

**ANÁLISIS INFERENCIAL DESCRIPTIVO DEL CONTENIDO DE AMILOSA Y
AMILOPECTINA EN TUBÉRCULOS COMO POSIBLE FUENTE DE ADITIVOS
VISCOSIFICANTES Y CONTROLADORES DE FILTRADO EN LODOS DE
PERFORACIÓN BASE AGUA.**

ANDRÉS EDUARDO ROSSI HERREÑO



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA**

2014

**ANÁLISIS INFERENCIAL DESCRIPTIVO DEL CONTENIDO DE AMILOSA Y
AMILOPECTINA EN TUBÉRCULOS COMO POSIBLE FUENTE DE ADITIVOS
VISCOSIFICANTES Y CONTROLADORES DE FILTRADO EN LODOS DE
PERFORACIÓN BASE AGUA.**

ANDRÉS EDUARDO ROSSI HERREÑO
Trabajo de grado para optar al título de
INGENIERO DE PETRÓLEOS

Director

OSCAR VANEGAS ANGARITA
INGENIERO DE PETRÓLEOS



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA

2014

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer de manera muy especial a mis padres Ruth Aida Herreño Ardila y Ramón Rossi Santodomingo, quienes con su esfuerzo y apoyo incondicional, me enseñaron a luchar por lo que quiero y me permitieron alcanzar esta meta.

Igualmente quiero extender ese agradecimiento a mi novia Jhyld Carolaind Camacho Barbosa quien con su paciencia y amor se convirtió en un pilar importante en mi vida, permitiéndome encontrar el rumbo en tiempos de confusión gracias a su apoyo.

A todos esos buenos amigos que me deja esta universidad, Leo Torres, Eyberth Bastidas, Diana Catherine, Don Calvo Guss, Oscar Ebrath “El negro eructito”, Steven “El guapo”, Jhon “Veneco” y a todas esas personas que desinteresadamente me brindaron su tiempo; con quienes compartí momentos de estudio y también de celebración. Gracias por haberme animado en los momentos difíciles y también por los buenos momentos los cuales espero que se repitan.

No olviden que pueden contar conmigo y que siempre habrá una mano amiga esperándolos.

Andrés Eduardo Rossi Herreño

Tabla de contenido

Introducción.....	14
1. Generalidades de los lodos de perforación	16
1.1. Funciones de los lodos de perforación(1,2,7-9)	16
1.2. Clasificación de lodos de perforación (3-6,9,10)	18
1.3. Propiedades de los fluidos de perforación (4) (6).....	19
2. Viscosificantes y controladores de filtrado en lodos de perforación. '	21
2.1. Viscosificantes	22
2.2. Agentes viscosificantes.	22
2.3. Controladores de filtrado	25
2.4. Importancia y aplicación.	26
2.5. Medición de las pérdidas de filtrado.	27
2.6. Problemas relacionados con las perdidas excesivas de filtrado.....	28
2.7. Problemas relacionados con el espesor excesivo de la torta.(1,3,10).....	28
2.8. Factores que afectan el filtrado. (1,3,10).....	29
2.9. Aditivos para el control de filtrado.	30
3. Polímeros	34
3.1. Clasificación de los polímeros.	34
3.2. Factores que afectan a los polímeros.....	37
3.3. Degradación de los polímeros.	38
4. Almidón	39
4.1. Componentes del almidón.....	46

4.2. Modificación del almidón	48
5. Estadística	52
5.1. Estadística descriptiva	52
5.1.1. Parámetros de tendencia central	52
5.1.2. Parámetros de dispersión	54
5.1.3. Parámetros de posición	55
5.1.4. Parámetros de forma y concentración.....	55
5.2. Estadística inferencial	56
5.2.1. Distribución muestral	56
5.2.2. Distribución muestral de proporciones	58
5.2.3. Métodos de muestreo	58
5.2.4. Tamaño de la muestra para medias usando muestreo aleatorio simple.	59
5.3. Estimación por intervalos de confianza	59
5.4. Aplicación del modelo de estadística inferencial.	60
5.4.1. Prueba de hipótesis	60
5.4.2. Errores en la prueba de hipótesis	61
5.4.3. Estadística de prueba	63
5.4.4. Etapas de una prueba de hipótesis estadística.	63
5.5. Análisis de tendencia	66
5.5.1. Fundamentos de regresión	66
5.5.2. Coeficiente de correlación.....	67
6. Metodología de trabajo.....	69
6.1. Tipo de diseño.....	69
6.2. Criterios de inclusión.....	69

6.3.	Variables	69
6.4.	Proceso de recolección de la información	70
6.5.	Análisis de datos.....	70
6.5.1.	Procesamiento y calidad de los datos.	70
6.5.2.	Fortalezas	70
6.5.3.	Limitaciones.....	71
7.	Resultados.....	73
7.1.	Contenido de amilosa y amilopectina en tubérculos.	73
7.2.	Prueba de diferencias de proporciones sobre el contenido de amilosa en tubérculos.	78
7.3.	Prueba de diferencias de proporciones sobre el contenido de amilopectina en tubérculos.....	80
7.4.	Aplicación de almidones en lodos de perforación	83
7.5.	Regresión lineal para la estimación del efecto de los almidones de tubérculos en las propiedades de los lodos de perforación base agua.....	84
7.5.1.	Regresión lineal para la estimación del efecto del contenido promedio de amilosa en tubérculos en la viscosidad aparente de los lodos de perforación base agua.	85
7.5.2.	Regresión lineal para la estimación del efecto del contenido promedio de amilosa en tubérculos en el control de filtrado de los lodos de perforación base agua.	87
8.	Conclusiones.....	89
9.	Recomendaciones.....	90
	Referencias Bibliograficas.....	91
	Bibliografía	97

Índice de tablas.

Tabla 1. Clasificación de polímeros.....	36
Tabla 2. Factores que afectan los polímeros.....	37
Tabla 3. Tipos de degradaciones en los polímeros.....	38
Tabla 4. Errores en prueba de hipótesis.....	62
Tabla 5. Contenido de amilosa y amilopectina en tubérculos.....	73
Tabla 6. Intervalos, promedio y desviación estándar del contenido porcentual de amilosa y amilopectina en tubérculos.....	77
Tabla 7. Diferencia de proporciones del contenido de amilosa de la papa en comparación con otros tubérculos.....	78
Tabla 8. Diferencia de proporciones del contenido de amilosa del ñame en comparación con otros tubérculos.....	78
Tabla 9. Diferencia de proporciones del contenido de amilosa de la yuca en comparación con otros tubérculos.....	79
Tabla 10. Diferencia de proporciones del contenido de amilosa de la achira en comparación con otros tubérculos.....	80
Tabla 11. Diferencia de proporciones del contenido de amilosa de la arracacha en comparación con la oca.....	80
Tabla 12. Diferencia de proporciones del contenido de amilopectina de la papa en comparación con otros tubérculos.....	81
Tabla 13. Diferencia de proporciones del contenido de amilopectina del ñame en comparación con otros tubérculos.....	81
Tabla 14. Diferencia de proporciones del contenido de amilopectina de la yuca en comparación con otros tubérculos.....	82
Tabla 15. Diferencia de proporciones del contenido de amilopectina de la achira en comparación con otros tubérculos.....	82
Tabla 16. Diferencia de proporciones del contenido de amilopectina de la arracacha en comparación con la oca.....	83

Tabla 17. Datos de pruebas de rendimiento y control de filtrado84

Índice de figuras.

Figura 1. Tipos de cadenas en un polímero.	34
Figura 2. Mazorcas de maíz (<i>Zea mays</i>).....	40
Figura 3. Principales países productores de maíz. Campaña 2009/10.....	40
Figura 4. Planta de papa (<i>Solanum tuberosum</i>) con tubérculos de la tierra.	41
Figura 5. Planta de Mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)	42
Figura 6. Planta de Ahipa (<i>Pachyrhizus ahipa</i>)	43
Figura 7. Tubérculos de ñame (<i>Dioscorea trifida</i>).....	44
Figura 8. Planta de Achira (<i>cannaedulis</i> Ker)	45
Figura 9. Estructura química de la amilosa	47
Figura 10. Estructura química de la amilopectina.....	48
Figura 11. Etapas de una prueba de hipótesis estadística	64
Figura 12. Prueba de hipótesis unilaterales o de una cola.	65
Figura 13. Metodología	72
Figura 14. Histograma de normalidad de la distribución del contenido de amilosa en tubérculos.	75
Figura 15. Grafica de cuantiles de la amilosa con los cuantiles de una distribución normal: Gráfico Q-Q plot.....	76
Figura 16. Histograma de normalidad de la distribución del contenido de amilopectina en tubérculos.	76
Figura 17. Grafica de cuantiles de la amilopectina con los cuantiles de una distribución normal: Gráfico Q-Q plot.	77
Figura 18. Modelo de regresión lineal para la estimación de la viscosidad aparente a partir del contenido promedio de amilosa en tubérculos.	85
Figura 19. Comportamiento de la viscosidad aparente vs contenido de amilosa..	86
Figura 20. Modelo de regresión lineal para la estimación del control de filtrado en lodos base agua a partir del contenido promedio de amilosa en tubérculos.	87
Figura 21. Comportamiento del control de filtrado vs contenido de amilosa	88

RESUMEN

TÍTULO: ANÁLISIS INFERENCIAL DESCRIPTIVO DEL CONTENIDO DE AMILOSA Y AMILOPECTINA EN TUBÉRCULOS COMO POSIBLE FUENTE DE ADITIVOS VISCOSIFICANTES Y CONTROLADORES DE FILTRADO EN LODOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA*.

AUTORES:

Andres Eduardo Rossi Herreño^{**}

PALABRAS CLAVES: Almidón, Amilopectina, Amilosa, Agentes Viscosificantes, Control de Filtrado.

DESCRIPCIÓN:

Investigaciones realizadas con almidones extraídos de tubérculos sobre su efecto en lodos de perforación base agua, han demostrado sus características como agentes viscosificantes y controladores de filtrado en los lodos. Sin embargo existen múltiples resultados y diferencias entre los mismos por lo cual es importante la identificación de la mejor fuente de aditivos.

Como objetivo se propuso identificar una posible fuente de aditivos viscosificantes y controladores de filtrado para su uso en lodos de perforación base agua, proveniente del contenido de amilosa y amilopectina en tubérculos.

Se realizó una búsqueda exhaustiva de trabajos científicos realizados en Colombia durante los últimos 5 años; sus resultados fueron analizados mediante la prueba estadística de diferencia de proporciones y la regresión lineal, considerando significativo cuando los estimadores presentaron un valor de $p < 0.05$ en la modificación de las propiedades reológicas en lodos base agua dadas por el contenido de amilosa y amilopectina en tubérculos.

En resumen se observa que la utilización del almidón extraído de un tubérculo con una proporción media-alta de amilosa mostrara efectos beneficiosos sobre las características reológicas en lodos de perforación base agua. La continuación de investigación sobre el efecto de la amilosa en las características reológicas, permitirá la innovación de productos que además de mejorar las características del lodo contribuyan al cuidado del medio ambiente.

* Trabajo de grado.

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Ingeniera de Petróleos, DIRECTOR ING. OSCAR VANEGAS ANGARITA.

ABSTRACT

TITLE: DESCRIPTIVE ANALYSIS OF CONTENT INFERENCE AMYLOSE AND AMYLOPECTIN TUBERS SOME ADDITIVES AS POSSIBLE SOURCE AND DRIVERS VISCOSIFIERS FILTERING IN WATER-BASED DRILLING MUD.*

AUTHORS:

Andres Eduardo Rossi Herreño **

KEY WORDS: Starch, Amylopectin, Amylose, Viscosifiers Agents, Filtration Control Additives.

DESCRIPTION:

Research with starches extracted from tubers on its effect on water-based drilling muds has shown their characteristics viscosifying agents and filtering driver in sludge. However, there are multiple outcomes and differences between them so it is important to identify the best source of additives.

Our aim is to identify a possible source of additives viscosifying and filtering driver for use in water-based drilling muds, arising from the content of amylose and amylopectin in some tubers, using known information and statistical tools that would predict the behavior of each of the components.

We performed an exhaustive search of scientific work in Colombia over the past five years, and the results were analyzed using the statistical test of difference in proportions and linear regression was considered significant when the estimators presented a value of $p < 0.05$ in modifying rheological properties in water-based mud from the content of amylose and amylopectin in some tubers.

In summary it is observed that the use of starch extracted from a tuber with a high average proportion of amylose showed beneficial effects on the rheological characteristics in water-based drilling muds. Continued research on the effect of amylose on the rheological characteristics, product innovation will also improve sludge characteristics contribute to environmental care.

* Work degree.

** Faculty of Engineering Physicochemical, School of Petroleum Engineering, DIRECTOR ING. OSCAR VANEGAS ANGARITA.

Introducción

En la industria del petróleo los lodos de perforación optimizan este proceso, gracias a las diferentes funciones que estos cumplen, algunas de estas son la reducción de la temperatura en la broca, la extracción de ripios, evitar el derrumbe de las paredes del pozo, y al mismo tiempo las fugas de gas o petróleo que podrían llegar a producirse en el transcurso de la perforación. Sin embargo, estos lodos de perforación necesitan la adición de aditivos para obtener determinadas características reológicas como la viscosidad, el control de filtrado y otras, que le permitan cumplir con sus funciones durante el proceso de perforación

Actualmente, se utilizan químicos que proporcionan la reología necesaria en los lodos para la optimización de la perforación; sin embargo se desconoce su formulación química y composición. El uso de estos químicos en el lodo genera desechos tóxicos para el medio ambiente y su eliminación o tratamiento es altamente costoso y de larga duración, debido a esto, es necesario identificar otros aditivos que optimicen el proceso de perforación sin causar daños al medio ambiente y que sean más económicos, de tal forma que puedan generar ganancias a las empresas petroleras.

Existen diferentes tipos de lodos, sin embargo los más utilizados en la industria son los de base agua, los cuales serán el objeto del presente proyecto.

En la actualidad se ha experimentado con almidones extraídos de diferentes fuentes naturales, y que se componen principalmente de amilosa y amilopectina, estudios en los cuales se han demostrado sus características como agentes viscosificantes y controladores de filtrado. Estos análisis realizados en diferentes partes del mundo son publicados, y muchas veces por falta de difusión son replicados, proporcionando un desperdicio de tiempo y dinero; sin permitir llegar a una conclusión del tema.

Además, los efectos de los almidones son variables dependiendo del tubérculo del cual fueron extraídos y del estado del lodo, es decir, puro o mezclado con otros componentes.

En el presente trabajo se realizó un análisis inferencial estadístico sobre resultados obtenidos por otros estudios, para determinar si el contenido de amilosa y amilopectina que difiere entre los tubérculos, influye o no en el efecto sobre las características reológicas en lodos de perforación base agua, con la finalidad de identificar una posible fuente de aditivos.

1. Generalidades de los lodos de perforación

Se denomina lodo de perforación o simplemente lodo a un fluido que es fundamentalmente líquido y que circula en pozos de petróleo y gas para cumplir con diferentes funciones como limpiar y acondicionar el hoyo, lubricar la broca, equilibrar la presión de formación y además servir como medio de transporte para los ripios. (1–7)

Un lodo de perforación, no debe ser tóxico, ni corrosivo, ni inflamable, además debe ser inerte a las contaminaciones de sales solubles o minerales y estable a las altas temperaturas(6); pudiendo mantener sus propiedades según la exigencia de las operaciones.

1.1. Funciones de los lodos de perforación(1,2,7–9)

Los lodos de perforación deben cumplir con funciones específicas dentro del proceso perforación, facilitando su desarrollo y minimizando problemas operacionales y de estabilidad del pozo. Es responsabilidad del especialista realizar ensayos físico-químicos de acuerdo con las normas API para proceder a hacer los ajustes necesarios que faciliten la consecución de los objetivos propuestos. (1)(7)

Son muchos los requerimientos para obtener las propiedades necesarias en un lodo de perforación óptimo; por lo cual hay que diseñar una lista de las funciones que debe desarrollar el lodo.

Las principales funciones de un lodo de perforación son:

Capacidad de transporte: El lodo debe tener propiedades y características, que junto a la velocidad de circulación le permitan hacer la remoción y el transporte de ripios desde el fondo del pozo hasta la superficie.

