maíz)	0,70	8,60	1,80	9,70	1,80	8,80	28,30**	71,70**	62,30**	13,75	6,38	86,60	-

N: almidón natural, M: almidón modificado

*Espín *et al.* (2003)

**Hernández *et al.* (2008)

En el caso de los almidones obtenidos, este fenómeno no ocurre debido posiblemente al tamaño de gránulo. Los granos más grandes se hinchan en mayor proporción, lo que contrarresta el efecto de la presencia de amilosa (Chaplin 2001), en consecuencia se observan valores de PH e IAA mayores para los almidones de achira (2,00) y melloco (2,10); con solubilidades de 1,20 y 0,70; respectivamente.

Al comparar los ISA, IAA y PH de los almidones naturales y modificados es posible evidenciar el comportamiento descrito anteriormente. El incremento de energía como resultado del proceso de modificación a una temperatura mayor que la temperatura de gelatinización (Tg), podría fragmentar las cadenas de amilopectina y amilosa, por consiguiente, los valores de éstas propiedades funcionales fueron superiores en los almidones modificados (Castro y Gómez 2012; Hernández *et al.* 2008).

Las Tg no se determinaron experimentalmente para los almidones en estudio; sin embargo, sus valores podrían ser cercanos a 60 °C, de acuerdo a lo reportado en los trabajos investigativos de Espín *et al.* (2003) y Hernández *et al.* (2008). A estas temperaturas los granos de almidón alcanzarían su máximo hinchamiento con el correspondiente incremento de viscosidad. Los valores de Tg expuestos permiten evidenciar que se precisa de una baja cantidad de energía para

romper el arreglo semicristalino de la estructura polimérica del almidón, su estabilidad está ligada a la presencia de amilosa. Un bajo contenido de este polímero, podría implicar menor estabilidad del grano y por consiguiente una menor temperatura de gelatinización (Alcázar y Almeida 2015; Pineda *et al.* 2011; Torres *et al.* 2013; Zárate *et al.* 2014)

Como resultado del subproceso de secado de almidón, la humedad en almidones naturales y modificados fue inferior al 13%, estándar de humedad para estos productos, en comparación con el producto comercial en estado natural que presentó un 13,75%. A condiciones inferiores al estándar señalado, sería posible evitar la formación de hongos y levaduras, que podrían ocasionar la fermentación y correspondiente degradación del almidón al acidificar su pH (Aristizábal y Sánchez 2007).

Los tubérculos de achira a pesar de tener un contenido de almidón inferior (54,81%) al de los almidones de melloco y yuca (69,23% y 75,00%; respectivamente) (Espín *et al.* 2003; Flores *et al.* 2004), presenta el mayor tamaño de grano; por consiguiente, su tiempo de sedimentación fue menor con una mejor separación y una pureza del 92,10%. El almidón de yuca presentó una pureza del 88,10%, valor inferior al obtenido para el melloco debido a su tamaño de gránulo inferior, lo que dificultó la separación de su almidón. En los tres casos se obtuvieron valores de pureza superiores al 86,60% del producto comercial y contenidos de almidón en pulpa mayores al 50%. Espín *et al.* (2003) quienes presentaron resultados semejantes, atribuyen la eficiencia del proceso de extracción del almidón a variaciones en función del contenido del polisacárido, del tamaño del tubérculo y del tamaño de grano.

Los almidones de melloco y achira como se observa en las Figs 2.a y 2.b respectivamente, presentaron forma ovoidal en concordancia con los resultados de caracterización obtenidos por Espín *et al.* (2003).

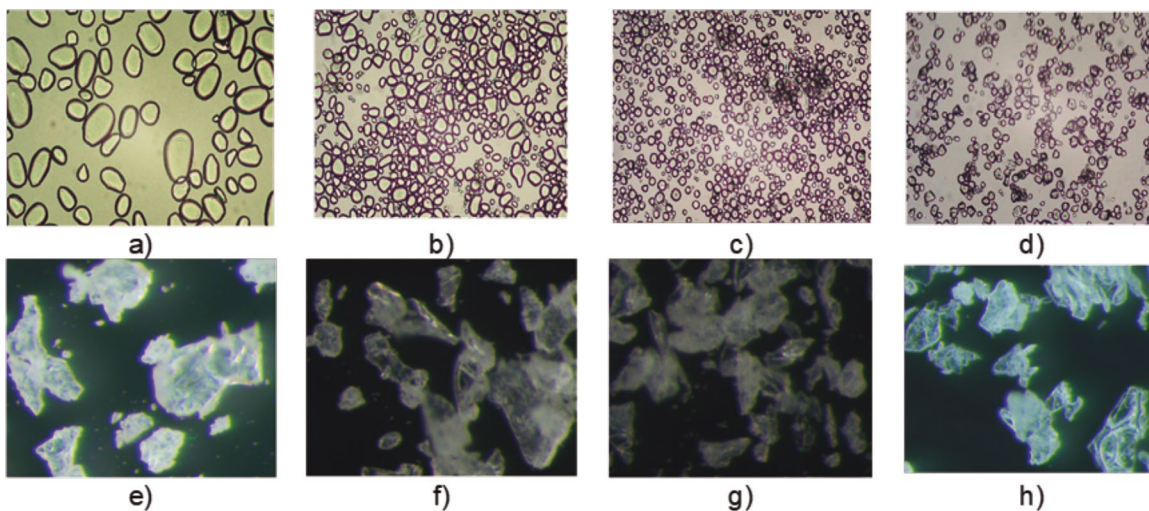


Figura 2. Fotografías de almidones naturales con un aumento de 10X: a) achira, b) melloco, c) yuca, d) comercial y almidones modificados con un aumento de 11,5X: e) achira, f) melloco, g) yuca y h) comercial

Los gránulos de almidón de yuca poseen forma esférica y el producto comercial mostró una forma irregular a manera de polígonos como se ilustra en las Figs 2.c y 2.d; respectivamente. Estos resultados guardan relación con las investigaciones de González y Pérez (2003).

Los almidones modificados presentaron un tamaño de partícula inferior a 106 μm , en relación a lo referenciado en 2007 por Aristizábal y Sánchez. Su forma se asemeja a escamas como se identifica en las Figs 2.e, 2.f, 2.g y 2.h. Esto podría ser un resultado del tratamiento térmico efectuado sobre los almidones naturales (Ruiz, 2006).

Determinación de la influencia de la fuente y la concentración de almidones naturales y modificados, sobre las propiedades de un lodo de perforación.

En la Fig. 3 se observa el perfil reológico de los 4 almidones, naturales y modificados; a las 4 concentraciones señaladas anteriormente, cuando son utilizados como aditivos en lodos de perforación antes y después de un envejecimiento. Los valores reportados son un promedio de los experimentos realizados. Se registraron 64 pruebas, que se llevaron a cabo por duplicado con un total de 128 experimentos.

Los almidones al ser usados en su estado natural, en fluidos de perforación que no han sido envejecidos, no producen cambios en la viscosidad del sistema. Esto podría ser un resultado de los valores bajos de IAA y PH.

Al tener una baja absorción de agua los gránulos de almidón no pueden hincharse y por consiguiente tampoco pueden afectar a la viscosidad del sistema, esto debido a que la estructura polimérica del grano a la temperatura de prueba (120 °F), se encuentra intacta (Garzón 2006); independientemente de su origen y concentración.

A una velocidad de corte mínima de 3 RPM, la viscosidad se mantiene en valores de 1 y 2 cP, conforme se incrementa este parámetro, la viscosidad aumenta y presenta una tendencia logarítmica. A 600 RPM la viscosidad adquiere valores de 8 y 9 cP, para todos los almidones. Este cambio en la viscosidad es típico de un fluido no Newtoniano independiente del tiempo. Castro y Gómez (2012) y Taiwo y Kazeem (2011), en sus investigaciones realizadas con almidones de achira y yuca; respectivamente, reportan resultados similares.

Los almidones modificados al emplearse en fluidos de perforación no envejecidos, son responsables de cambios en la reología del fluido. Al aplicar altas velocidades de corte conforme la concentración se incrementa, la viscosidad también se incrementa; mientras que, a valores bajos de velocidad de corte, 3 y 6 RPM, el cambio registrado en las viscosidades es despreciable.

Al analizar el comportamiento reológico de los almidones tanto naturales como modificados, en fluidos de perforación que han sido envejecidos, es posible observar lecturas de viscosidad semejantes entre los almidones de estudio, a las mismas concentraciones. El envejecimiento de los fluidos se realizó a una temperatura de 180 °F, esta temperatura fue mayor que la Tg de los

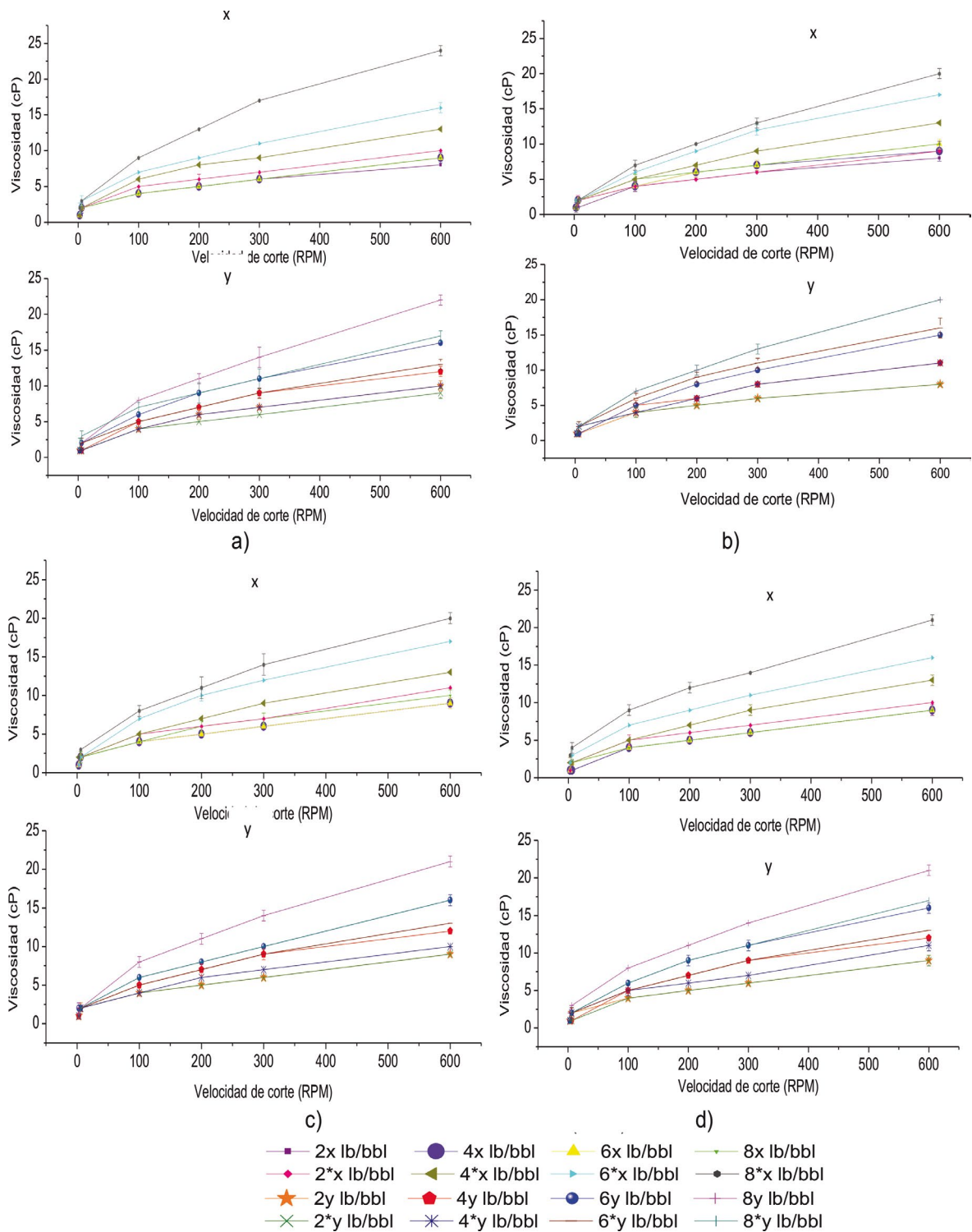


Figura 3. Perfil de viscosidad a diferentes concentraciones de almidones naturales (No.) y almidones modificados (No.*) de: a) achira, b) melloco, c) yuca, d) comercial; antes (x) y después (y); del envejecimiento de fluido

almidones, por tal razón los almidones naturales que fueron sometidos a este proceso presentan gelatinización y por consiguiente un cambio en la reología del sistema, a diferencia de lo registrado en fluidos no envejecidos.

Se puede observar que el almidón de achira en estado modificado y después del envejecimiento permitió alcanzar viscosidades más altas a concentraciones de 6 y 8 lb/bbl, en comparación con los demás almidones, esto podría ser consecuencia del tamaño de partícula de este almidón el cual fue aproximadamente el doble del de los polímeros de melloco, yuca y maíz, como se evidenció en la sección anterior.

En sistemas con y sin envejecimiento, los perfiles de viscosidad presentan igual tendencia y valores cercanos para cada almidón a excepción del almidón de achira, como se señaló anteriormente; a pesar de esto, el origen del almidón no produjo un cambio significativo en la viscosidad plástica ($p > 0,05$); un resultado esperado puesto que el IAA y PH de los almidones en estudio presentaron valores cercanos entre sí como se mostró en la Tabla 1. Las variables tratamiento y concentración, así como las interacciones origen-concentración, tuvieron un efecto significativo debido a valores de $p < 0,05$ en el análisis estadístico de varianza.

En la Fig. 4.a se observa la interacción de las variables tratamiento y concentración sobre la viscosidad plástica de fluidos no envejecidos. En los almidones naturales, los intervalos LSD de Fisher se superponen a concentraciones bajas. Este comportamiento es diferente entre las concentraciones de 2 lb/bbl y 8 lb/bbl, en donde no se observa esta superposición; sin embargo, a las diferentes concentraciones el incremento es mínimo (1 cP). Resultados similares fueron reportados por Ariza *et al.* (2013) quienes corroboran que el almidón en estado natural no actúa como un aditivo viscosificante.