Enfriar y lubricar: El lodo de perforación cumple una función como refrigerante, la cual permite la reducción del calor generado por la fricción mecánica entre la broca y la formación; al mismo tiempo, el lodo actúa como fluido lubricante permitiendo un mejor desempeño de la herramienta.

Formar revoque: Para disminuir y evitar los problemas que se generan del derrumbe de las paredes del pozo y el atascamiento de tubería en formaciones permeables, es necesario formar una capa que le de consistencia a la pared del pozo con un revoque liso, delgado, flexible, de baja permeabilidad y altamente compresible.

Controlar la presión de la formación: El lodo de perforación ejerce una presión hidrostática en función de la densidad y altura vertical del pozo, la cual permite controlar la presión que ejercen los fluidos contenidos en la formación sobre el pozo.

Capacidad de suspensión: La resistencia o fuerza de gel es la propiedad reológica del fluido que permite mantener en suspensión las partículas sólidas cuando se interrumpe la circulación.

Flotabilidad: Esta propiedad ayuda a suspender parte del peso de la sarta de perforación y del revestimiento cuando se introducen en el pozo. Disminuyendo la carga que tienen que soportar las herramientas en superficie, al ser absorbida en parte por la fuerza boyante del fluido.

Evaluación: El lodo debe Proveer un medio adecuado para tomar los registros del pozo y debe tener una alta calidad para facilitar la toma de núcleos y la evaluación de las formaciones perforadas.

Hidráulica: El lodo transmite potencia de lavado desde la superficie hasta el fondo del pozo, que permite obtener la máxima caída de presión en la broca y facilitar una limpieza efectiva del fondo del pozo y del espacio anular.

Disminuir el daño: Durante la perforación, el lodo de perforación puede atravesar diferentes formaciones y generar perturbaciones en su composición química, creando un daño a la misma, se debe buscar que cumpla con las características para que esto no ocurra.

Permitir la cementación y el completamiento del pozo: El lodo de perforación debe adecuar las paredes del pozo, de manera que permita la correcta cementación de la tubería de revestimiento y el completamiento de la zona de interés.

1.2. Clasificación de lodos de perforación (3–6,9,10)

Los lodos de perforación se clasifican comúnmente de acuerdo a un fluido base; en lodos base agua, lodos base aceite y fluidos neumáticos.

Lodos base agua.

Son los fluidos de perforación que tienen como fase continua agua dulce o salada, y que sirve como medio para que ciertos materiales se disuelvan y generen las propiedades reológicas adecuadas para el buen funcionamiento del lodo. Por lo general la fase dispersa es bentonita. Este tipo de lodo es el más usado en la industria, debido a su sencillez y menores costos.

Los lodos base agua varían en complejidad, dependiendo de las propiedades requeridas para el proceso y a la reactividad química de las formaciones perforadas.

Lodos base aceite.

Un lodo base aceite es una emulsión, es decir, líquidos que no se mezclan bajo condiciones normales y, se caracteriza porque su parte líquida continua es aceite y la fase dispersa consta de pequeñas gotas de otros fluidos y sólidos en suspensión.

Para que la emulsión sea más estable, es necesario el uso de un agente emulsificante que no permita la separación de las fases.

Lodos Neumáticos.

Este tipo de lodo se caracteriza porque la fase continua es aire u otro gas (gas seco o mezcla de gases). A este tipo de fluidos también se le conoce como “Fluido de perforación reductores de presión”, debido a que su gradiente de presión es mucho menor que el de los lodos base aceite y por consiguiente menor que el de los lodos base agua. El propósito original para el uso de este tipo de fluidos es el de aminorar las pérdidas de fluido hacia la formación y reducir el daño a esta, además de aumentar la rata de penetración en zonas de rocas muy duras.

1.3. Propiedades de los fluidos de perforación (4)·(6)

Las propiedades del fluido a mantener durante la perforación del pozo son físicas y químicas.

Propiedades Físicas.

Densidad: Esta propiedad permite que el lodo de perforación pueda desarrollar una función de sellamiento, evitando que los fluidos contenidos en la formación puedan emigrar hacia el pozo durante la perforación.

Viscosidad plástica: Es la propiedad que genera resistencia al flujo causada por fricción mecánica, esta fricción se produce: entre los sólidos contenidos en el lodo, entre los sólidos adheridos a las paredes del pozo y el líquido que los rodea, debido al esfuerzo cortante del propio líquido.

Viscosidad aparente: Se define como la medición en centipoises que un fluido Newtoniano debe tener en un viscosímetro rotacional, a una velocidad de corte previamente establecida, y que denota los efectos simultáneos de todas las propiedades de flujo.

Resistencia o fuerza de gel: Representa una medida de las propiedades tixotrópicas de un fluido y denota la fuerza de floculación bajo condiciones estáticas.

Punto cedente: Se define como la resistencia a fluir causada por las fuerzas de atracción electroquímicas entre las partículas sólidas, en estado dinámico. Estas fuerzas son el resultado de las cargas negativas y positivas localizadas cerca de la superficie de las partículas.

Filtrado: El filtrado indica la cantidad relativa de líquido que se filtra a través de la torta hacia las formaciones permeables, cuando el fluido es sometido a una presión diferencial.

Contenido de sólidos: Es de gran importancia en un lodo de perforación la existencia de sólidos que generan características deseadas para un óptimo funcionamiento como la arcilla y la barita, así como la eliminación y control de otros que son provenientes del proceso de perforación y que pueden causar problemas con las características reológicas del mismo.

PH: Durante el tratamiento químico de los lodos de perforación es necesario conocer su alcalinidad y acidez, los cuales se definen en términos del pH del lodo y permiten controlar la reactividad del mismo con las formaciones perforadas

Propiedades Químicas.

Dureza: Es causada por la cantidad de sales de calcio y magnesio disueltas en el agua o en el filtrado del lodo. El calcio por lo general, es un contaminante de los lodos base de agua.

Cloruros: Es la cantidad de iones de cloro presentes en el filtrado del lodo. Una alta concentración de cloruros causa efectos adversos en un fluido base de agua.

Alcalinidad: La alcalinidad de una solución se puede definir como la concentración de iones solubles en agua que pueden neutralizar ácidos. Con los datos obtenidos de la prueba de alcalinidad se pueden estimar la concentración de iones, presentes en el fluido.

MBT (Methylene Blue Test): Es una medida de la concentración total de sólidos arcillosos que contiene el fluido.

2. Viscosificantes y controladores de filtrado en lodos de perforación.'

Los aditivos diseñados para lodos de perforación son productos que permiten adicionar las propiedades físicas que necesita un lodo de perforación para llevar a cabo funciones específicas dependiendo del tipo de formación, equipos y herramientas. (1)

La necesidad de viscosidad y control de filtrado en los lodos de perforación, hace necesaria la adición de productos comerciales al agua para generar un aumento de estas propiedades, procurando que no se altere la tasa de perforación. Para ello se tiene una lista de diferentes productos químicos que nos pueden proveer de las características deseadas dependiendo de las necesidades de cada lodo(3–6,10)

2.1. Viscosificantes

Son sustancias de gran importancia en los lodos, debido a las propiedades reológicas a las que se encuentran relacionadas como son la capacidad de suspensión y de transporte de ripios, además de generar un impacto en el control de pérdidas de presión en el sistema circulatorio durante las operaciones de perforación.

Sin embargo, no todos los viscosificantes potenciales pueden brindar una limpieza efectiva del pozo y ser viables financieramente; tampoco se hallan totalmente a salvo de las interferencias mecánicas y químicas del medio ambiente.

2.2. Agentes viscosificantes.

Existe gran variedad de agentes viscosificantes, pero las arcillas han sido tradicionalmente los viscosificantes más utilizados en lodos de perforación. Entre ellos sobresale la bentonita que tiene gran capacidad de intercambio catiónico (80 a 150 meq) lo que le confiere una enorme capacidad de hidratación en agua dulce, y la atapulgita (silicato hidromagnésico – aluminico), la cual es usada para dar viscosidad a lodos de agua salada, donde la bentonita es menos efectiva.

Adicional a los mencionados, existen diferentes compuestos poliméricos, que son usados para obtener los mismos resultados y cumplir con esta función.

Bentonita: Es una arcilla compuesta principalmente por montmorillonita de sodio que puede ofrecer un muy buen aumento de la viscosidad del fluido y control de filtrado para lodos base agua debido a la alta tasa de absorción de agua que presentan sus gránulos.

Atapulgita: Es un mineral de arcilla natural que se adiciona como viscosificante para lodos salados, debido a las propiedades que le aporta la desintegración de su estructura cristalina, la cual se desintegra formando pequeñas partículas con forma de agujas que se aglomeran creando un efecto cepillo que proporciona la viscosidad para limpiar el pozo de ripios.

Polímeros: Un polímero es una molécula de gran tamaño que se compone de pequeñas unidades repetidas llamados monómeros. Los polímeros pueden tener pesos moleculares de varios millones o pueden componerse simplemente de algunas unidades repetidas. Son coloides orgánicos de cadena larga que se usan como viscosificantes, controladores de filtrado, adelgazantes, o como encapsulantes de sólidos de perforación. Algunos de los más usados en la industria del petróleo son sintéticos o biopolímeros.

- **Polímeros sintéticos.**

- **Poliacrilamidas:** Es un material netamente sintético fabricado mediante la unión de monómeros bajo condiciones apropiadas de presión y temperatura. Las poliacrilamidas pueden ser hechas de acuerdo a las especificaciones del cliente. Estos polímeros son

principalmente usados como controladores de viscosidad, inyección en recobro mejorado y la estabilización de shales.

- **Poliacrilatos / Derivados anhídrido maleicos:** Son materiales netamente sintéticos y pueden ser fabricados de acuerdo a un amplio peso molecular con varias cargas en sus moléculas. Existen muchos tipos de poliacrilatos hechos por medio de la combinación de varios monómeros acrílicos ácidos. El tipo y el número de monómeros determinan las propiedades del producto final. Estos polímeros se usan como floculantes, extensores de las propiedades de la bentonita y algunas veces como aditivos estabilizadores de shales.

- **Biopolímeros.**

- **Celulosa polianionica:** Este compuesto, se adiciona principalmente como controlador de filtrado, pero posee propiedades que le permiten actuar como agente viscosificante en lodos salados y base agua, tiene la capacidad cumplir su función a temperaturas cercanas a los 280°F y adicionalmente no necesita ningún tipo de control bacterial.
- **Carboximetilcelulosa (CMC):** Es un coloide creado mediante la adición de una cadena carboximetil a una espina celulósica; Este proceso cambia el comportamiento hidrofóbico de la celulosa, transformándolo hidrofílico.
- **Celulosa carboximetil de sodio:** Posee doble aplicación, debido a que cumple funciones como controlador de filtrado y

viscosificante; las cuales pueden ser ajustadas de acuerdo al grado de polimerización que se obtenga. No necesita ningún tipo de control bacterial y puede cumplir con su función hasta los 250°F.

- **Goma Guar:** Es un polisacárido de alto peso molecular no aniónico, derivado de la semilla de la planta Guar. Es un polímero de origen natural no iónico utilizado como viscosificante en agua dulce ó saturadas de sal, también funciona como controlador de filtrado y es estable térmicamente hasta cerca de 200 °F.
- **Goma Xanthan:** Es un biopolisacarido de alto peso molecular producido por crecimiento bacteriano, puede ser usada en casi cualquier tipo de agua para proveer viscosidad y otras propiedades reológicas tales como fuerzas de gel o como valores de cedencia. Solo puede ser utilizado hasta temperaturas de 200 °F. Es muy útil como agente viscosificante y agente de suspensión. Es resistente al ataque bacteriano.

2.3. Controladores de filtrado

La pérdida de fluido es uno de los problemas que se pueden presentar durante la perforación o completación del pozo, debido a la invasión o pérdida del lodo hacia formaciones cavernosas, fisuradas o no consolidadas, propiciado por un diferencial de presiones entre el pozo y las formaciones que este atraviesa. También puede producirse un fracturamiento hidráulico inducido por presiones excesivas del fluido durante la perforación de formaciones poco consolidadas y de baja presión de fracturamiento.

Debido a los problemas anteriormente mencionados, para obtener las mejores propiedades de los lodos de perforación, se deben considerar las condiciones

necesarias para que este tipo filtración pueda ocurrir, y poder tomar medidas preventivas para evitarlas, mediante una costra resistente e impermeable que proporcione sostenimiento a las paredes del pozo y que no sea fácilmente erosionable por el roce de la sarta o columna de perforación, dificultando el paso del lodo hacia las formaciones.

Los aditivos diseñados para generar este efecto en los lodos de perforación, se componen de sustancias que en conjunto con los sólidos presentes en el lodo y los provenientes de la formación recientemente perforada, permiten crear esta capa impermeable. Los parámetros más importantes para que la función de esta costra o torta sean los apropiados dependen del tamaño de partícula, la forma y la manera de su distribución.

La capacidad de construir el “cake o torta” de un lodo depende del agua libre de éste, así como de la permeabilidad de las paredes del sondeo. Estas propiedades se clasifican y analizan en laboratorio según parámetros de elasticidad (Plástica, Elástica, Quebradiza), consistencia (Consistente, Inconsistente) y espesor (1/32 – 2/32 de pulgada). (1,9)

2.4. Importancia y aplicación.

Durante el proceso de perforación el lodo nos ayuda a controlar las presiones en la formación, por eso normalmente, la presión de la columna de lodo se mantiene por encima de la presión de poro. Esta diferencia de presión ocasiona que la fase líquida del lodo invada la formación creando un daño que depende de la cantidad de líquido que invada y de las propiedades de las arcillas de la formación.

Las pruebas de filtración permiten detectar estas cantidades de líquido que invaden la formación y hacer los correctivos necesarios en el lodo. Mediante una

atención y control apropiados a las pérdidas de filtrado se pueden obtener los siguientes beneficios:

- Menor riesgo de pega de la tubería.
- Mayor protección para las formaciones productoras.
- Mejor interpretación de los perfiles eléctricos.
- Estabilidad del pozo.

2.5. Medición de las pérdidas de filtrado.

En el pozo ocurren dos tipos de filtración:

- **Estática.** La filtración estática tiene lugar cuando el lodo no está en movimiento. La torta se hace más gruesa con el tiempo; ya que restringe el flujo de filtrado y la tasa o velocidad de filtración disminuye con el tiempo.
- **Dinámica.** La filtración dinámica tiene lugar cuando el lodo está circulando o cuando la sarta está en rotación. Los ensayos para la medición de filtrado dinámico se encuentran limitados para los laboratorios y no existe ninguna correlación entre filtrado estático y el dinámico.

La filtración dinámica difiere de la estática en el hecho que el flujo de lodo de la cara del pozo tiende a erosionar la retorta de lodo a medida que esta se forma mediante el proceso de filtración.

La retorta crece hasta que la tasa de depositación sea igual a la tasa de erosión; cuando esta alcanza un espesor de equilibrio la tasa de filtración se vuelve constante. Contrario a esto durante la filtración estática la retorta del lodo nunca deja de crecer y la tasa de filtración disminuye con respecto al tiempo.

Por lo tanto para controlar la cantidad de filtrado perdido hacia la formación, se debe controlar la filtración dinámica y si se quiere prevenir la formación de retortas con demasiado espesor, se debe controlar la filtración estática.

Evitando que estos dos procesos pueden ocasionar problemas durante la perforación y en la etapa productiva del pozo.

2.6. Problemas relacionados con las pérdidas excesivas de filtrado.(1,3,10)

- Daños a la formación causados por la invasión de filtrado y sólidos.
- Prueba inválida de muestreo del fluido de la formación.
- Dificultades en la evaluación de la formación causadas por mala transmisibilidad de las propiedades eléctricas a través de revoques gruesos.
- Problemas mecánicos al bajar y recuperar las herramientas de registro.
- Las zonas de aceite y gas pueden pasar desapercibidas porque el filtrado está desplazando a los hidrocarburos, alejándolos del pozo, lo cual dificulta su detección.

2.7. Problemas relacionados con el espesor excesivo de la torta.(1,3,10)

- Puntos apretados en el pozo que causan un arrastre excesivo.
- Mayor suabeo y pistoneo debido a la reducción del espacio anular libre.
- Pega por presión diferencial de la columna de perforación debido a la mayor superficie de contacto y al desarrollo rápido de las fuerzas de adhesión causada por la tasa de filtración más alta.
- Dificultades con la cementación primaria debido al desplazamiento inadecuado de la torta.
- Mayor dificultad para bajar la tubería de revestimiento.

2.8. Factores que afectan el filtrado. (1,3,10)

De acuerdo a los estudios realizados, los factores que tienen influencia directa en las pérdidas de filtrado son: tiempo, temperatura y presión.

- **Tiempo:** La velocidad o tasa de filtrado es directamente proporcional a la raíz cuadrada del tiempo, contando desde la pérdida inicial del filtrado.
- **Temperatura:** Un aumento en la temperatura eleva la velocidad de filtrado debido a que disminuye la viscosidad de la fase líquida lo cual se convierte en un aumento de la pérdida de fluidos. En este caso la cantidad de filtrado variará proporcionalmente con la raíz cuadrada de la viscosidad del fluido.
- **Presión:** Los efectos de la presión sobre la velocidad del filtrado dependen de gran medida de las características de la torta. Si la torta es compresible, un aumento en la presión reduce su permeabilidad y disminuye la pérdida de filtrado. Si la torta es incompresible, la velocidad de filtrado varía con la raíz cuadrada de la presión.
- **Forma y distribución de sólidos:** Es un factor vital en los problemas relacionados con huecos apretados, torque, arrastre y pega de tubería. En un lodo, el espesor de la torta es proporcional a la pérdida de filtrado y está relacionado con el contenido de sólidos en el lodo. La permeabilidad varía considerablemente con el tamaño de las partículas; las de tamaño coloidal son excelentes controladores de las pérdidas de filtrado y las macromoléculas tales como el almidón, deben su efectividad a la facilidad de las moléculas para deformarse, permitiéndole incrustarse para rellenar cavidades de diferentes tamaños y formas.

2.9. Aditivos para el control de filtrado.

Existen diferentes tipos de aditivos que permiten hacer el control de filtrado en lodos base agua. La eficiencia de estos aditivos depende del tipo de lodo al cual están siendo aplicados y al ambiente químico al que estén sometidos.

Varios de ellos son de doble funcionalidad y ya han sido mencionados anteriormente como viscosificantes, tales como las arcillas, algunos polímeros y almidones; por el contrario existe un tipo de agente que es especialmente diseñado para el control de filtrado llamado lignito.

Lignito: Este componente es un tipo de carbón mineral que se encuentra en depósitos superficiales en todo el mundo. El lignito es extraído y puesto en pilas donde se puede oxidar en el aire antes de ser secado, triturado y embolsado para su uso en fluidos de perforación. El contenido de ácido húmico del lignito, que varía ampliamente, controla su solubilidad. Sus componentes solubles y coloidales ayudan en el control de la pérdida de fluido.

Los componentes solubles sirven como defloculantes de la arcilla y mejoran la calidad del revoque de filtración. El lignito coloidal ayuda a taponar las partes permeables del revoque de filtración. Cuando el lignito se adiciona directamente a un lodo también se necesita soda cáustica para hacer que se disuelva. La adición de sales de cromo mejora el rendimiento a altas temperaturas, pero su uso está limitado por preocupaciones de salud, seguridad y medio ambiente.

El lignito organófilo es un lignito convencional que ha sido tratado con compuestos de aminas cuaternarias para que sea dispersable en aceite en lodos a base de aceite y base sintética.

Arcillas: Son los principales agentes de control de filtrado para sistemas de lodo base agua. Debido a la distribución del tamaño de partículas sólidas. Las tres arcillas más usadas como aditivos de lodo son: atapulgita, sepiolita y bentonita de sodio, las dos primeras son generalmente usadas como viscosificantes en sistemas de lodos de alta salinidad pero no poseen propiedades para el control de filtrado.

La bentonita de calidad API es el mejor producto que se puede usar en la formulación de un lodo con buenas propiedades de revoque y control de filtración.

La habilidad de la bentonita para reducir la cantidad de filtrado puede ser atribuida a:

- Tamaño de las partículas.
- La forma plana de las partículas.
- La capacidad de hidratarse además de comprimirse bajo presión.

Almidones: Los almidones son biopolímeros constituidos por la unión de grandes cantidades de monómeros de glucosa, provenientes de las plantas.

El uso de almidones en la industria petrolera, fue introducido en la década de los 30 como controladores de filtrado, y aún siguen cumpliendo esa misma función. Inicialmente se usó el almidón de maíz, pero se ha ido diversificando el uso de almidones extraídos de otros cereales y tubérculos.

Para que cumplan su función, los almidones deben ser procesados y tratados previamente con el fin de hacerlos hidrofílicos. Los almidones son térmicamente estables alrededor de los 250 °F, pero no son resistentes a las bacterias y requieren de un biocida para retardar la fermentación y degradación del mismo.

En lodos base agua, la adición de almidones no solo disminuye la cantidad de fluido perdido sino que también estabiliza el lodo, debido a que al entrar en contacto con el lodo se hincha y gelatiniza aumentando el contenido coloidal del lodo. Las partículas de almidón se expanden en el agua como bolsas esponjosas que se introducen en las aberturas de la torta con lo que producen un control de la pérdida de filtrado.

La pérdida de agua libre en el sistema repercute de tal forma que se disminuye la cantidad de filtrado, además los gránulos de amilosa llenos de agua se ajustan a las aberturas presentes en las retortas ayudando aún más a la reducción de la pérdida de fluidos.

Polímeros: Son los productos de control de filtración más usados en los lodos base agua. Pueden variar de almidones naturales y celulosa modificada a polímeros sintéticos complicados, capaces de proporcionar el control de filtración a temperaturas elevadas y en condiciones adversas.

Comúnmente se usan los polímeros que viscosifican el fluido ya que tienen doble efecto sobre el lodo de perforación, además estos fluidos relativamente sin carga, son menos sensitivos al ambiente en el que se encuentran por lo cual desarrollaran viscosidad en presencia de dureza y sal a medianas concentraciones, por encima de la cual se ve reducida su efectividad.

Los polímeros envuelven a las partículas sólidas en el lodo, creando una película que se comporta en forma similar a un sellador a presión. También en algunos casos, las largas cadenas se pueden introducir en aberturas de la torta funcionando como tapón.

- **Carboximetil celulosa de sodio (CMC):** Es un coloide orgánico utilizado para el control de la filtración. Este material está disponible en varios grados, cada

uno varía en las cualidades de control de la viscosidad y la filtración. Los tres grados son comúnmente llamados de alta, media y baja viscosidad de CMC. La elección de la CMC depende de las propiedades deseadas para el fluido de perforación. Cuando el aumento de la viscosidad y el control de filtración son deseados, un grado alto o medio de CMC debería ser utilizado.

- **Polianiónica celulosa (PAC):** Materiales de carbón activado en polvo son agentes orgánicos de control de filtración similar a la CMC, pero por lo general de mayor pureza y calidad. Este material puede ser utilizado tanto en ambientes de agua dulce como agua salada.
- **Poliacrilatos de sodio (SPA):** Son polímeros que están disponibles en varios rangos de peso molecular y ofrecen estabilidad a alta temperatura. Los SPA de bajo peso molecular son defloculantes de arcillas y se utilizan para mejorar el control de la pérdida de líquidos por ese mecanismo. Los SPA de muy alto peso molecular son efectivas para el control de la pérdida de líquidos. Son sensibles a los iones de calcio, especialmente en el alto peso molecular.

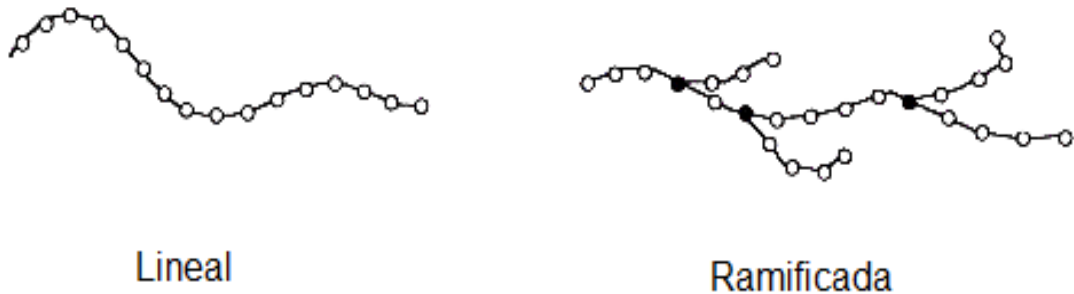
Dispersantes químicos: Una dispersión mejorada generalmente resulta en un decrecimiento en la cantidad de filtrado. Esto es un resultado de la distribución homogénea de los tamaños de las partículas sólidas presentes en el fluido. La habilidad de los dispersantes para reducir la pérdida de lodo se remite a la adsorción química de las partículas o a que el químico por sí mismo puede adicionar otro tamaño de partícula.

Estos dispersantes pueden trabajar a temperaturas y a presiones aún mayores que en las que los polímeros, no son tan fácilmente afectados por la acción bacteriana y pueden ser usados en altas concentraciones de sal y calcio.

3. Polímeros

Un polímero es una molécula grande compuesta de moléculas relativamente pequeñas llamadas monómeros que se encuentran unidos entre sí. El peso molecular de los polímeros va desde unos pocos miles a varios millones de unidades de peso molecular. Los polímeros pueden estar formados por miles de unidades que pueden ser iguales o diferentes. (3–6,10)(11,12) En el primer caso se obtiene un homopolímero, y en el segundo un copolímero. Las cadenas pueden ser lineales o ramificadas, como se observa en la **figura 1**.

Figura 1. Tipos de cadenas en un polímero.



Fuente. <http://envases.elenaibarreche.com/index.php>.

Los polímeros se adicionan al sistema para aumentar la viscosidad mediante la floculación o por medio de la viscosificación del agua. El uso más común es como controlador de filtrado, usualmente como un aditivo suplementario a la bentonita o a otros químicos.

3.1. Clasificación de los polímeros.

Los polímeros constituyen por lo general, sistemas no dispersos y se clasifican de acuerdo a su origen, estructura y utilidad. Cada tipo de polímero tiene sus propias

características en términos de cómo funciona en un determinado tipo de lodo de perforación. Por lo tanto, la selección del tipo correcto de polímero es fundamental para un buen rendimiento. (3,6,7,10)

Clasificación de acuerdo a su origen

Los polímeros pueden ser: naturales, modificados o sintéticos.

- **Polímeros naturales:** Se originan de una forma natural y no requieren de cambios químicos en el proceso de manufactura. Son relativamente económicos y generalmente son hidrocoloides, es decir, polímeros que no se solubilizan, sino que se hidratan desarrollando viscosidad. Son usados principalmente para controlar filtrado en sistemas salinos.
- **Polímeros modificados:** Estos polímeros son alterados químicamente con el fin de mejorar su tolerancia a la sal, su solubilidad y su estabilidad térmica. Poseen buenas propiedades tixotrópicas y de adelgazamiento, pero carecen de propiedades reológicas. Se utilizan principalmente para viscosificar salmueras y se caracterizan por no poseer cargas eléctricas.
- **Polímeros sintéticos:** Estos polímeros se obtienen, mediante una reacción repetitiva de monómeros. Su costo es mayor al de los polímeros naturales y los modificados, pero son más resistentes a los contaminantes y a la temperatura. Por lo general estos polímeros son de alto peso molecular, razón por la cual se utilizan frecuentemente para: viscosificar, flocular y estabilizar.

Clasificación según su estructura:

Los polímeros se clasifican según su estructura química y física.

- **Química:** Existen dos grupos, los que se derivan de las celulosas y los que se derivan de los alcoholes.
- **Física:** Los polímeros pueden ser iónicos o no iónicos.

Los iónicos son los que poseen cargas eléctricas. Estos polímeros desarrollan viscosidad por ionización y no por solubilización, es decir, se ionizan en el agua.

Los polímeros no iónicos no poseen cargas eléctricas y al contrario de los iónicos desarrollan viscosidad por solubilización, es decir, son solubles en agua. La solubilidad de estos polímeros es afectada por la fuerza iónica o contenido electrolítico del medio. Estos polímeros se utilizan frecuentemente para viscosificar fluidos de completamiento o reparación a base de salmuera.

Clasificación según su utilidad:

Los polímeros cumplen su función de acuerdo a su composición y su peso molecular. Ver **tabla 1**.

Tabla 1. Clasificación de polímeros.

Peso molecular	Función
Alto	Viscosificantes, floculantes y estabilizantes.
Medio	Reductores de filtrado.
Bajo	Adelgazantes o defloculantes.

Fuente. Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED). Fluidos de perforación. PDVSA. 2002.

3.2. Factores que afectan a los polímeros.

Entre los principales factores que afectan las propiedades y la estabilidad de los polímeros se pueden destacar mostradas en la **tabla 2**.

Tabla 2. Factores que afectan los polímeros.

Factores	Efectos
Concentración y distribución de grupos funcionales ionizables.	Mayor estabilidad: debido a la mayor concentración y distribución de grupos funcionales.
Concentración del polímero.	Menor viscosidad: debido a la poca cantidad de agua disponible para la alta concentración de polímeros existentes.
Sales de solución.	Deshidratación: la sal deshidrata a los polímeros con cargas eléctricas (iónicos), pero no afecta a los que no tienen cargas (no iónicos).
pH de la solución.	Disminución de la viscosidad: debido a la repulsión electrostática causada por el incremento de las cargas negativas, cuando se aumenta el pH por encima de 9,5.

Fuente. Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED). Fluidos de perforación. PDVSA. 2002.

3.3. Degradación de los polímeros.

Los polímeros sufren degradaciones que afectan considerablemente su viscosidad, como se muestra en la **tabla 3**.

Tabla 3. Tipos de degradaciones en los polímeros.

Tipos	Degradación
Termal	Los polímeros son cadenas altamente ramificadas, poseen más sitio para el ataque termal y se degradan con mayor facilidad que los de cadenas lineales.
Mecánica	Los polímeros con cadenas lineales sufren degradación mecánica durante el proceso de mezcla y cuando pasan a través de las boquillas de la mecha o través de los equipos de control de sólidos.
Bacteriana	Los polímeros particularmente los naturales, como el almidón son muy susceptibles al ataque de bacterias. Estos se degradan totalmente en un par de días, sino son tratados con un bactericida.
Oxigeno	La combinación de oxigeno con altas temperaturas degrada en forma rápida a los polímeros. Es necesario el uso de secuestradores de oxígeno para prevenir esta situación.

Fuente. Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED). Fluidos de perforación. PDVSA, 2002.

4. Almidón

Es un polisacárido de reserva energética de los vegetales y se localiza principalmente en raíces, tubérculos, frutas y semillas. (11,13) En los tejidos vegetales se presenta en entidades discretas, semicristalinas, las cuales reciben el nombre de gránulos. El tamaño, forma y estructura de los gránulos difieren substancialmente con la fuente botánica. Su forma es variada: esféricos o con forma de discos para los de trigo, poliédricos en arroz y maíz, con forma de ostras irregulares en papa, filamentosos en almidón de maíz de alto contenido de amilosa, etc.(14)

El almidón está compuesto fundamentalmente por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina. Los gránulos también contienen trazas de otros constituyentes como lípidos polares, nitrógeno y fósforo, en forma de fosfolípidos, que, en muchas ocasiones, juegan un rol importante en las propiedades funcionales del almidón(15). La relación amilosa/amilopectina y su organización física dentro de la estructura granular, le confieren a los almidones propiedades fisicoquímicas y funcionales características.(16)

Fuentes de almidón

Los almidones comerciales se obtienen de las semillas de cereales, particularmente de maíz (*Zea mays*), trigo (*Triticum spp.*), arroz (*Oryza sativa*) y de algunas raíces y tubérculos, especialmente de papa (*Solanum tuberosum*), batata (*Ipomoea batatas*) y yuca (*Manihot esculenta*). El maíz se considera la fuente de almidón más importante a nivel mundial **Figura 2.**

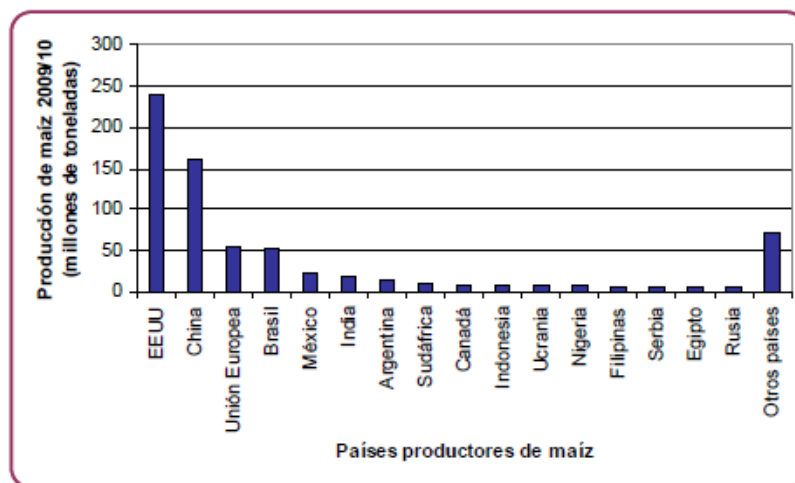
Figura 2. Mazorcas de maíz (*Zea mays*)



Fuente: <http://mundinews.com/argentina-record-de-la-cosecha-de-maiz>

En la campaña 2009/10 la producción mundial de maíz alcanzó 704 millones de toneladas, siendo Estados Unidos el mayor productor con el 34% de la producción total mundial. El método tradicional de obtención del almidón de maíz es la molienda húmeda; la cual es una técnica que permite a partir del grano obtener almidón y otros productos (aceites, alimentos balanceados, harinas de gluten, tortas de germen y productos de hidrólisis). Las operaciones que tienen lugar en este método son: secado, maceración, extracción del germen, separación del almidón de las proteínas, filtración, decantación y secado.