La concentración de almidón modificado influyó positivamente sobre la viscosidad plástica. Como resultado de la modificación, los almidones adquieren valores de ISA, IAA y PH superiores a los almidones en estado natural, según se indicó anteriormente, con lo cual viscosifican la fase fluida del lodo. El incremento de la concentración se traduce en una mayor cantidad de escamas de almidón pregelatinizado que pueden hincharse y absorber una mayor cantidad de agua, estas características explicarían la influencia del tratamiento sobre la viscosidad plástica como lo presentan Castro y Gómez (2012) y Udoh y Okon (2012).

Como se observa en la Fig. 4.b correspondiente a fluidos envejecidos, la interacción de las variables concentración y tratamiento no fue significativa a concentraciones de 2 y 4 lb/bbl, para concentraciones de 6 y 8 lb/bbl se observa que los intervalos LSD de Fisher no se traslapan, lo cual indicaría una diferencia significativa a estas concentraciones; sin embargo el análisis de varianza permitió determinar que la interacción de estas variables no fue significativa con un valor de $p = 0,0693$.

Los valores de viscosidad plástica para almidones naturales y modificados son cercanos entre sí, a diferencia del comportamiento en fluidos no envejecidos; sin embargo, el almidón natural

presenta un incremento de viscosidad ligeramente superior al del almidón modificado debido probablemente a la desnaturalización que acompaña al proceso de modificación y que influye en la reducción de las propiedades mecánicas de los mismos (Arocas *et al.* 2011; Garzón 2006).

Los almidones modificados en fluidos no envejecidos presentan un comportamiento semejante al de los sistemas envejecidos; es decir, los almidones al ser sometidos a condiciones similares a las existentes durante la circulación del lodo en un pozo, tendrían un comportamiento análogo para su viscosidad plástica. Resultados similares fueron obtenidos por Lagos (2014).

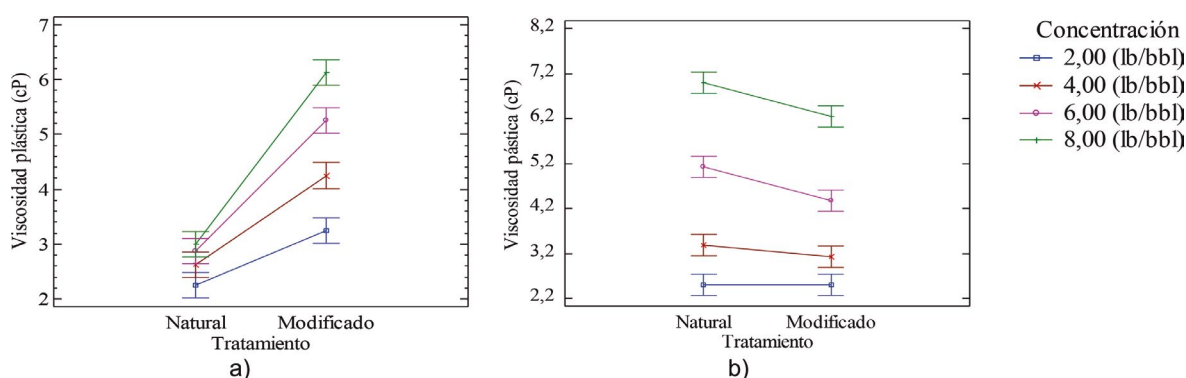


Figura 4. Gráficas de interacción de las variables tratamiento y concentración para: a) viscosidad plástica antes de envejecimiento, b) viscosidad plástica después de envejecimiento

En las Figs 5.a, 5.c y 5.e, se presenta el esfuerzo de gel para lodos no envejecidos a 10 s, 10 min y 30 min; respectivamente.

Debido a la tixotropía asociada a los polímeros contenidos en la estructura del almidón, estos son capaces de entrelazar sus moléculas para formar geles al permanecer en reposo (MI-SWACO 2001); pese a ello, el esfuerzo de gel de los almidones en estudio, no presenta una tendencia de incremento con el tiempo, de esta manera, se evidencia la formación de geles planos. Ariza *et al.* (2013) en su investigación reportan valores similares para esta propiedad.

La variable origen presentó diferencia significativa únicamente en el esfuerzo de gel a 30 min en lodos no envejecidos y a 10 s en lodos envejecidos; por esta razón no se analiza la influencia del origen sobre el esfuerzo de gel en el intervalo de tiempo estudiado.

Los valores de $p < 0,05$ permitieron establecer una diferencia estadísticamente significativa entre las variables tratamiento y concentración; pese a esto, su interacción no es significativa en el intervalo de tiempo estudiado. Los almidones modificados incrementan el esfuerzo de gel en un máximo de 1 lbf/100 ft² en comparación con sus almidones naturales, comportamiento asociado al incremento de viscosidad en este tipo de almidones.

Es posible notar que los valores de esfuerzo de gel se encuentran comprendidos en un rango de 1 a 3 lbf/100 ft², con cambios despreciables en función de la concentración. Los esfuerzos de

gel reportados, corresponden a valores bajos (Brito 2017), ideales para la remoción del lodo desde pozo, al finalizar la perforación (MI-SWACO 2001).

Como se observa en la Fig. 5.b, de lodos envejecidos, los intervalos LSD de Fisher son coincidentes a las mismas concentraciones, razón por la cual el tratamiento no tiene un efecto significativo sobre el esfuerzo de gel a 10 s. Conforme avanza el tiempo, el origen no provoca cambios significativos sobre el esfuerzo de gel a 10 min y 30 min. Estos se ven únicamente afectados por la concentración de almidón con una variación máxima de 0,511 Pa (1 lbf/100 ft²) como se observa en las Figs 5.d y 5.f. Dichos resultados son coincidentes con los señalados en el estudio comparativo de Samavati *et al.* (2014) quienes trabajaron con almidones de maíz, papa y fufu.