Figura 3. Principales países productores de maíz. Campaña 2009/10



Fuente: <http://www.agropanorama.com/news/Produccion-Mundial-de-Maiz.htm>

Aunque la principal fuente de almidón para uso humano son los cereales, las raíces y tubérculos también son cultivos importantes. De la producción anual total de almidón, aproximadamente el 67% corresponde a los cereales y el 33% a raíces y tubérculos.(17) El cultivo de tubérculos se encuentra ampliamente distribuido, de los cuales cinco especies proporcionan casi un 99% de la producción mundial: papa (46%), mandioca (28%), batata (18%) y ñame (*Dioscorea spp.*, 6%). El proceso de extracción de almidón de tubérculos es muy sencillo y consta de las siguientes etapas: lavado, pelado, rallado, filtración, decantación y secado.

Existen diferentes tipos de tubérculos, dentro de una misma familia; algunas de sus principales representantes son:

➤ **La papa** es una herbácea con tubérculos de la familia de las solanáceas de hasta 130 cm de altura. Flores en cimas, de color blanco o violeta, de hasta unos 4 cm de diámetros con las anteras amarillas muy destacadas. Es originaria de la región del lago Titicaca, al sur de Perú y norte de Bolivia. En la composición de la patata cabe destacar la cantidad de hidratos de carbono, mayoritariamente en forma de almidón y una pequeña proporción de glucosa, fructosa y sacarosa; así como un aporte importante de fibra.

Figura 4. Planta de papa (*Solanum tuberosum*) con tubérculos de la tierra.



Fuente:http://es.123rf.com/photo_10323808_plantas-de-papa-con-la-excavacion-de-los-tuberculos-de-la-tierra.html

➤ **La mandioca** es un arbusto perenne euforbiáceo, autóctono y extensamente cultivado en Sudamérica y el Pacífico por su raíz rica en almidón de alto valor alimentario . La mandioca es la séptima fuente mayoritaria de alimentos básicos del mundo, siendo uno de los más importantes recursos para la alimentación en extensas áreas de los trópicos. Es un cultivo apreciado por su adaptabilidad a diversos ambientes ecológicos, la facilidad con que se cultiva y su gran productividad.

Figura 5. Planta de Mandioca (*Manihot esculenta*)



Fuente: López, O. V. Desarrollo, caracterización y aplicación de envases biodegradables a partir de almidón (2011).

➤ **La ahípa** (*Pachyrhizus ahípa*) es una planta leguminosa cuya raíz tuberosa acumula almidón como principal compuesto de reserva(18), produce semillas (a partir de las cuales se propaga el cultivo) y tiene sus hojas y tallos impregnados de rotenona, una sustancia con propiedades insecticidas. Es una especie cultivada antiguamente en la región andina de Bolivia, Sur de Perú y Noroeste de Argentina, que alcanzó su máximo auge hace más de 500. Su cultivo ha ido disminuyendo,

restringiéndose a pequeñas parcelas en valles aislados, debido a los cambios culturales de las comunidades originarias, acentuados como consecuencia del fenómeno de la globalización, que tiende a favorecer el desarrollo de especies no autóctonas. Además, la ahipa presenta algunas dificultades biológico-agronómicas ya que su producción eficiente requiere un manejo cuidadoso del cultivo que incluye la poda sistemática de flores y frutos jóvenes durante el ciclo(19). Sin embargo, su capacidad productiva y de fijación simbiótica de nitrógeno es relativamente elevada, presentando además tolerancia al ataque de plagas. Estas características le otorgarían potencialidades como cultivo alternativo y/o complementario al de mandioca, factible de incorporar a los planteos rotacionales o como cultivo intercalar en forestaciones, favoreciéndose la diversificación productiva.

Figura 6. Planta de Ahipa (*Pachyrhizus ahipa*)



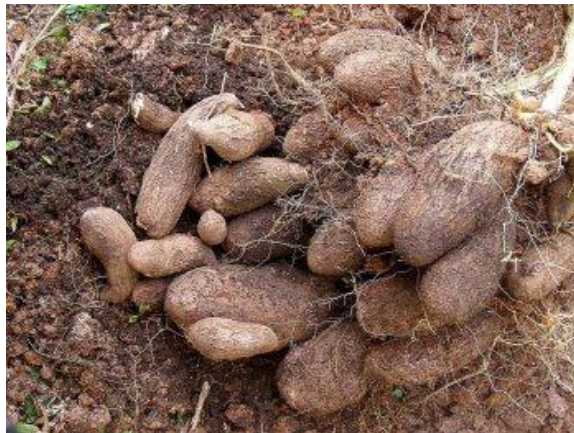
Fuente: López, O. V. Desarrollo, caracterización y aplicación de envases biodegradables a partir de almidón (2011).

La obtención y caracterización de películas a base de almidones nativos de diversas fuentes biológicas ha sido ampliamente estudiada por diversos autores.

Sin embargo, la naturaleza hidrofílica del almidón es la principal desventaja que limita el desarrollo de estos materiales; ya que muchas de sus propiedades dependen de la humedad ambiente. Así, una alternativa para reducir estos inconvenientes es el uso de almidones modificados.

➤ **El ñame** (*Dioscorea*) es una planta tropical, se desarrolla a temperaturas medias entre 25°C y 30°C, para obtener máximos rendimientos necesita de abundante agua, entre 1,500 y 2,000 m³/año. El ñame es una enredadera de la familia Discoréacea caracterizada por tubérculos subterráneos o aéreos, de alto valor nutricional y que se encuentran ampliamente distribuidos en los trópicos.

Figura 7. Tubérculos de ñame (*Dioscorea trifida*)



Fuente: http://plantas.facilísimo.com/foros/sala-de-estar/temporada-de-verano-en-panama_266342_5.html

Es una planta de tallos volubles, delgados que enrollan hacia la izquierda, provistos de dos a ocho alas membranosas, generalmente con mayor número y desarrollo en la parte inferior del tallo. La planta requiere abundante luz para obtener mayor producción. Se desarrolla bien en suelos francos, sueltos, profundos, con buen drenaje y con buena fertilidad. El **tallo** subterráneo es un órgano irregular y corto del que emergen los tallos aéreos, raíces y estolones, estos últimos en círculos sucesivos. El estolón que mide hasta 70 cm de largo, se

ensancha formando el tubérculo. Las hojas miden hasta 25 cm de largo, son digitadas, con tres a siete segmentos o lóbulos, el central es el más grande.

Las plantas son unisexuales. Las inflorescencias estaminadas son racimos simples o muy ramificados, con flores verdes de 4 a 6 mm de diámetro; las inflorescencias pistiladas de dos racimos nacen de la misma axila con flores de 12 a 24 mm de largo. Esta especie florece más regularmente que las otras *Dioscoreas* spp cultivadas.

➤ **La Achira** o sagú pertenece al orden de las Escitamiódales, familia Cannaceae, en la cual se han descrito más de 100 especies. Las Cannas son cultivadas como flores predilectas de jardín y algunas especies como la *Cannaedulis* para la obtención de almidón. Esta especie tiene los siguientes sinónimos *Cannarubicaulis* Link, *Cannaesculenta* Lodd. *Canna indica* Ruiz

Figura 8. Planta de Achira (*cannaedulis* Ker)



Fuente: CAICEDO D., Guillermo E. y otros, La Achira: alternativa agroindustrial para áreas de economía campesina, CORPOICA, 2003

La especie de achira para la extracción de almidón se desarrolla principalmente en las regiones tropicales y subtropicales de todo el mundo. Se reportan cultivos en el

continente asiático como en Vietnam (30.000 has.), Tailandia e India; en Oceanía como en Australia y Polinesia; en el Congo Belga de África, y en la América tropical se cultiva en Perú, Ecuador. Bolivia, Brasil, Venezuela y Colombia.

4.1. Componentes del almidón

El poder de hinchamiento de los almidones es una propiedad de su contenido de amilopectina, siendo la amilosa un diluyente e inhibidor del hinchamiento.(20)

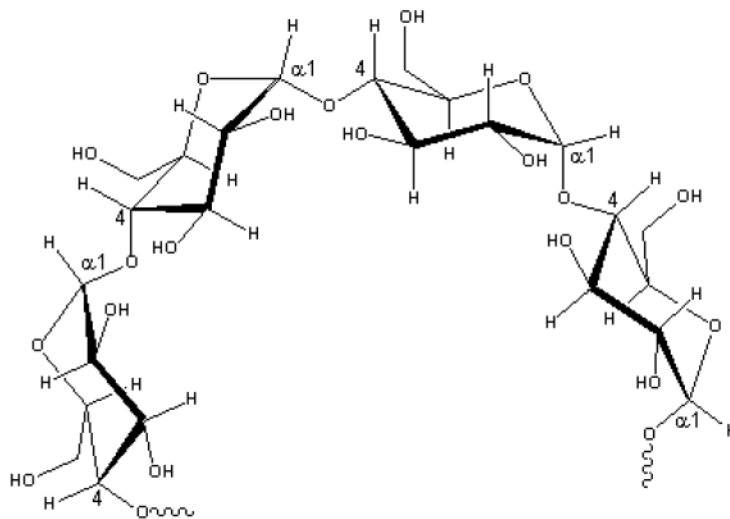
Los gránulos de almidón de los tubérculos son más cristalinos que los de los cereales, lo cual se debe a las ramificaciones de la amilopectina. Los gránulos que componen los almidones nativos, son insolubles en agua fría por la presencia de los puentes de hidrógeno que los mantiene unidos; pero al calentarse las moléculas de amilosa son lixiviadas desde los gránulos y por lo tanto tienen un efecto directo en el aumento de la viscosidad.

Amilosa

La amilosa (Figura 9) se compone principalmente de cadenas de α -Dglucopiranosilo unidas por enlaces α -(1 \rightarrow 4). Aunque se admite que se trata de un polímero lineal, existe una pequeña proporción de ramificaciones por enlaces α -(1 \rightarrow 6)(21). El tamaño molecular varía entre 1×10^5 y 1×10^6 Da y puede contener entre 500 y 6000 unidades de glucosa.

La naturaleza lineal y de gran longitud le confieren a la amilosa algunas propiedades únicas, como por ejemplo su capacidad para formar complejos con yodo, alcoholes o ácidos orgánicos y su tendencia a asociarse consigo misma, precipitando de la solución. Cuando se enfría, la amilosa presenta una fuerte tendencia a la retrogradación, donde cristaliza formando geles de almidón, aumentando así la viscosidad de la solución.

Figura 9. Estructura química de la amilosa

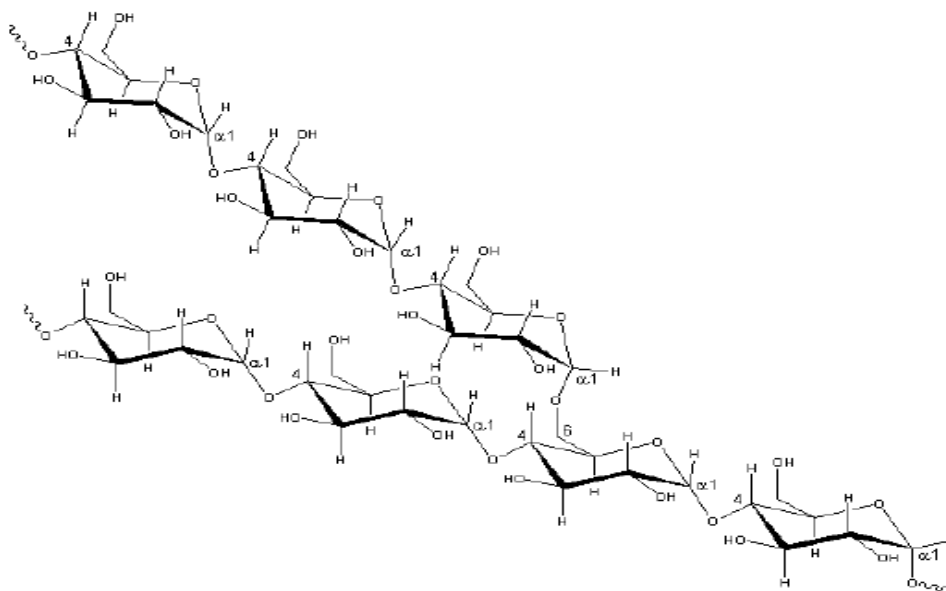


Fuente: López, O. V. Desarrollo, caracterización y aplicación de envases biodegradables a partir de almidón (2011).

Amilopectina

La amilopectina (Figura 10) está formada por α -D-glucosa, concatenada fundamentalmente por enlaces α -(1 \rightarrow 4). Está mucho más ramificada que la amilosa, con un 4-5% de enlaces α -(1 \rightarrow 6). Se encuentra en una proporción de 70-80% y en ciertos casos alcanza niveles de hasta 98-99%, dependiendo de la fuente botánica del almidón(22). Su estructura y proporción en el almidón contribuyen notablemente a las propiedades funcionales del mismo(23). El peso molecular es del orden de 10^8 Da, con aproximadamente 600000 restos de glucosa y se encuentra ramificada al azar. Posee una alta viscosidad intrínseca debido a su estructura ramificada y su alto peso molecular. Por calentamiento en agua, proporciona soluciones claras y de alta viscosidad, que son además filamentosas y cohesivas. Sus soluciones no tienen casi tendencia a la retrogradación, tampoco presentan envejecimiento ni formación de gel, aunque la concentración de las mismas sea muy elevada.

Figura 10. Estructura química de la amilopectina



Fuente: López, O. V. Desarrollo, caracterización y aplicación de envases biodegradables a partir de almidón (2011).

4.2. Modificación del almidón

En el ámbito industrial los almidones se han usado ampliamente como agentes espesantes o estabilizantes para proveer a los productos propiedades tales como textura y apariencia(24). Sin embargo, los almidones nativos pueden no ser adecuados para el desarrollo de determinados productos y funciones. Una alternativa para mejorar las propiedades y ampliar el uso de este polisacárido consiste en la modificación del almidón mediante métodos químicos o físicos. La modificación física se realiza mediante calor y humedad (pregelatinización), mientras que los métodos químicos involucran la introducción de grupos funcionales a partir de reacciones de derivatización (eterificación, esterificación, entrecruzamiento, etc.) o de descomposición (hidrólisis ácida o enzimática u oxidación)(25,26). El estudio y la evaluación de los efectos de las modificaciones sobre la estructura de los gránulos de almidón es necesaria para determinar las

propiedades funcionales y desarrollar así almidones con determinadas propiedades específicas.