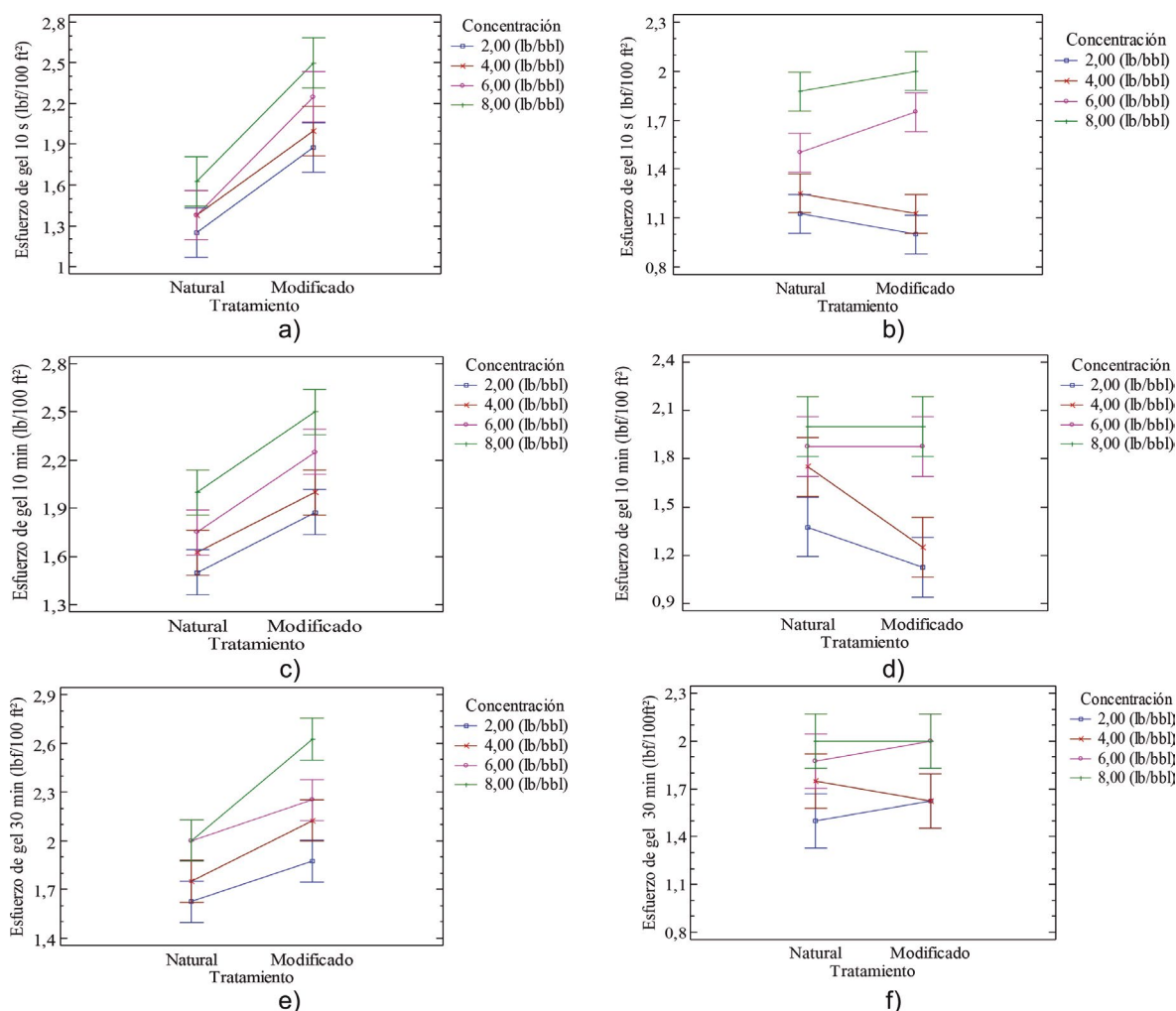


Figura 5. Gráficas de interacción para: a) esfuerzo de gel a 10 s antes de envejecimiento, b) esfuerzo de gel a 10 s después de envejecimiento, c) esfuerzo de gel a 10 min antes de envejecimiento, d) esfuerzo de gel a 10 min después de envejecimiento, e) esfuerzo de gel a 30 min antes de envejecimiento, f) esfuerzo de gel a 30 min después de envejecimiento

A pesar de la significancia estadística de las variables en estudio, los rangos de gel presentan valores mínimos hasta un máximo de 2,8 lbf/100 ft², en concordancia con Zoveidavianpoor y Samsuri (2016) quienes aseveran que los lodos de origen polimérico no ofrecen esfuerzos de gel elevados.

El análisis estadístico para punto cedente, en fluidos no envejecidos permitió establecer la influencia significativa del origen, tratamiento y concentración sobre el punto cedente debido a valores de $p < 0,05$. En la Fig. 6.a se puede observar la variación del punto cedente en función del tratamiento, a diferentes concentraciones antes del envejecimiento. Un mayor número de partículas de almidón presentes en el sistema, se traduce en un incremento de la superficie de contacto y por consiguiente un aumento en sus fuerzas de atracción; esto, sumado al aumento de absorción de agua que tiene el almidón modificado debido a la ruptura de su cadena polimérica como se explicó anteriormente, permitió la formación de enlaces fuertes, responsables de viscosificar el fluido y disminuir su capacidad de flujo (Zoveidavianpoor y Samsuri 2016)

La reducción de esta capacidad fue ocasionada por el incremento de viscosidad en los almidones modificados (Zoveidavianpoor y Samsuri, 2016). En los almidones naturales, este comportamiento no se observa. Debido a que la estructura intragranular se mantiene intacta, el desarrollo de viscosidad es nulo y por tanto la formación de enlaces es mínima; por consiguiente, mientras mayor sea la viscosidad mayor será la fuerza necesaria para reiniciar la circulación de un fluido y por tanto mayor será el punto cedente (BSS Global Operations Manager 2015; MI-SWACO 2001).

La Fig. 6.b muestra los cambios del punto cedente en función del tratamiento y la concentración de almidón una vez que los fluidos fueron envejecidos; sus valores son cercanos a los obtenidos para los almidones modificados en los sistemas no envejecidos; sin embargo, para este caso los almidones en estado natural presentaron un mayor punto cedente que los almidones modificados, esto podría atribuirse a la disminución de viscosidad que sufren los polímeros al desgastarse durante el envejecimiento según lo expuesto por Lagos (2014).

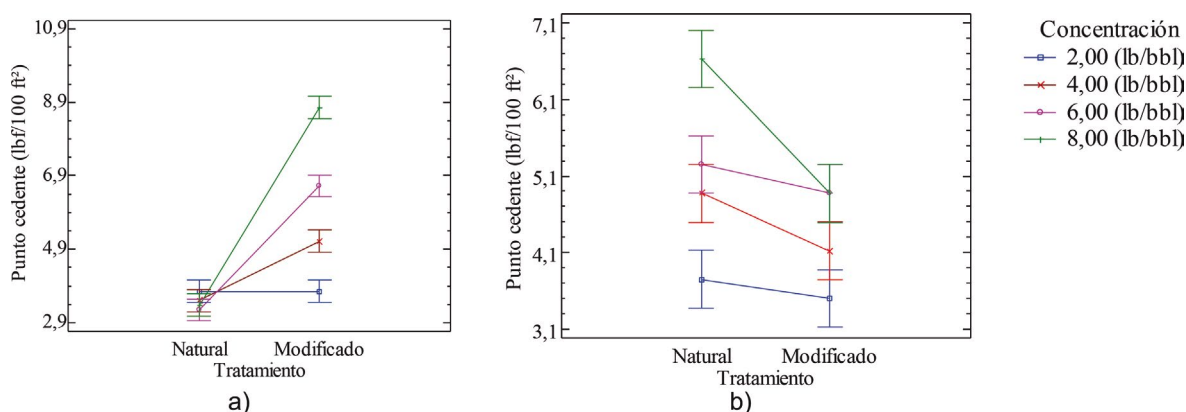


Figura 6. Gráficas de interacción de las variables tratamiento y concentración para: a) punto cedente antes de envejecimiento, b) punto cedente después de envejecimiento

En la Fig. 7.a es posible distinguir los volúmenes de pérdida de filtrado registrados para los fluidos que no fueron sometidos a un envejecimiento. Como se puede observar, en los lodos compuestos por almidones naturales, toda la fase acuosa del fluido escapa a través de las tortas formadas. A una presión de 100 psi el almidón tiende a sedimentar de manera indistinta, a pesar de utilizarse goma xantana para mantener las partículas en suspensión. La cantidad de partículas sedimentadas es función del número de partículas presentes en el fluido; por tal razón, a medida que la concentración se incrementa la torta aumenta su espesor y el almidón por tener una distribución granulométrica mayoritariamente homogénea (Fig. 1), en lugar de taponar los poros del papel filtro sedimenta de manera indistinta; en consecuencia, se forman espacios libres en la membrana a manera de cavernas y la permeabilidad y firmeza de la torta se incrementan. El resultado de esto, es un fenómeno de no control de filtrado (Salehi *et al.* 2015).

El almidón de yuca y el almidón comercial mostraron la misma tendencia que el almidón de melloco; sin embargo, en el caso del almidón de achira la pérdida de filtrado fue mayor al incrementar la concentración de almidón, esto pudo deberse a la diferencia morfológica de este último. El almidón de achira al tener un mayor tamaño de grano, distribución granulométrica variada y forma ovoidal, como se mostró en la sección anterior, posiblemente obturó ciertos poros reduciendo la pérdida de filtrado. Este comportamiento se observó en los primeros 20 minutos de ejecución de la prueba; a diferencia de un aditivo comercial que referencialmente podría permitir la reducción del 50 % del filtrado en los primeros 7,5 min (API 2010). Al incrementarse la concentración la velocidad de filtración también aumentó y en consecuencia, la aparición de espacios libres permitió el aumento de la pérdida de filtrado como ocurrió en el resto de almidones, ya que esta propiedad se ve afectada por la orientación y morfología de los sólidos; según se señala en el manual de MI-SWACO (2001). A pesar de ello, la pérdida de filtrado en cada caso supera los 10 mL/30 min, máximo valor permisible de pérdida de filtrado.

En los almidones modificados esta propiedad se ve ampliamente reducida debido al tratamiento utilizado. En este tipo de almidones, el incremento de los índices IAA y PH contribuyó al cambio de su viscosidad; por consiguiente, esta pudo haber influenciado en el control de la pérdida de filtrado (MI-SWACO 2001; Zoveidavianpoor y Samsuri 2016) con la formación de tortas de baja permeabilidad, consistencia gelatinosa y un espesor mínimo de 0,079 cm (1/32 in), independientemente de la concentración.

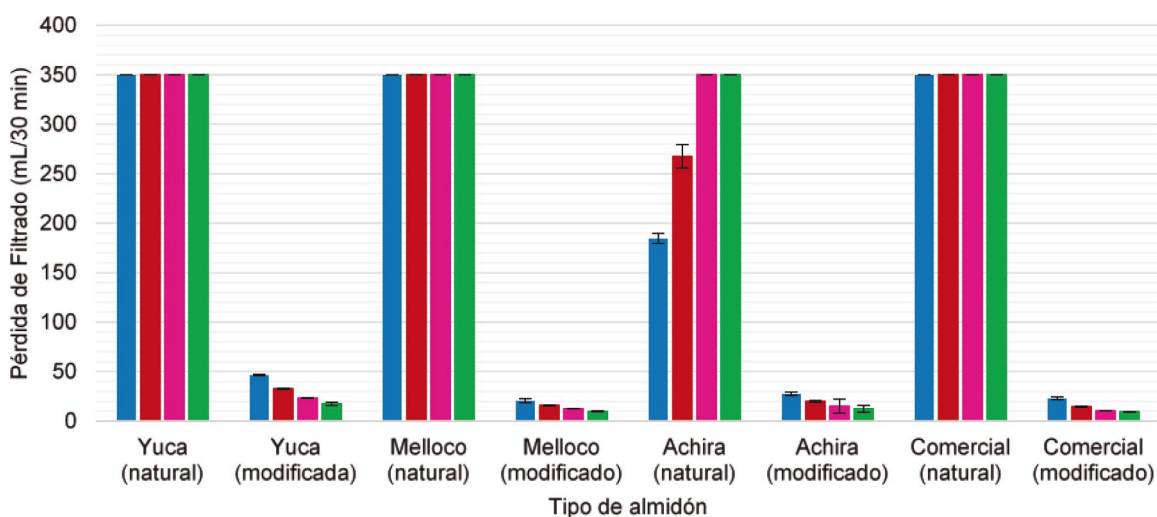
En la Fig. 7.b es posible apreciar el comportamiento que tuvieron los almidones una vez que fueron sometidos al proceso de envejecimiento.

En estos sistemas, el almidón natural presentó pérdidas de filtrado menores que las del almidón modificado. Este cambio es producto del hinchamiento de los granos de almidón al ser expuestos a un proceso de calentamiento, en concordancia con lo reportado por Zoveidavianpoor y Samsuri (2016) en su investigación con nanopartículas de almidón de tapioca.

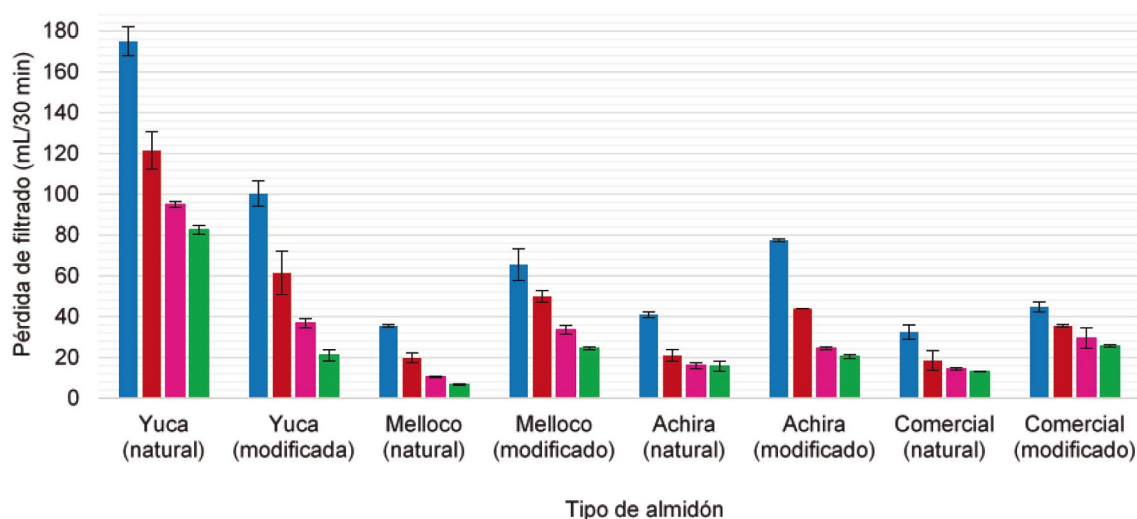
El desgaste generado por el tratamiento de modificación a elevada temperatura sumado al

proceso de calentamiento y movimiento durante el envejecimiento, serían responsables de reducir la estabilidad del almidón y provocar una reducción de la viscosidad del fluido (Lagos 2014), como se señaló anteriormente; en consecuencia, el volumen de filtrado fue mayor para los almidones modificados de achira, melloco y comercial.