Gelatinización

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, pero se hinchan cuando se calientan en un medio acuoso. Inicialmente el hinchamiento es reversible y las propiedades ópticas del gránulo no se pierden; sin embargo cuando se alcanza una cierta temperatura, el hinchamiento llega a ser irreversible afectando la estructura del gránulo.

Este proceso es conocido como gelatinización y ocurre en un intervalo de temperatura, ya que los gránulos presentan diferente resistencia debido a su composición y grado de cristalinidad. La gelatinización es un proceso endotérmico que va acompañada de la lixiviación de la amilosa y pérdida de la birrefringencia del gránulo. Al final de este fenómeno se genera una pasta en la que existen cadenas de amilosa de bajo peso molecular altamente hidratadas que rodean a los restos de los gránulos, también hidratados. La intensidad de la gelatinización depende de la fuente botánica de la que proviene el almidón, del contenido de humedad de la muestra y de ciertas condiciones experimentales tales como pH, presencia de sólidos, etc.(27).

Hidrólisis ácida

Es una técnica empleada para el rompimiento de la cadena de almidón usando ácidos, pero esta tiene muchas desventajas, en las que destacan: formación de productos no deseables y flexibilidad muy pobre (el producto final sólo se puede modificar cambiando el grado de hidrólisis), por último es necesario que el equipo resista el ácido y las temperaturas requeridas durante el proceso. (13,20,28)

Hidrólisis enzimática

Esta técnica consiste en el rompimiento de la cadena de almidón usando enzimas en un proceso denominado “Licuefacción Enzimática” con el fin de permitir el paso de moléculas de agua. Esta técnica ha desplazado a la hidrólisis ácida debido a que dispone de nuevas enzimas, además de presentar ventajas como: control de formación de productos no deseables y mayor flexibilidad del producto. (13,20,28)

Retrogradación

Varios autores consideran que los geles están compuestos por una matriz de amilosa que contiene gránulos gelatinizados compuestos mayoritariamente por amilopectina(29–31). El desarrollo de la estructura y cristalinidad de los geles de almidón a corto tiempo está dominado por la gelación y cristalización de la amilosa. Los aumentos en el módulo de elasticidad de los geles durante el almacenamiento están ligados a la cristalización de la amilopectina, aumentando la rigidez de los gránulos y reforzando la matriz de amilosa(32) . La formación de cristales va acompañada por un aumento gradual en la rigidez y la separación de las fases entre el polímero y solvente (sinéresis). (28)

A nivel molecular se caracteriza por una asociación paralela mediante puentes de hidrógeno de las cadenas de amilosa lixiviadas, produciendo una red tridimensional donde quedan los gránulos hinchados, y dentro de éstos la amilopectina recrystaliza, en un arreglo que dependerá del tipo de almidón y la temperatura a la que se almacenan los productos(33). Eventualmente se forman agregados cristalinos, acompañados por un incremento gradual en la rigidez, opacidad en la suspensión y sinéresis(27,34). Cada almidón tiene una tendencia diferente a la retrogradación que está relacionada principalmente con su

contenido de amilosa, ya que la amilopectina está más limitada debido a que sus ramificaciones impiden la formación de puentes de hidrógeno entre cadenas adyacentes. Las fracciones de amilosa o las secciones lineales de amilopectina que retrogradan, forman zonas con una organización cristalina muy rígida, que requiere de una alta energía para que el almidón gelatinice.

Tanto los almidones nativos como los modificados, tienen un número enorme de posibles aplicaciones, en las que cabe destacar.

- Adhesivo
- Ligante
- Enturbiante
- Formador de películas
- Estabilizante de espumas
- Espesante
- Gelificante
- Glaseante
- Aglutinante
- Humectante
- Estabilizante
- Texturizante

5. Estadística

La estadística es un campo del conocimiento que permite al investigador deducir y evaluar conclusiones acerca de una población a partir de información proporcionada por una muestra. Los métodos de la estadística fueron desarrollados para el análisis de datos muestreados, así como para propósitos de inferencia sobre la población de la que se seleccionó la muestra.

La parte de la estadística relacionada con la descripción y la clasificación de los datos se conocen con el nombre de estadística descriptiva(35); y la parte de la estadística relacionada con la extracción de conclusiones a partir de datos, se conoce con el nombre de estadística inferencial(35).

5.1. Estadística descriptiva

La estadística descriptiva se encarga de los procedimientos matemáticos que tienen por objeto calcular los parámetros estadísticos que describen el comportamiento del conjunto de datos a analizar. Estos parámetros pueden ser de tendencia central, de dispersión, de posición, de forma y de concentración.

De acuerdo a lo anterior, la estadística descriptiva es la segunda etapa a desarrollar en un análisis de información, después del muestreo.

5.1.1. Parámetros de tendencia central

Los parámetros de tendencia central son valores numéricos que tienden a localizar la parte central de un conjunto de datos. Es un valor que se puede tomar como representativo de todos los datos. Entre los parámetros de tendencia central se encuentran la media aritmética, la media ponderada, la media geométrica, la mediana y la moda.

Media aritmética: También denominada promedio, es la que se utiliza principalmente y se define como la suma de los valores de todas las observaciones divididas por el número total de datos.

Media ponderada: La media ponderada es una medida de tendencia central, que es apropiada cuando en un conjunto de datos cada uno de ellos tiene una importancia relativa diferente, respecto de los demás datos. Se obtiene del cociente entre la suma de los productos de cada dato por su importancia o ponderación y la suma de la importancia relativa individual.

Media geométrica: La media geométrica proporciona una medida promedio precisa de una variable que mide los cambios porcentuales en una serie de valores positivos. Se halla tomando la raíz n -ésima del producto de n valores porcentuales.

Media armónica: La media armónica, denominada H , de una cantidad finita de números, es igual al recíproco, o inverso, de la media aritmética de los recíprocos de dichos valores y es recomendada para promediar velocidades.

Mediana: Se define como el valor que deja igual número de observaciones a su izquierda que a su derecha, es decir divide el conjunto de datos en dos partes iguales y se denota por **Me**. Si el conjunto de datos tiene un número impar de observaciones, una vez que los datos han sido ordenados en orden creciente o decreciente, la posición de la mediana es $(n+1)/2$.

Moda: Es el valor de la variable que más veces se repite, es decir, aquella cuya frecuencia absoluta es mayor. Puede haber más de una moda en una distribución. Se denota por **Mo**.

5.1.2. Parámetros de dispersión

Los parámetros de dispersión indican la mayor o menor concentración de los datos con respecto a las medidas de centralización. Miden que tanto se desvían las observaciones alrededor de su media.

Los parámetros de dispersión a partir de datos sueltos o agrupados pueden ser:

Rango: Es simplemente la diferencia entre la observación más alta y la más baja. Su ventaja es que es fácil de calcular y su desventaja es que se considera únicamente dos de los cientos de observaciones que se encuentran en un conjunto de datos.

Varianza: Es el promedio de las desviaciones cuadráticas de cada dato (X_i) respecto a su media aritmética (\bar{X}).

Desviación estándar: Es una medida de dispersión usada en estadística que nos dice cuánto tienden a alejarse los valores puntuales del promedio en una distribución. Específicamente, la desviación estándar o típica, es "el promedio de la distancia de cada punto respecto del promedio". Es la raíz cuadrada de la varianza.

Desviación media: Es la media aritmética de todas las diferencias absolutas entre cada observación individual y la media aritmética del conjunto de datos.

Coefficiente de variación: Es una herramienta que permite determinar el grado de dispersión de un conjunto de datos relativo a su media. Se calcula dividiendo la desviación estándar de una distribución por su media y multiplicando por 100.

5.1.3. Parámetros de posición

Los parámetros de posición dividen un conjunto de datos en grupos con el mismo número de individuos, para calcular los parámetros de posición es necesario que los datos estén ordenados de mayor a menor.

Los parámetros de posición a partir de datos sueltos o agrupados pueden ser:

Percentiles: Son 99 valores que dividen en cien porciones iguales el conjunto de datos ordenados. Los **percentiles** dan los valores correspondientes al 1%, al 2%.y al 99% de los datos.

Deciles: Son los nueve valores que dividen al conjunto de datos ordenados en diez porciones iguales, son también un caso particular de los percentiles, ya que corresponden a los percentiles 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 y 90.

Cuartiles: Son los tres valores que dividen al conjunto de datos ordenados en cuatro porciones iguales, son un caso particular de los percentiles, correspondiendo a los percentiles 25, 50 y 75.

5.1.4. Parámetros de forma y concentración

Parámetros de forma: Las medidas de forma de una distribución se pueden clasificar en dos grandes grupos o bloques: medidas de asimetría y medidas de curtosis. Una distribución de frecuencias puede ser simétrica o asimétrica.

Para saber si es simétrica se tiene que tomar una referencia, es decir, ver respecto a qué es simétrica. Cuando al trazar una vertical, en el diagrama de barras o histograma, de una variable, según sea esta discreta o continua, por el valor de la media, esta vertical, se transforma en eje de simetría, decimos que la distribución es simétrica.

Diremos pues, que es simétrica, cuando a ambos lados de la media aritmética haya el mismo número de valores de la variable, equidistantes de dicha media dos a dos, y tales que cada par de valores equidistantes tiene la misma frecuencia absoluta. En caso contrario, dicha distribución será asimétrica o diremos que presenta asimetría.

Parámetros de concentración: Los parámetros de concentración tratan de poner de relieve el mayor o menor grado de igualdad en el reparto del total de los valores de la variable, son por tanto indicadores del grado de distribución de la variable. Para este fin están concebidos los estudios sobre concentración.

En donde se denomina concentración a la mayor o menor equidad en el reparto de la suma total de los valores de la variable considerada, en este caso puede ser (permeabilidad, porosidad, saturación, etc.). Las posibilidades que pueden adoptar los valores son infinitas.

5.2. Estadística inferencial

La estadística inferencial es la parte de la estadística que incluye los métodos utilizados para tomar decisiones o para obtener conclusiones sobre una característica desconocida de la población a partir de la información contenida en una o más muestras representativas de esa población. La herramienta teórica que utiliza es la distribución de la probabilidad a través del teorema de límite central.

5.2.1. Distribución muestral

La distribución muestral resulta de considerar todas las muestras posibles que pueden ser tomadas de una población. Su estudio permite calcular la probabilidad que se tiene, dada una sola muestra, de acercarse al parámetro de la población.

Distribución muestral de medias

Cada muestra de tamaño n que se puede extraer de una población proporciona una media. Si se considera cada una de estas medias como valores de una variable aleatoria, se puede estudiar su distribución, que se llamará distribución muestral de medias.

La media de las medias muestrales: La distribución muestral de las medias muestrales es simplemente una lista de todas las medias muestrales posibles. Estas medias muestrales, al igual que cualquier lista de números, tienen una media denominada “la media de las medias muestrales” o la gran media. Esta medida de las medias se calcula de la forma usual: las observaciones individuales (medias muestrales) se suman y el resto se divide por el número de observaciones (muestras).

La varianza y el error estándar de las medias muestrales: La distribución de las medias muestrales también tiene una varianza. La varianza en las medias muestrales es como cualquier otra varianza. Mide la dispersión²³ de las observaciones individuales (medias muestrales) alrededor de su media (la gran media). Además, esta varianza se calcula al igual que cualquier otra varianza. Es la Media al cuadrado de las desviaciones con respecto a su media. Se halla así:

- Determinando la cantidad por la cual cada una de las observaciones (medias muestrales) difiere de su media (la gran media)
- Elevando al cuadrado tales desviaciones.

Teorema del límite central: El teorema del límite central hace referencia a qué, para una población cualquiera, a medida que el número de muestras aumenta, la distribución de las medias muestrales se aproxima a una distribución normal.

Por tanto, incluso si la población no está distribuida normalmente, la distribución de muestreo de las medias muestrales será normal si n es lo suficientemente grande. La regla general es que si n es como mínimo 30, el teorema del límite central asegurará una distribución normal en las medias muestrales, incluso si la población no es normal. Si n es menor o igual a 30, la distribución que más se ajusta es la t student.

5.2.2. Distribución muestral de proporciones

El proceso de las proporciones muestrales es muy similar al de las medias. De cualquier población es posible obtener muchas muestras diferentes de un tamaño dado. En donde cada muestra tendrá su propia proporción de “éxitos” p ; sin embargo, al igual que con las medias, el valor esperado de la distribución muestral de las proporciones muestrales será igual a la proporción de éxitos en la población

5.2.3. Métodos de muestreo

Existen dos métodos para seleccionar muestras de poblaciones. El primero es el muestreo no aleatorio o de juicio, en el cual se emplea el conocimiento y la opinión personal para identificar aquellos elementos de la población que debe incluirse dentro de la muestra. El segundo es el muestreo aleatorio o de probabilidad, en el cual todos los elementos de la población tienen la probabilidad de ser escogidos para la muestra. Dentro de este tipo de muestreo se encuentran, el muestreo aleatorio simple, el muestreo sistemático, el muestreo estratificado y el muestreo por conglomerados.

5.2.4. Tamaño de la muestra para medias usando muestreo aleatorio simple.

Para conocer el tamaño de la muestra es preciso comprender perfectamente el concepto de distribuciones muestrales. En donde tres factores afectan a la determinación del tamaño de la muestra para estimar la media de una población: 1) el nivel de confianza, 2) el error tolerable máximo y 3) la variación de la población.

En el tamaño de la muestra para medias, si el estadístico de la muestra tiene distribución normal de acuerdo con el teorema del límite central, el tamaño de la muestra se puede estimar usando los siguientes cuatro pasos.

1. Determinar el nivel de confianza
2. Determinar cuál es el error E o diferencia máxima permitida entre la media muestral y la media poblacional.
3. Si no se conoce la desviación estándar de la población³⁰, debe estimarse a partir de la desviación típica de muestras pasadas.

5.3. Estimación por intervalos de confianza

Una estimación por intervalos de confianza especifica el rango dentro del cual estará un parámetro desconocido. Tal intervalo con frecuencia va acompañado de una afirmación sobre el nivel de confianza que se da en su exactitud. En realidad hay tres niveles de confianza relacionados comúnmente con los intervalos de confianza: 99, 95 y 90%. Se podría calcular cualquier otro intervalo de confianza si se deseara, pero siempre superior al 80%. Pero estos tres niveles de confianza, denominados coeficientes de confianza, son simplemente convencionales.

Los intervalos de confianza tienen un valor alfa (α), que es la probabilidad de error tipo I, o la probabilidad de que un intervalo dado no contenga la media poblacional desconocida (1- coeficiente de confianza).

Las estimaciones por intervalo gozan de ciertas ventajas sobre las estimaciones puntuales. Debido al error de muestreo, probablemente la media muestral no será igual la media poblacional. Sin embargo no hay manera de saber que tan grande es el error de muestreo. Por tanto, los intervalos se utilizan para explicar esta discrepancia desconocida, el cual está dado por la diferencia entre uno de los límites del intervalo y la media muestral.

El fundamento de un intervalo de confianza. Un intervalo de confianza tiene un límite inferior de confianza (LI) y un límite superior de confianza (LS). Estos límites se hallan calculando primero el parámetro estadístico. Luego a este parámetro muestral se suma el error E o diferencia máxima permitida entre el parámetro muestral y el poblacional, para obtener el LS, y la misma cantidad se resta para obtener el LI.

5.4. Aplicación del modelo de estadística inferencial.

5.4.1. Prueba de hipótesis

La prueba de hipótesis es uno de los procedimientos más importantes de la inferencia estadística cuyo objetivo es emitir un juicio sobre la diferencia existente entre el estadístico calculado y un parámetro poblacional.

La palabra hipótesis se define como una afirmación o suposición y no un hecho establecido, que tiene que ser comprobada.

Una hipótesis estadística es una afirmación sobre una o más poblaciones, explícitamente sobre uno o más parámetros las que deben verificarse o contrastarse por procedimientos estadísticos. Las hipótesis pueden aceptarse o rechazarse.

La prueba de hipótesis es un proceso que se realiza en base a los datos de la muestra, para contrastar la veracidad o la falsedad de la hipótesis, el que denominamos prueba de hipótesis, prueba de significación o docimasia de hipótesis.

En el proceso de prueba intervienen dos tipos de hipótesis: La hipótesis nula y la hipótesis alternativa.