El comportamiento señalado, fue inverso en la yuca. Su almidón modificado presenta menores valores de pérdida de filtrado debido probablemente a su estructura plana. La forma de grano esférica de este polisacárido en estado natural podría ser causa de la formación de abundantes espacios libres en la torta (MI-SWACO 2001); por consiguiente, una mayor cantidad de fluido puede atravesarla.



a)



b)

■ 2 (lb/bbl) ■ 4 (lb/bbl) ■ 6 (lb/bbl) ■ 8 (lb/bbl)

Figura 7. Pérdida de filtrado para almidones en fluidos de perforación: a) no envejecidos y b) envejecidos

Es posible observar una disminución del volumen de filtración en función de la concentración y del tipo de almidón. Una mayor cantidad de almidón en el fluido provoca mayor viscosidad y en consecuencia una menor pérdida de filtrado. El origen permite la reducción de la pérdida de filtrado. Se observan menores pérdidas de fluido para el almidón de melloco, seguido por el almidón comercial, almidón de achira y almidón de yuca.

El almidón de melloco a una temperatura de 30 °C, presentó valores de IAA, PH y pureza, mayores que el almidón comercial. Estas propiedades podrían atribuirle una mayor eficiencia para controlar la pérdida de fluido al incrementarse la temperatura. El almidón de achira a pesar de presentar la misma forma y pureza que el almidón de melloco, posee granos de mayor diámetro, posiblemente responsables de reducir su capacidad para el control de filtrado, su rendimiento fue inferior al del almidón comercial, esto podría ser atribuido al tamaño de grano inferior y a la forma poligonal de este último como se observó en la Sección 3.1 (MI-SWACO 2001).

Los resultados obtenidos mediante el análisis estadístico de varianza permitieron determinar la influencia significativa del origen del almidón sobre la pérdida de filtrado, antes y después

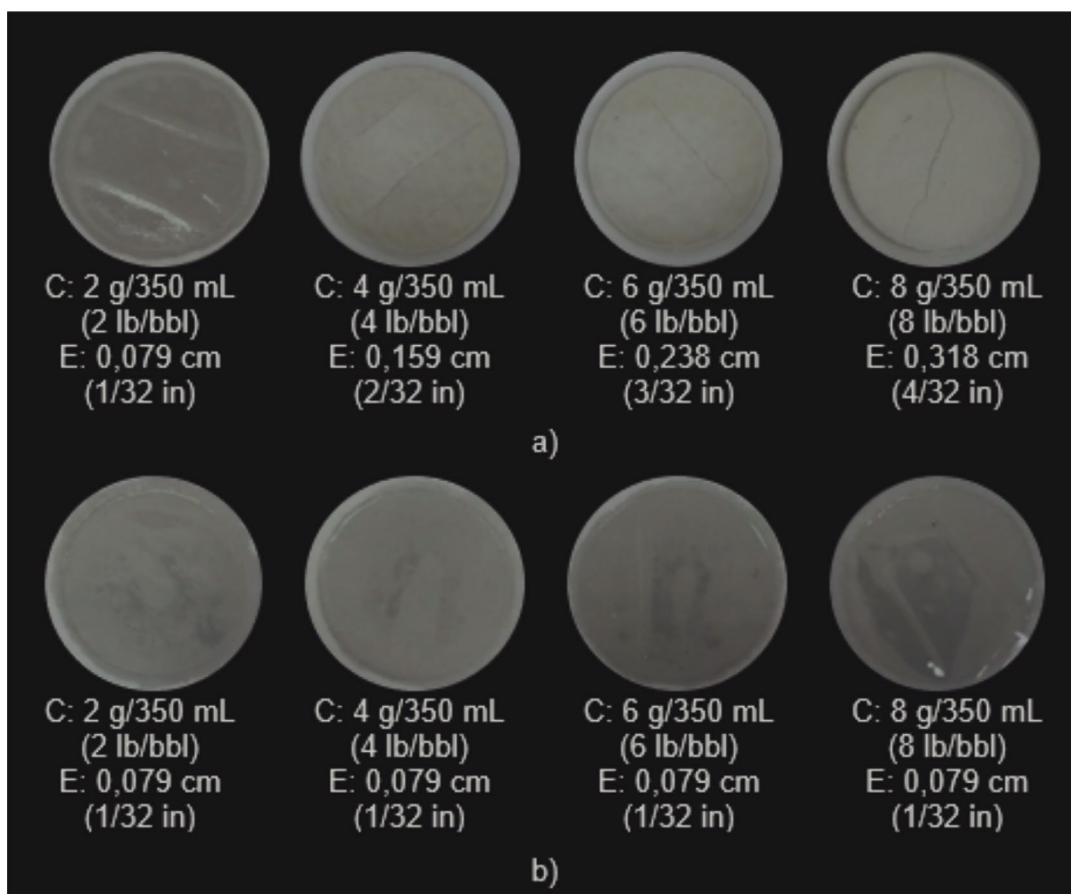


Figura 8. Tortas de filtrado de almidón de melloco en fluidos de perforación: a) no envejecidos y b) envejecidos C: concentración de almidón, E: espesor de torta

del envejecimiento, las interacciones origen-tratamiento y origen-concentración también fueron significativas con valores de $p < 0,05$. La concentración a pesar de no tener influencia significativa antes del envejecimiento, debido a los resultados obtenidos para almidones naturales, muestra diferencia después del proceso de envejecimiento. El tratamiento de modificación no mostró una diferencia estadísticamente significativa, por consiguiente, no sería necesaria su aplicación y los costos de producción de almidón se reducirían únicamente a producción de cultivo y extracción del almidón. El porcentaje de reducción no fue determinado en este estudio.

La investigación realizada por Taiwo y Kazeem (2011); con almidón como controlador de filtrado, evalúa su capacidad como agente controlador en conjunto con varios aditivos como la bentonita y celulosa polianiónica (PAC), los cuales también son agentes controladores y no permiten evidenciar el efecto del almidón por si solo; sin embargo, se reportan comportamientos semejantes a los obtenidos en el presente trabajo.

Como se ilustra en la Fig. 8. las tortas formadas por el almidón de melloco antes de su envejecimiento presentaron un espesor creciente. Después de este proceso, los revoques mostraron una baja permeabilidad con un espesor de 0,079 cm (1/32 in). Tortas de consistencia y espesor semejantes fueron obtenidas para los demás almidones.

Después de 16 h de agitación y calentamiento, los fluidos presentaron valores de pH comprendidos entre 8,12 y 8,89 con una variación en promedio de $1,12 \pm 0,94$ para almidones naturales y $1,14 \pm 0,72$ para almidones modificados. Este cambio en el pH haría necesario el uso de un bactericida para evitar la degradación y fermentación del almidón conforme avance el tiempo (MI-SWACO 2001). A valores de pH superiores a 8,00; la influencia de los almidones sobre las propiedades de reología y pérdida de filtrado no se ven afectadas, como se evidenció en los incisos anteriores.