- La hipótesis nula: Denotada por H_0 , es aquella hipótesis de igualdad o de no diferencia. La hipótesis nula se plantea con el propósito de rechazarla. Por lo general, es la suposición del “statu quo”.
- La hipótesis alternativa: Denotada H_a , es aquella que está ligada a la hipótesis de trabajo de la investigación. Está planteada con el propósito de aceptarla o rechazarla.

Las dos hipótesis tanto H_0 y H_a son mutuamente excluyentes. Sus planteamientos son opuestos y al final del proceso si se acepta H_1 se rechaza H_0 y viceversa si se rechaza H_a se acepta H_0 .

5.4.2. Errores en la prueba de hipótesis

Al probar una hipótesis realmente se está tomando una decisión entre dos acciones, la decisión entre H_0 y H_a .

La veracidad o falsedad de una hipótesis nunca puede conocerse con una certidumbre al 100% a menos se estuviera trabajando con toda la población. Por

tanto, como se trabaja con las muestras tiene en cuenta la probabilidad de llegar a una conclusión equivocada; luego hay márgenes de error. Tenemos errores de dos tipos:

Error de tipo I. Denotado por error α , es el que se comete al rechazar la hipótesis nula cuando en realidad es la verdadera. La probabilidad de cometer el error de tipo I es " α ".

La probabilidad de cometer este error al tomar una decisión, se denomina nivel de significación (α). Los valores típicos de α son 0.01 o el 1% y 0.05 o 5%.

Error de tipo II. Denotado por error β , es el que se comete al aceptar la hipótesis nula cuando en realidad es falsa. La probabilidad de cometer el error de tipo I es " β ".

La probabilidad de cometer este error al tomar una decisión, se denomina nivel de significación (β). Los valores típicos de β son 0.01 o el 1% y 0.05 o 5%.

Un resumen estos errores se presentan en la tabla 4:

Tabla 4. Errores en prueba de hipótesis

ALTERNATIVA	HIPÓTESIS NULA	
	VERDADERA	FALSA
ACEPTAR H_0	ES CORRECTA	ERROR DE TIPO II (β)
RECHAZAR H_0	ERROR DE TIPO I (α)	ES CORRECTA

Fuente: Sheldon M., R. Introducción a la estadística.

5.4.3. Estadística de prueba

Es el valor de una estadística calculada con los datos de la muestra. La estadística de prueba es una estadística muestral o una transformación de ella en función a la distribución de dicha estadística. Una estadística de prueba tiene la siguiente constitución:

$$\text{Estadística de prueba} = \frac{\text{Estadística relevante} - \text{Parámetro supuesto}}{\text{Error estándar de la estadística relevante}}$$

$$E.P. = \frac{\text{Estadístico} - \text{Parámetro}}{\text{Error estándar}}$$

5.4.4. Etapas de una prueba de hipótesis estadística.

Para realizar una prueba de hipótesis hay cuatro pasos involucrados:

Paso 1: plantear la hipótesis.

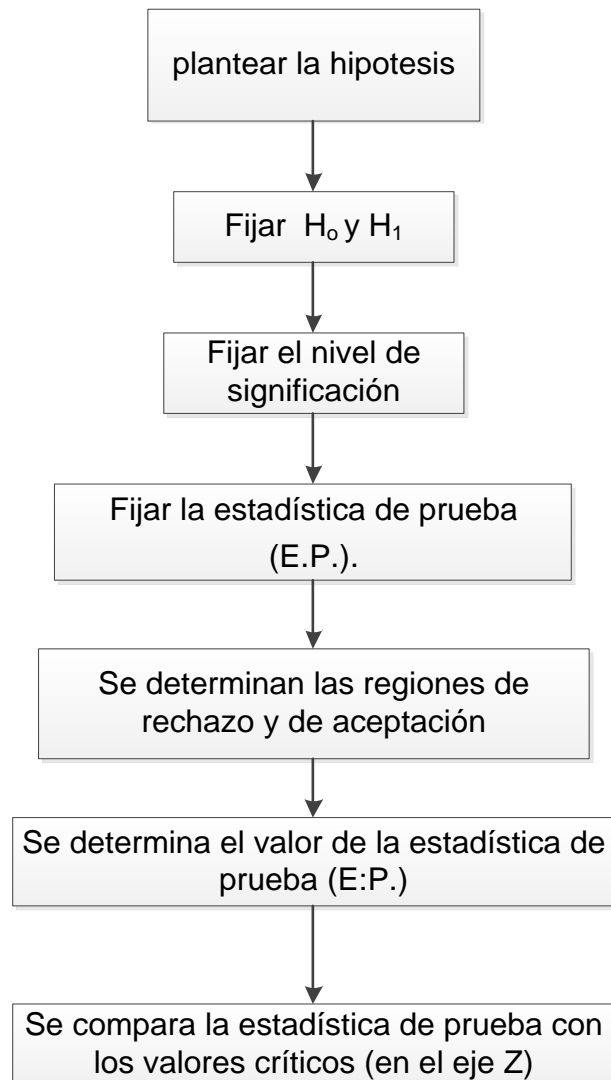
Paso 2: establecer los límites de confianza para el parámetro poblacional (zona de aceptación de H_0) utilizando el nivel de significancia α para calcular el valor del coeficiente de distribución Z o t. Se realiza mediante fórmulas sobre intervalos de confianza, cambiando la variable muestral por la poblacional.

Paso 3: se realiza la prueba de contraste comparando el estadístico muestral con el intervalo de confianza.

Paso 4: interpretación y conclusiones: Si el estadístico muestral queda dentro de la zona de aceptación o intervalo de confianza, se acepta la H_0 , o no hay

evidencia significativa para rechazarla. En caso contrario se rechaza el H_0 y se acepta la H_1 .

Figura 11. Etapas de una prueba de hipótesis estadística

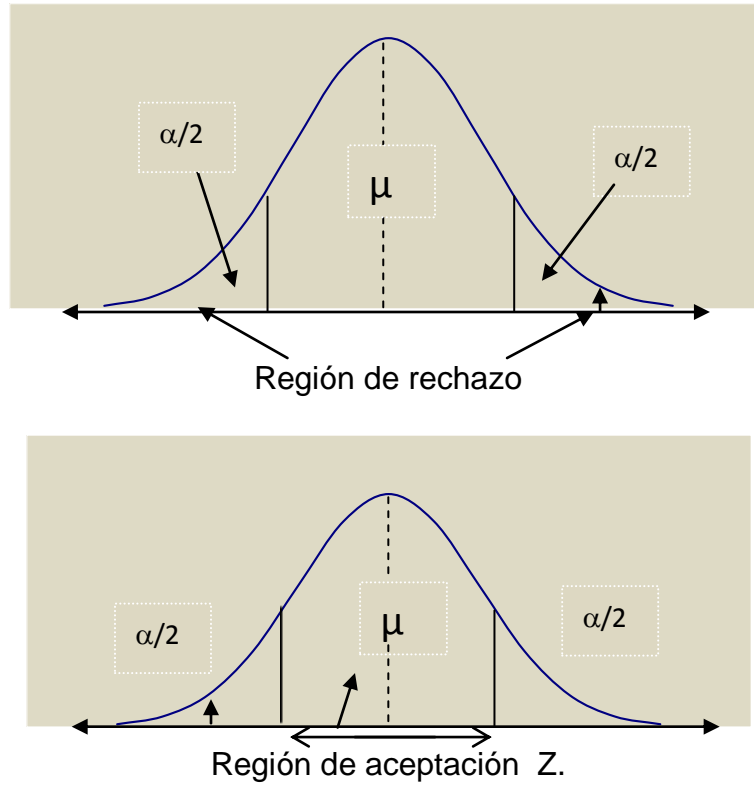


Fuente: Los autores

Con base en la comparación se toma la se toma la decisión de rechazar o no la hipótesis nula. Si la X queda dentro de los límites de confianza, se acepta la H_0 ; o

sea que no existen evidencias significativas para rechazarla. En caso contrario, si X queda fuera de la zona, se rechaza H_0 y se acepta H_1 .

Figura 12. Prueba de hipótesis unilaterales o de una cola.



α = nivel de significancia con el cual se calcula el estadístico Z .

μ = media poblacional

H_0 : $\mu =$ al valor de la media poblacional supuesto que se quiere probar.

H_1 : $\mu \neq$ al valor de la media poblacional supuesto que se quiere probar.

5.5. Análisis de tendencia

El análisis de tendencia puede ser útil para desarrollar pronósticos. Es decir, si una tendencia está presente debido a que los datos no varían alrededor de algún promedio a largo plazo.

La elección de la tendencia se hace a partir de la gráfica de la serie, estudiando qué tipo de función se ajusta mejor al desarrollo descrito en ella, o a partir de la verificación de determinados supuestos de crecimiento y evolución de los datos.

5.5.1. Fundamentos de regresión

El análisis de regresión se utiliza en la predicción, para el caso de dos variables; se desarrolla un modelo que utiliza la variable independiente (t) para obtener una mejor predicción de la otra variable, la variable dependiente (Y). el análisis de correlación por contraste con el de regresión, se utiliza para medir la fuerza de asociación entre las variables. En este caso el objetivo no es utilizar una variable para predecir la otra sino solo medir la fuerza de asociación o “covarianza” entre las dos variables. En un análisis de regresión, los valores individuales se trazan en una gráfica bidimensional llamada “Diagrama de Dispersión”, cada valor se traza en sus coordenadas (Y) y (t) particulares.

El análisis de regresión se clasifica generalmente en dos clases, simple y múltiple, este tipo de relación puede ser lineal, curvilínea o exponencial.

- **Tendencia lineal:** En el caso de tendencia lineal se supone que el crecimiento o decrecimiento de los datos de la serie se produce con una variación constante. Esto se puede comprobar obteniendo la serie

transformada $\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1}$, de primeras diferencias, y verificar que el resultado es una serie estacionaria con valores muy parecidos unos a otros.

Si es así, el esquema adecuado sería el aditivo, donde la variable dependiente es la serie cronológica que se desea pronosticar y el tiempo se utiliza como variable independiente. El modelo a estimar es simplemente.

- **Tendencia Cuadrática:** Es una buena opción para series que se describen mediante curvas y no líneas rectas. En estos casos, el modelo lineal no describe de manera adecuada el cambio en la variable conforme avanza el tiempo. Para salvar este problema, a menudo se utiliza una curva parabólica, que es descrita matemáticamente por una ecuación de segundo grado.
- **Tendencia exponencial:** El supuesto, en este caso, es que los datos evolucionan a una tasa de variación constante. Esto se podrá confirmar obteniendo la serie transformada $\Delta \text{Log}(Y_t)$, que supone una aproximación lineal de la tasa de variación, y verificar, como en el caso de la tendencia lineal, que el resultado es una serie estacionaria con valores casi constantes.

5.5.2. Coeficiente de correlación

En la mayoría de los casos el principal interés del investigador no solamente está en poder medir la relación que pueda existir, entre las dos variables, sino que además se concentra en determinar si están o no correlacionadas, y en caso de estarlo, en hallar qué tan fuerte es este grado de relación. Esta técnica analítica que se utiliza en hallar este grado de relación entre las dos variables, recibe el nombre de “Análisis de Correlación”. El parámetro utilizado para medir este grado de relación entre dos variables recibe el nombre de “Coeficiente de Correlación (R)”.

Este valor, simbolizado por R , puede asumir valores de -1 y $+1$. Si la relación entre dos variables es perfectamente lineal e inversa, o sea pendiente negativa, el coeficiente de correlación $R = -1$. Si la relación es perfectamente lineal y directa, pendiente positiva, entonces $R = 1$.

Cuando las dos variables no están correlacionadas, entonces $R = 0$, y sus puntos en el diagrama estarán dispersos. El coeficiente de correlación entre dos variables (Y) y (t) tendrá siempre el mismo signo que la pendiente de la de la ecuación de regresión de (Y) sobre (t). con base en estos hechos, se puede deducir que mientras más cerca este el valor numérico del coeficiente de correlación -1 o $+1$, entonces más estrecho será el grado de relación de las variables (Y) y (t). Por tanto, la magnitud de R (coeficiente de correlación) nos da una indicación de la fuerza o grado de relación entre las dos variables.

El coeficiente de determinación (R^2), servirá como medida de la bondad de ajuste de la tendencia estimada a la evolución temporal de los datos de la serie.

6. Metodología de trabajo.

6.1. Tipo de diseño

Se utilizó un diseño analítico, inferencial descriptivo.

Se realizó un análisis y una revisión de los trabajos e investigaciones encontrados durante la recolección y búsqueda de información, que fueron realizados en los últimos 5 años en Colombia y principalmente en la Universidad Industrial de Santander sobre la composición porcentual de amilosa y amilopectina en tubérculos; y su posible uso como aditivos en lodos de perforación base agua.

6.2. Criterios de inclusión.

- Estudios realizados sobre el % de amilosa y amilopectina en tubérculos.
- Trabajos sobre pruebas de control de filtrado en lodos base agua por almidones extraídos de tubérculos.
- Trabajos de pruebas de viscosidad en lodos base agua por almidones extraídos de tubérculos.

6.3. Variables

Esta propuesta de investigación plantea evaluar las siguientes variables:

- **Variable dependiente:** La viscosidad y el control de filtrado en lodos base agua.
- **Variable independiente principal:** Porcentaje de almidón en tubérculos.

6.4. Proceso de recolección de la información

Se realizó una búsqueda exhaustiva de todos los trabajos científicos realizados a nivel mundial y en Colombia durante los últimos 5 años en bases de datos como ELSEVIER, EBSCO, SciELO; además de las tesis elaboradas en la Universidad Industrial de Santander relacionadas con el tema en cuestión.

6.5. Análisis de datos.

Se realizó una descripción y comparación entre los diferentes estudios seleccionados y sus resultados. Para la comparación del contenido de amilosa y amilopectina en los diferentes tubérculos se empleó la prueba estadística de diferencia de proporciones, y para el análisis del efecto del almidón sobre las propiedades reológicas en los lodos base agua se realizaron modelos de regresión lineal. En las dos pruebas se consideró significativo cuando los estimadores presentaron un valor de $p < 0.05$. Todos los análisis estadísticos fueron realizados en el software IBM SPSS statistics 19.

6.5.1. Procesamiento y calidad de los datos.

Se realizó la selección de la información con base de los criterios de inclusión, a partir de la cual se elaboró la base de datos mediante doble digitación evitando errores y asegurando la calidad de los datos, para el respectivo análisis estadístico.

6.5.2. Fortalezas

- Existe gran cantidad de estudios sobre el contenido de amilosa y amilopectina en tubérculos.

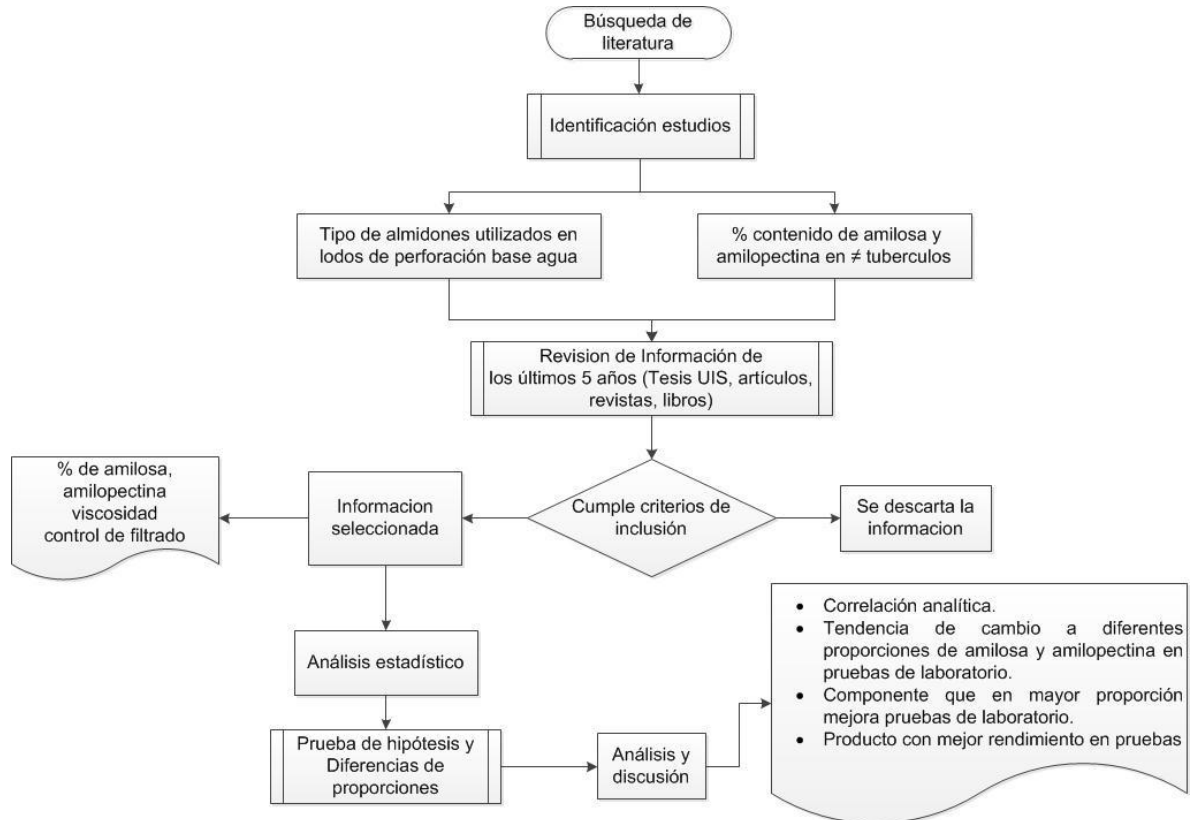
- Los diferentes estudios que evaluaron el efecto del almidón extraído de los tubérculos en diferentes cantidades por lb/bbl sobre los lodos, permitieron observar de manera detallada el comportamiento de las características reológicas de los lodos base agua.