Análisis de las propiedades del fluido de perforación con la mejor composición de los tubérculos en estudio

En la sección anterior se aclaró que el envejecimiento permitió simular las condiciones de pozo en las que el fluido de perforación podría ser usado, razón por la cual únicamente los sistemas envejecidos fueron evaluados en esta sección. Las pruebas se evaluaron a las temperaturas convencionales de un pozo en Ecuador sin embargo fueron realizadas exclusivamente a escala de laboratorio.

Como se pudo observar anteriormente, las viscosidades de los fluidos son relativamente semejantes independientemente del tipo de almidón y del tipo de tratamiento aplicado, a 600 RPM con concentraciones de 8 g/ 350 mL (8 lb/bbl) se alcanzaron viscosidades cercanas a 18 cP, valor referencial de viscosidad plástica (API 2010).

Para el control de filtrado se evidenció que además de la concentración, el origen del almidón

es estadísticamente significativo. A 8 g/350 mL (8 lb/bbl), el almidón de melloco en estado natural presentó la menor pérdida de filtrado con un promedio de 6,75 mL/30 min, valor inferior en comparación con 21,05 mL/30 min para el almidón de yuca modificado, 15,75 mL/30 min para almidón de achira natural, 13,10 mL/30 min para el almidón comercial e inferior al valor máximo de 10,00 mL/30 min para almidones usados como aditivos controladores de filtrado (API 2010). Esta característica, permitió seleccionar el fluido compuesto por almidón de melloco a la concentración señalada, como el mejor sistema para ser caracterizado. Cabe recalcar que no se presentan investigaciones previas con almidón de melloco como aditivo para lodos de perforación.

El lodo de perforación con mejores propiedades, presentó una densidad de 1 000 kg/m³ (8,33 lb/gal) a una temperatura de 30 °C, valor semejante a la densidad del agua, esto evidencia que el almidón no aporta propiedades densificantes al lodo debido a una baja densidad aparente (Granados *et al.* 2014). La carencia de esta propiedad podría ser beneficiosa puesto que sería posible controlar la pérdida de filtrado sin afectar la densidad del sistema la cual se ajusta con aditivos pesantes según los requerimientos de la sección a perforar (Lagos 2014).

La densidad señalada no fue suficiente para evaluar los rangos de viscosidad plástica y punto cedente según lo establecido en el manual de MI-SWACO (2001); sin embargo es posible señalar que un promedio de viscosidad plástica de 7 cP y punto cedente de 6,00 lbf/100 ft² para este fluido corresponderían a valores bajos de energía para reiniciar la circulación, lo cual sería favorable para el fluido de perforación (MI-SWACO 2001).

CONCLUSIONES

Los almidones naturales de yuca, achira y melloco presentan diferencias de tamaño, forma de grano y distribución granulométrica en comparación con el almidón comercial.

Los valores de ISA, IAA y PH fueron superiores en los almidones modificados atribuido a su reorganización intragranular.

El origen, tratamiento y concentración de almidón afectan las propiedades reológicas; además, tienen una influencia significativa sobre la pérdida de filtrado; en los sistemas antes y después del proceso de envejecimiento.

El mejor fluido de perforación se preparó con 8,00 g/350 mL (8 lb/bbl) de almidón de melloco y presentó una densidad de 1 000 kg/m³ (8,33 lb/gal), viscosidad plástica de 7 cP, punto cedente de 2,88 Pa (6 lbf/100 ft²), geles planos de 1,02 Pa (2 lbf/100 ft²) y pérdida de filtrado de 6,75 mL/30 min, después de su envejecimiento.

El uso de almidón de melloco en estado natural es factible como sustituto de almidón comercial, sus valores de reología son comparables y su pérdida de filtrado menor.

La reducción de cultivos de melloco en Ecuador podría cesar como resultado de la viabilidad comercial de los tubérculos locales de melloco para la obtención de almidón. Su producción

podría ser factible debido a la obtención de mejores resultados como aditivos controladores de filtrado, en comparación con los diferentes almidones usados en otros estudios; sin embargo es necesario ampliar el estudio y evaluar el comportamiento del almidón en diferentes formulaciones de fluidos probados en el país.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a la Facultad de Ingeniería Química de la Escuela Politécnica Nacional por su apoyo para la culminación de este proyecto de investigación.

REFERENCIAS CITADAS

- Alcázar, S., y Almeida, M., 2015, Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. *Food Science and Technology* (Campinas), 35(2), 215–236. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.6749>
- Amanullah, M., y Yu, L. (2005). Environment friendly fluid loss additives to protect the marine environment from the detrimental effect of mud additives. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 48(3–4), 199–208. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2005.06.013>
- American Petroleum Institute (API). (2010). API Specification 13A. Purchasing Guidelines Handbook (18th ed.). <https://doi.org/10.1002/ejoc.201200111>
- American Petroleum Institute (API). (2014). Recommended Practice for Field Testing Water-Based Drilling Fluids, (March), 1–230.
- Aristizábal, J., y Sánchez, T. (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. *Fao*, 163, 134. <https://doi.org/9253056770-9789253056774>
- Ariza, E., Castro, A., y Gómez, J. (2013). Factibilidad del uso del almidón de achira como agente controlador de filtrado en lodos de perforación base agua. *ION*, 26(1), 63–71.
- Arocas, A., Sanz, T., y Fiszman, S. (2011). Influencia de la modificación del almidón en las propiedades reológicas de una salsa blanca después del calentamiento y la congelación. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10251/12621>
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2005). *Official Methods of Analysis (AOAC) International*: Cereal Foods. (18th ed). Gaithersburg, MD USA Official methods.
- BSS Global Operations Manager. (2015). Baroid Surface Solutions TM SOLIDS CONTROL AND WASTE MANAGEMENT. (E. Kubena, Ed.) (5th ed.). Houston: Halliburton Management System.
- Caenn, R., y Chillingar, G. V. (1996). Drilling fluids: State of the art. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 14(3–4), 221–230. [https://doi.org/10.1016/0920-4105\(95\)00051-8](https://doi.org/10.1016/0920-4105(95)00051-8)
- Castro, A., y Gómez, J. (2012). Estudio de la Factibilidad del uso de Almidón de Achira como Aditivo en Lodos de Perforación en Base Agua. Universidad Industrial de Santander.
- Chaplin, M. (2001). Starch. Recuperado de <http://www1.lsbu.ac.uk/water/starch.html>