6.5.3. Limitaciones.

- Existen pocos estudios que evalúan el efecto del almidón extraído de tubérculos sobre las características reológicas en los lodos de perforación base agua.
- No todos los estudios realizados estudiaron el efecto del almidón extraído de tubérculos sobre el lodo sin contaminantes, lo cual no permitió ser comparado con otros.
- No están estandarizadas las cantidades a agregar de almidón en las pruebas de laboratorio para determinar su efecto sobre las propiedades reológicas de los lodos base agua, resultando en que cada investigador ha utilizado diferentes cantidades dificultando su comparación.

En la figura 13 se presenta la metodología empleada.

Figura 13. Metodología



Fuente: Los autores

7. Resultados

7.1. Contenido de amilosa y amilopectina en tubérculos.

Se realizó la revisión y el análisis de estudios realizados sobre el contenido de amilosa y amilopectina en tubérculos, los cuales pueden ser observados en la tabla 5 (13,36–60), y se encuentran organizados en grupos según el tubérculo de procedencia y los contenidos porcentuales en peso de amilosa y amilopectina respectivamente.

Tabla 5. Contenido de amilosa y amilopectina en tubérculos.

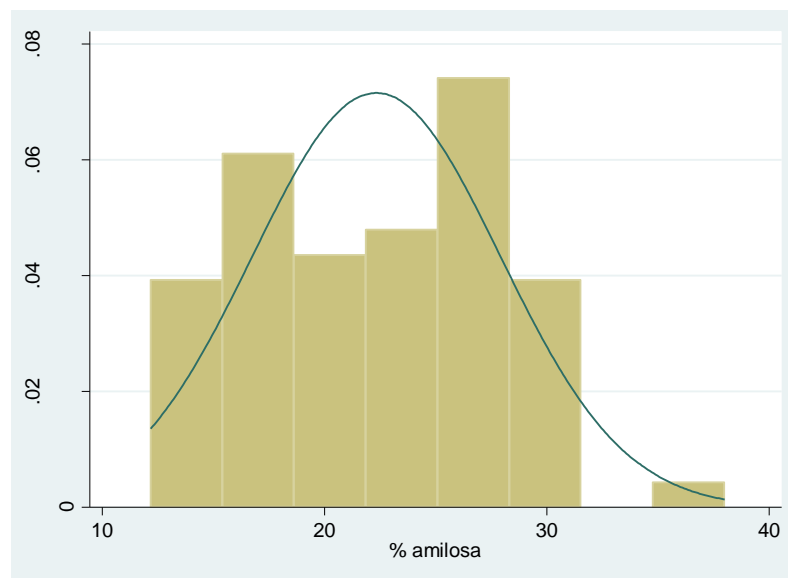
Autor, año	Alimento	% amilosa	% amilopectina
Karla loor et al, 2008	papa	22,87	62,09
By J. J. M. Swinkels, Veendam	papa	21	79
Diana Rodriguez et al, 2005	papa	25,5	74,5
Jose A. Orgeta et al, 2008	papa	21	79
Susana Espín et al, 2005	papa	26	74
Susana Espín et al, 2005	papa	28	72
T.D. et al, 2008	papa	28	72
T.D. et al, 2008	papa	16	84
Valerio-Dávila et al, 2011	papa	18	77
Valerio-Dávila et al, 2011	papa	27	73
mendoza et al, 2003	papa	24	76
Hector S. Villada et al, 2005	papa	24	76
Vargas Apaza et al, 2009	papa	23	77
Villagra A. Alejandra, 2010	papa	23	77
SteveW. Cui et al, 2005	papa	22,2	77,8
Alberto G. Miranda et al, 2009	papa	22	78
Salvador Badui D. et al, 1990	papa	22	78
Owen R. Fennema et al, 2000	papa	21	79
mendoza et al, 2006	papa	21	79
Johanna A. Teresa et al, 2007	papa	20	80
HERNÁNDEZ, Marilyn , 2008	papa	21	79
Armando Alvis et al, 2008	papa	24	76
Luis A. Brumovsky et al, 2010	papa	20	80

Autor, año	Alimento	% amilosa	% amilopectina
Armando Alvis et al, 2008	ñame	27,89	72,11
Armando Alvis et al, 2008	ñame	27,55	72,45
Emperatriz Pacheco de D. et al, 2009	ñame	27,5	72,5
Armando Alvis et al, 2008	ñame	25,95	74,05
Armando Alvis et al, 2008	ñame	25,87	74,13
By J. J. M. Swinkels, Veendam	yuca	17	83
Diana Rodriguez et al, 2005	yuca	23,6	76,4
Salvador Badui D. et al, 1990	yuca	18	82
Villagra A. Alejandra, 2010	yuca	20	80
Vargas Apaza et al, 2009	yuca	20	80
Steve W. Cui et al, 2005	yuca	17	83
Valerio-Dávila et al, 2011	yuca	18	82
Owen R. Fennema et al, 2000	yuca	17	83
Johanna A. Teresa et al, 2007	yuca	17	83
Alberto G. Miranda et al, 2009	yuca	17	83
Jose A. Orgeta et al, 2008	yuca	17	83
T.D. et al, 2008	yuca	15	85
T.D. et al, 2008	yuca	13	87
Hector S. Villada et al, 2005	yuca	14,7	85,3
Armando Alvis et al, 2008	yuca	14,67	85,33
Armando Alvis et al, 2008	yuca	14,43	85,57
Hector S. Villada et al, 2005	yuca	14,4	85,6
Armando Alvis et al, 2008	yuca	14,23	85,77
HERNÁNDEZ, Marilyn, 2008	yuca	17	83
Luis A. Brumovsky et al, 2010	yuca	17	83
T.D. et al, 2008	achira	38	62
T.D. et al, 2008	achira	31	69
Susana Espín et al, 2005	achira	27	73
Karla Iloor et al, 2008	achira	26,03	58,62
Lafosse C. et al, 2002	oca	28,47	71,53
Lafosse C. et al, 2002	oca	29,65	70,35
Lafosse C. et al, 2002	oca	29,75	70,25
Lafosse C. et al, 2002	oca	27,42	72,58
Lafosse C. et al, 2002	oca	28,04	71,96
Lafosse C. et al, 2002	oca	28,34	71,66
Lafosse C. et al, 2002	oca	29,45	70,55

Autor, año	Alimento	% amilosa	% amilopectina
Lafosse C. et al, 2002	oca	29,86	70,14
Lafosse C. et al, 2002	oca	30,09	69,91
Lafosse C. et al, 2002	oca	27,12	72,88
Susana Espín et al, 2005	oca	30	70
Lafosse C. et al, 2002	arracacha	26,58	73,42
Lafosse C. et al, 2002	arracacha	26,21	73,79
Lafosse C. et al, 2002	arracacha	22,1	77,9
Lafosse C. et al, 2002	arracacha	12,18	87,82
Lafosse C. et al, 2002	arracacha	12,17	87,83
Lafosse C. et al, 2002	arracacha	16,8	83,2
Diana Rodriguez et al, 2005	arracacha	18	82
Susana Espín et al, 2005	arracacha	20	80

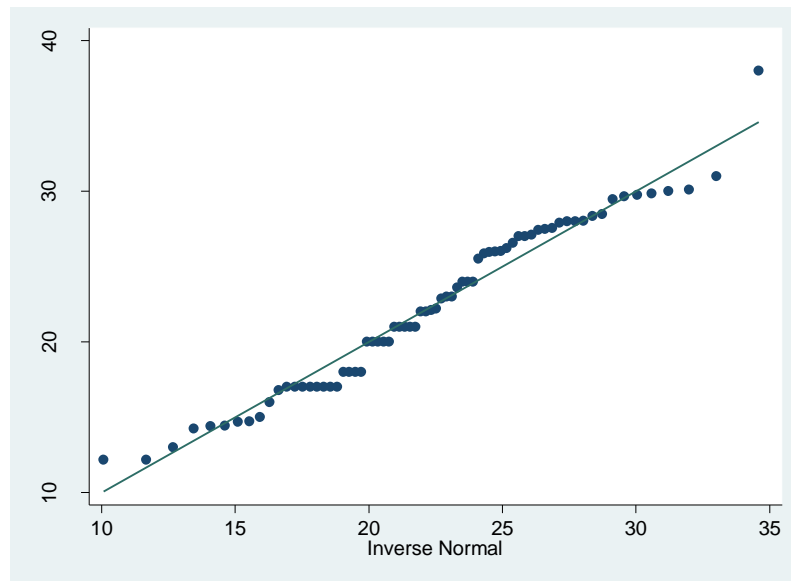
A partir de los datos obtenidos, se realizó un histograma y una prueba de Gráfico Q-Q plot, a los contenidos porcentuales de amilosa y amilopectina; pudiendo observar en estos, que los datos distribuyeron normalmente. Ver figuras 14 a 17.

Figura 14. Histograma de normalidad de la distribución del contenido de amilosa en tubérculos.



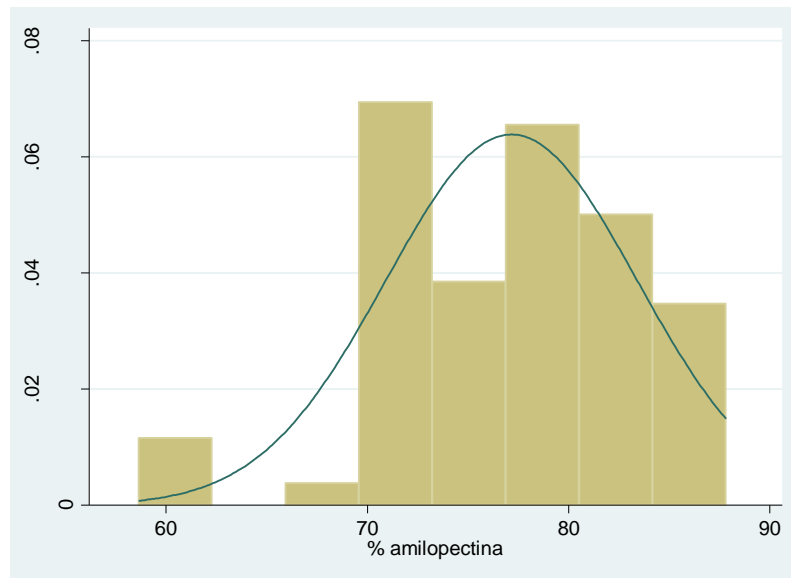
Fuente: Los autores

Figura 15. Grafica de cuantiles de la amilosa con los cuantiles de una distribución normal: Gráfico Q-Q plot



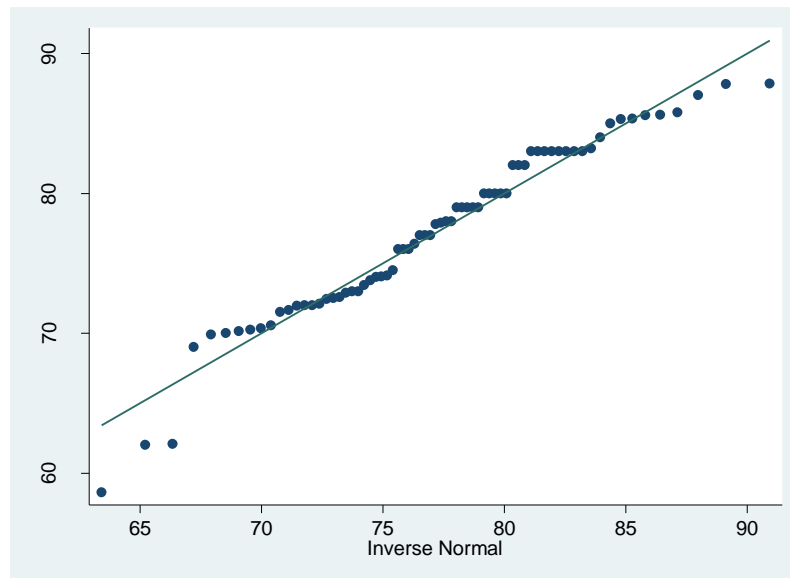
Fuente: Los autores

Figura 16. Histograma de normalidad de la distribución del contenido de amilopectina en tubérculos.



Fuente: Los autores

Figura 17. Grafica de cuantiles de la amilopectina con los cuantiles de una distribución normal: Gráfico Q-Q plot.



Fuente: Los autores

Según lo observado en las figuras 14 - 17, la distribución de los datos de amilosa y amilopectina es muy semejante a la normal, por lo cual es correcto realizar la estimación del contenido promedio de amilosa y amilopectina en tubérculos, el cual se presenta en la tabla 6.

Tabla 6. Intervalos, promedio y desviación estándar del contenido porcentual de amilosa y amilopectina en tubérculos.

Tubérculo	% amilosa			% amilopectina		
	Intervalo	\bar{x}	SD	Intervalo	\bar{x}	SD
Papa	16 – 28	22,63	2,98	62,1 - 84	76,49	4,21
Ñame	25,87 - 27,89	26,95	0,96	72,11 - 74,13	73,04	0,96
Yuca	13 - 23,6	16,8	2,45	76,4 - 87	83,19	2,45
Achira	26 – 38	30,5	5,43	58,62 - 73	65,65	6,53
Arracacha	12,17 - 26,58	19,25	5,58	73,42 - 87,83	80,74	5,58
Oca	27,12 - 30,09	28,92	1,08	69,91 - 72,88	71,07	1,08

\bar{x} , promedio. SD, Desviación estándar.

7.2. Prueba de diferencias de proporciones sobre el contenido de amilosa en tubérculos.

Se realizó la comparación del contenido de amilosa entre los tubérculos estudiados, para determinar si hay diferencias estadísticamente significativas.

En las primeras pruebas se comparó el contenido de amilosa de la papa y del ñame con respecto a los demás tubérculos y entre estos mismos, sin embargo, no se observaron diferencias estadísticamente significativas. Ver tabla 7 y 8.

Tabla 7. Diferencia de proporciones del contenido de amilosa de la papa en comparación con otros tubérculos.

Tubérculo Base: Papa	Amilosa			
	IC 95%		Estadístico z	Valor p
Ñame	-0,17	0,09	0,4899	0,6242
Yuca	-0,061	0,181	0,8839	0,3768
Achira	-0,213	0,053	1,1149	0,2649
Arracacha	-0,083	0,163	0,5208	0,6025
Oca	-0,191	0,071	0,806	0,4202

IC, Intervalo de confianza.

Tabla 8. Diferencia de proporciones del contenido de amilosa del ñame en comparación con otros tubérculos.

Tubérculo Base: Ñame	Amilosa			
	IC 95%		Estadístico z	Valor p
Yuca	-0,024	0,224	1,5363	0,1245
Achira	-0,176	0,096	0,4675	0,6401
Arracacha	-0,046	0,206	1,1762	0,2395
Oca	-0,154	0,114	0,1575	0,8749

IC, Intervalo de confianza.