- Copeland, L., Blazek, J., Salman, H., y Chiming, M. (2014). Form and functionality of starch. *Food Hydrocolloids*, 23(6), 1527–1534. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.09.016>
- Coyago, E. (2003). Estudio de las características físico químicas, funcionales y reológicas de las masas de banano. (Proyecto de Titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial no publicado). Escuela politécnica Nacional, Quito, Ecuador
- Dias, F. T. G., Souza, R. R., y Lucas, E. F. (2015). Influence of modified starches composition on their performance as fluid loss additives in invert-emulsion drilling fluids. *Fuel*, 140, 711–716. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.09.074>
- Ekeigwe, O. N., Anyiam, C. K., Ayo, M. D., y Ekebafé, L. O. (2013). The Formulation Of Water Based Drilling Fluid From Local Materials. *Journal of Applied Sciences Research*, 2(1), 18–22.
- Espín, S., Villacrés, E., Brito, B., Espinosa, P., Monteros, A., Villacrés, E., ... Gerardo, H. (2003). Caracterización físico-química, nutricional y funcional de raíces y tubérculos andinos. *Conservacion y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos* (Vol. 4). Recuperado de <http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Raíces y Tubérculos Alternativas para el uso sostenible en Ecuador.pdf>
- Flores, E., García, F., Flores, E., Núñez, M., González, R., y Bello, L. (2004). Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de platano (*Musa paradisiaca*). *Acta Científica Venezolana*, 55(October 2015), 86–90.
- Garzón, M. (2006). Almidón retrogradado para uso en compresión directa. I. Caracterización y pregelatinización del almidón de chayote. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 37(1), 18–28. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/579/57937104.pdf>
- González, J., Martínez, A., Vega, R., y Otahola, J. (2012). Almidón de Yuca (*Manihot esculenta*) Como Aditivo Controlador de Filtrado para Fluidos de Perforación Base Agua. In 10th LACCEI Latin American and Caribbea Conference (LACCEI'2011), Engineering for a Smart Planet, Innovation, Information Technology and Computational Tools for Sustainable Development. (pp. 1–11).
- González, Z., y Pérez, E. (2003). Evaluación físico-química y funcional de almidones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) pregelatinizados y calentados con microondas. *Acta Cient. Venez.*, 54(1), 127-137,
- Granados, C., Guzman, L., Acevedo, D., Díaz, M., y Herrera, A. (2014). PROPIEDADES FUNCIONALES DEL ALMIDON DE SAGU (*Maranta arundinacea*). *Biotechnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 12(2), 90–96. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v12n2/v12n2a10.pdf>
- Hernández, M., Torruco, J. G., Chel, L., y Betancur, D. (2008). Caracterización físicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciência E Tecnologia de Alimentos*, 28(3), 718–726. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300031>
- International Starch Institute (ISI). (1999). ISI 32-1e Determination of Starch Size Distribution by Screening.
- International Trade Center (ITC). (2017a). Lista de los mercados proveedores para un producto importado por Ecuador Producto: 391231 Carboximetilcelulosa y sus sales, en formas primarias. Recuperado de http://www.trademap.org/Product_SelCountry_TS.aspx

- International Trade Center (ITC). (2017b). Lista de los mercados proveedores para un producto importado por Ecuador Producto: 391239 Éteres de celulosa, en formas primarias (exc. carboximetilcelulosa y sus sales). Recuperado de http://www.trademap.org/Product_SelCountry_TS.aspx
- Lagos, K. (2014). Diseño de un Sistema de Mezclado Mecánico a Escala Industrial con Capacidad de 200 Barriles por Día, para dos Fluidos de Perforación Base Agua Formulados a Escala de Laboratorio. Escuela Politécnica Nacional. Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7466>
- León, E. A., Camilo, A., y Molina, F. (2011). Como Aditivo Para Lodos De Perforación Feasibility of Using Plantain Starch As Drilling Fluid Additive. *Revista ION*, 24(1), 15–22.
- MI-SWACO. (2001). Manual de fluidos de perforación Procedimiento Estándar para las Pruebas de Fluidos de Perforación (A-1). Dalas.
- Orozco, C. (1990). Elaboración de un alimento infantil cocido por extrusión, formulado a base de arroz, soya y leche en polvo II Parte. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Agoindustrial no publicado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador
- Pineda, P., Coral, D., Ramos, D., Rosales, A., y Rodríguez, M. (2011). Thermo-alkaline treatment. A process that changes the thermal properties of corn starch. *Procedia Food Science*, 1, 370–378. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.057>
- Ruiz, G. (2006). Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Ingeniería y Ciencia*, 2, 5–28.
- Salehi, S., Ghalambor, A., Saleh, F., Jabbari, H., y Hussmann, S. (2015). Study of Filtrate and Mud Cake Characterization in HPHT : Implications for Formation Damage Control. In *SPE European Formation Damage Conference and Exhibition* (pp. 1–9). Budapest: Society of Petroleum Engineers. <https://doi.org/10.2118/174273-MS>
- Samavati, R., Abdullah, N., Tahmasbi, K., Hussain, S., y Awang, D. (2014). The Prospect of Utilizing a Cassava Derivative (Fufu) as a Fluid Loss Agent in Water Based Drilling Muds. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 5(2). <https://doi.org/10.7763/IJCEA.2014.V5.371>
- Santoyo, E., Santoyo-Gutiérrez, S., García, A., Espinosa, G., y Moya, S. L. (2001). Rheological property measurement of drilling fluids used in geothermal wells. *Applied Thermal Engineering*, 21(3), 283–302. [https://doi.org/10.1016/S1359-4311\(00\)00003-X](https://doi.org/10.1016/S1359-4311(00)00003-X)
- Taiwo, A., y Kazeem, A. A. (2011). Investigation of local polymer (Cassava starches) as a substitute for imported sample in viscosity and fluid loss control of water based drilling mud, 6(12), 43–48.
- Torres, A., Durán, M., y Montero, P. (2013). Evaluación de las propiedades funcionales del almidón obtenido a partir de malanga (Colocasia esculenta). *Ciencias E Ingeniería Al Día*, 8(2), 29–38.
- Udoh, F. D., y Okon, A. N. (2012). Formulation of water based drilling fluid using local materials. *Asian Journal of Microbiological Biotechnology and Environmental Sciences*, 14(2), 167–174.
- Uthumporn, U., Wahidah, N., y Karim, A. (2014). Physicochemical Properties Of Starch From Sago (Metroxylon Sagu) Palm Grown In Mineral Soil At Different Growth Stages. *IOPscience*, 62, 1–11. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/62/1/012026>

- Villacrés, E., y Ruiz, F. (2002). Raices y tubérculos andinos: alimentos de ayer para la gente de hoy. Recuperado de [http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/RAICES Y TUBERCULOS - RECETAS PARA UNA ALIMENTACION SANA Y NUTRITIVA.PDF](http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/RAICES_Y_TUBERCULOS_RECETAS_PARA_UNA_ALIMENTACION_SANA_Y_NUTRITIVA.PDF) (Noviembre, 2017)
- Williamson, D. (2013). Fundamentos de los fluidos de perforación. *Oilfield Review*, 25(1), 67–69.
- Zárate, L., Ramírez, L., Otálora, N., Prieto, L., Garnica, H., Cerón, M., y Argüelles, J. (2014). Extracción y caracterización de almidón nativo de clones promisorios de papa criolla (*Solanum tuberosum*, Grupo Phureja). *Revista Latinoamericana De La Papa*, 18(1), 1–24. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Zoveidavianpoor, M., y Samsuri, A. (2016). The use of nano-sized Tapioca starch as a natural water-soluble polymer for filtration control in water-based drilling muds. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 34, 832–840. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2016.07.04>
- Hoja Chos Malal”, *Revista de la Sociedad Geológica Argentina* 1, p. 177–208.



**10° CONGRESO DE
EXPLORACIÓN Y
DESARROLLO DE
HIDROCARBUROS**

**Energía y Sociedad
aliados inseparables
Mendoza 2018**