En el siguiente análisis se comparó el contenido promedio de amilosa de la yuca con respecto a los demás tubérculos restantes; se observa que la diferencia en su contenido es estadísticamente significativa con respecto a la achira (valor $p=0,0314$). No obstante aunque en su comparación con la oca no es estadísticamente significativa (valor $p=0,0646$), es importante tener en cuenta que se usó el promedio por lo cual es probable que al utilizar su valor máximo reportado, esta muestre una diferencia estadística. Ver tabla 9

Tabla 9. Diferencia de proporciones del contenido de amilosa de la yuca en comparación con otros tubérculos.

Tubérculo Base: Yuca	Amilosa			
	IC 95%		Estadístico z	Valor p
Achira	-0,267	-0,013	2,1524	0,0314
Arracacha	-0,136	0,096	0,1841	0,8540
Oca	-0,245	0,005	1,8483	0,0646

IC, Intervalo de confianza.

Luego se comparó el contenido promedio de amilosa de la achira con los demás tubérculos restantes, sin embargo, no se observaron diferencias estadísticamente significativas. Aunque en su comparación con la arracacha el contenido de amilosa no es estadísticamente significativo (valor $p=0,0724$), es importante tener en cuenta que se usó el promedio por lo cual es probable que al utilizar su valor máximo reportado, esta muestre una diferencia estadística. Ver tabla 10

Tabla 10. Diferencia de proporciones del contenido de amilosa de la achira en comparación con otros tubérculos.

Tubérculo	Amilosa			
	IC 95%		Estadístico z	Valor p
Base: Achira				
Arracacha	-0,009	0,249	1,7963	0,0724
Oca	-0,117	0,157	0,1543	0,8774

IC, Intervalo de confianza.

Finalmente, se realizó la comparación del contenido de amilosa de la arracacha con el de la oca, pero no se encontraron diferencias estadísticamente significativas. Ver tabla 11.

Tabla 11. Diferencia de proporciones del contenido de amilosa de la arracacha en comparación con la oca.

Tubérculo Base:	Amilosa			
	IC 95%		Estadístico z	Valor p
Arracacha				
Oca	-0,228	0,028	1,4901	0,1362

IC, Intervalo de confianza.

7.3. Prueba de diferencias de proporciones sobre el contenido de amilopectina en tubérculos.

Se realizó la comparación del contenido de amilopectina entre los tubérculos estudiados, para determinar si hay diferencias estadísticamente significativas.

En las primeras pruebas se comparó el contenido de amilopectina de la papa y del ñame con respecto a los demás tubérculos y entre estos mismos, sin embargo, no se observaron diferencias estadísticamente significativas. Ver tabla 12 y 13

Tabla 12. Diferencia de proporciones del contenido de amilopectina de la papa en comparación con otros tubérculos.

Tubérculo Base: Papa	Amilopectina			
	IC 95%		Estadístico z	Valor p
Ñame	-0,09	0,17	0,4899	0,6242
Yuca	-0,181	0,061	0,8839	0,3768
Achira	-0,024	0,244	1,5664	0,1172
Arracacha	-0,163	0,083	0,5208	0,6025
Oca	-0,071	0,191	0,806	0,4202

IC, Intervalo de confianza.

Tabla 13. Diferencia de proporciones del contenido de amilopectina del ñame en comparación con otros tubérculos.

Tubérculo Base: Ñame	Amilopectina			
	IC 95%		Estadístico z	Valor p
Yuca	-0,224	0,024	1,5363	0,1245
Achira	-0,067	0,207	0,9215	0,3568
Arracacha	-0,206	0,046	1,1762	0,2395
Oca	-0,114	0,154	0,1575	0,8749

IC, Intervalo de confianza.

En el siguiente análisis se comparó el contenido promedio de amilopectina de la yuca con respecto a los demás tubérculos restantes; se observa que la diferencia en su contenido es estadísticamente significativa con respecto a la achira (valor $p=0,0094$). No obstante aunque en su comparación con la oca no es estadísticamente significativa (valor $p=0,0646$), es importante tener en cuenta que se usó el promedio por lo cual es probable que al utilizar su valor máximo reportado, esta muestre una diferencia estadística. Ver tabla 14

Tabla 14. Diferencia de proporciones del contenido de amilopectina de la yuca en comparación con otros tubérculos.

Tubérculo Base: Yuca	Amilopectina			
	IC 95%		Estadístico z	Valor p
Achira	0,042	0,298	2,5957	0,0094
Arracacha	-0,096	0,136	0,1841	0,8540
Oca	-0,005	0,245	1,8483	0,0646

IC, Intervalo de confianza.

Luego se comparó el contenido promedio de amilopectina en la achira con los demás tubérculos restantes y se observó una diferencia estadísticamente significativa en la comparación con la arracacha (valor $p=0,0249$). Ver tabla 15

Tabla 15. Diferencia de proporciones del contenido de amilopectina de la achira en comparación con otros tubérculos.

Tubérculo Base: Achira	Amilopectina			
	IC 95%		Estadístico z	Valor p
Arracacha	-0,281	-0,019	2,2431	0,0249
Oca	-0,189	0,089	0,6089	0,5426

IC, Intervalo de confianza.

Finalmente, se realizó la comparación del contenido de amilopectina de la arracacha con el de la oca, pero no se encontraron diferencias estadísticamente significativas. Ver tabla 16.

Tabla 16. Diferencia de proporciones del contenido de amilopectina de la arracacha en comparación con la oca.

Tubérculo Base: Arracacha	Amilopectina			
	IC 95%		Estadístico z	Valor p
Oca	-0,028	0,228	1,4901	0,1362

IC, Intervalo de confianza.

Luego de comparar el contenido de amilosa y amilopectina entre los tubérculos estudiados y determinar las diferencias estadísticamente significativas, se concluyó, que la achira y la oca difieren estadísticamente de los otros tubérculos por su gran contenido de amilosa, lo cual se podría ver reflejado en un comportamiento diferente como aditivos de lodos de perforación; de la misma forma se puede observar que la yuca y el ñame son estadísticamente significativos según su contenido de amilopectina, por lo cual pueden compartir características semejantes como aditivos de lodos de perforación.

7.4. Aplicación de almidones en lodos de perforación

Se realizó una revisión y el análisis de estudios realizados en la Universidad Industrial de Santander, sobre aplicaciones de almidones procedentes de tubérculos, como aditivos de lodos de perforación base agua; y de los cuales se obtuvieron los datos que describen su comportamiento como aditivos en lodos de perforación base agua, y con los cuales se procedió a realizar el análisis de regresión lineal en base a los datos obtenidos que se presentan en la tabla 17.

Tabla 17. Datos de pruebas de rendimiento y control de filtrado

Tubérculo	% p/p Promedio amilosa	[] almidón lb/bbl	va	filtrado API 30 min
papa	22,63	1	17,5	15,5
papa	22,63	1,5	18,5	15
papa	22,63	2	19	14,5
papa	22,63	2,5	22	14
papa	22,63	3	22,5	13,8
papa	22,63	3,5	23,5	12,9
achira	30,5	0,5	11,3	9,6
achira	30,5	1	11,03	9,3
achira	30,5	1,5	11,55	7,75
achira	30,5	2	11,5	7,8
achira	30,5	3	11,6	8,25
achira	30,5	4	11,65	8,05
achira	30,5	5	11,55	7,5
achira	30,5	6	10,9	6,75
achira	30,5	7	11,5	6,4

Fuente: Tesis de papa y achira(6,10)

7.5. Regresión lineal para la estimación del efecto de los almidones de tubérculos en las propiedades de los lodos de perforación base agua.

Se utilizó la regresión lineal con la finalidad de modelar la relación entre la viscosidad aparente y las pérdidas de filtrado de los lodos de perforación base agua (variable dependiente) y el contenido de amilosa en tubérculos (variable independiente).

Modelo de regresión básico:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \varepsilon$$

Donde,

Y_i , Propiedad evaluada de los lodos de perforación. (Va, Control de filtrado).

β_0 , Constante que expresa el valor de la probabilidad de $\gamma = 1$, cuando las variables independientes están en el nivel basal.

β_1 , Coeficiente constante que acompaña a la variable independiente

x_1 , variable independiente. (% amilosa contenido en el almidón)

7.5.1. Regresión lineal para la estimación del efecto del contenido promedio de amilosa en tubérculos en la viscosidad aparente de los lodos de perforación base agua.

En el modelo se observó que el contenido promedio de amilosa en los tubérculos evaluados al utilizarse en los lodos de perforación base agua, se relaciona directa y significativamente con la viscosidad aparente (valor $p=0,000$). Ver figura 18.

Figura 18. Modelo de regresión lineal para la estimación de la viscosidad aparente a partir del contenido promedio de amilosa en tubérculos.

Source	SS	df	MS			
Model	298.261618	1	298.261618	Number of obs =	15	
Residual	31.0643562	13	2.38956586	F(1, 13) =	124.82	
				Prob > F	= 0.0000	
				R-squared	= 0.9057	
				Adj R-squared	= 0.8984	
Total	329.325975	14	23.5232839	Root MSE	= 1.5458	

va	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
promedioamilosaestimado	-1.156572	.1035222	-11.17	0.000	-1.380218	-.9329258
_cons	46.67322	2.859531	16.32	0.000	40.49558	52.85086

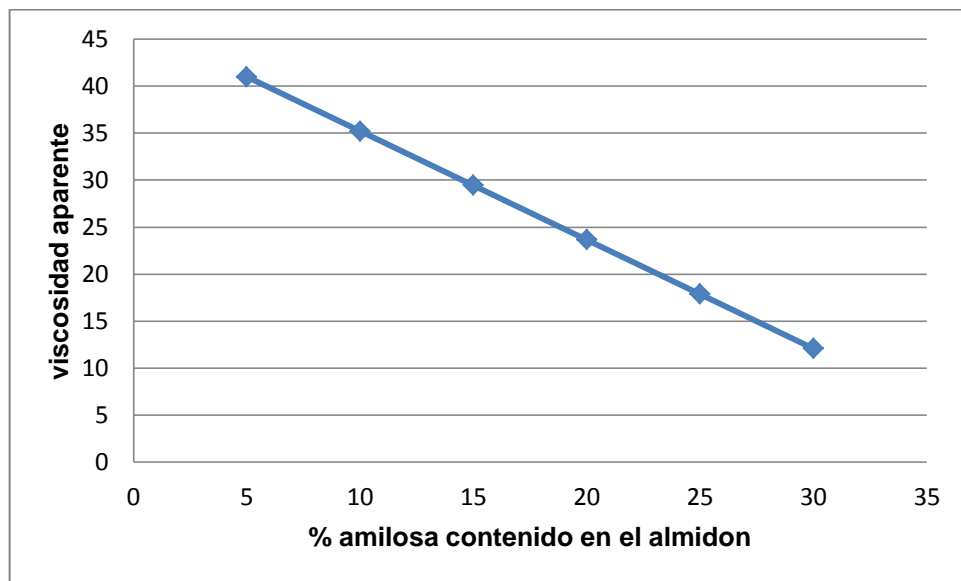
Con los datos obtenidos en el modelo de regresión lineal, reemplazamos las constantes en el modelo de regresión básico; de manera que podemos generar una predicción del comportamiento de Va en relación con el porcentaje de amilosa contenido en el almidón. Teniendo en cuenta que el intervalo de confianza que este posee es del 95% y que el coeficiente de determinación dado por R^2 es del 90,57%, podemos esperar resultados con un alto grado de aceptación.

$$Va = 46,67322 - 1,156572x_1 + 0,1035222$$

$$R^2 = 0,9057$$

Utilizando cantidades porcentuales de amilosa en un intervalo del [5 - 30] y graficando los datos obtenidos contra la viscosidad aparente; podemos observar la tendencia de pendiente negativa que nos muestra la figura 19, y por lo tanto se puede afirmar, que el aumento de la cantidad porcentual de amilosa dentro de un almidón utilizado como aditivo en lodos de perforación base agua, se va ver reflejado en una disminución en la viscosidad aparente.

Figura 19. Comportamiento de la viscosidad aparente vs contenido de amilosa



Lo anteriormente expuesto, es coherente con lo observado en la literatura, debido a que una mayor cantidad porcentual de amilosa, indica una menor cantidad de amilopectina; la cual según los estudios realizados es el componente del almidón que aporta viscosidad a los lodos de perforación base agua.

7.5.2. Regresión lineal para la estimación del efecto del contenido promedio de amilosa en tubérculos en el control de filtrado de los lodos de perforación base agua.

En el modelo se observó que el contenido promedio de amilosa en los tubérculos evaluados al utilizarse en los lodos de perforación base agua, se relaciona directa y significativamente con el control de filtrado (valor $p=0,000$). Ver figura 20.

Figura 20. Modelo de regresión lineal para la estimación del control de filtrado en lodos base agua a partir del contenido promedio de amilosa en tubérculos.

Source	SS	df	MS			
Model	145.160993	1	145.160993	Number of obs =	15	
Residual	13.0183357	13	1.00141044	F(1, 13) =	144.96	
Total	158.179329	14	11.2985235	Prob > F =	0.0000	
				R-squared =	0.9177	
				Adj R-squared =	0.9114	
				Root MSE =	1.0007	

filtradoapi30min	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
promedioamilosaestimado	-.8068614	.0670162	-12.04	0.000	-.9516412	-.6620816
_cons	32.54261	1.851149	17.58	0.000	28.54344	36.54177

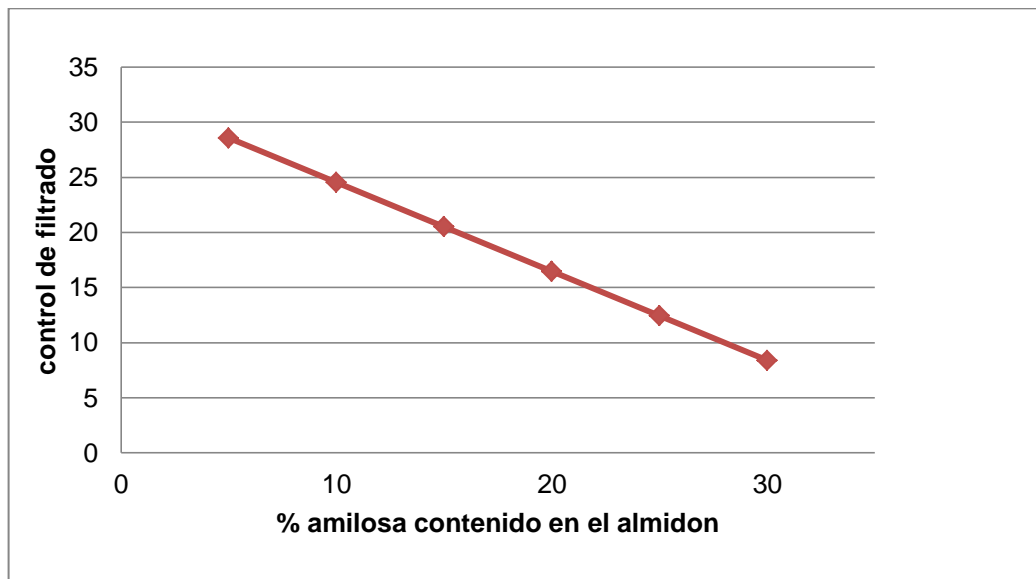
Con los datos estimados, podemos obtener un modelo que nos permita predecir el comportamiento que tiene el control de filtrado, debido al porcentaje de amilosa contenido en un almidón utilizado como aditivo en lodos de perforación base agua. Teniendo en cuenta que el intervalo de confianza que este posee es del 95% y que el coeficiente de determinación dado por R^2 es del 91,77%, podemos esperar resultados con un alto grado de aceptación.

$$\text{Control de filtrado} = 32,54261 - 0,8068614x_1 + 0,0670162$$

$$R^2 = 0,9177$$

Utilizando cantidades porcentuales de amilosa en un intervalo del [5 - 30] y graficando los datos obtenidos contra el control de filtrado, podemos observar la tendencia de pendiente negativa que nos muestra la figura 21 se puede afirmar, que el aumento de la cantidad porcentual de amilosa dentro de un almidón utilizado como aditivo en lodos de perforación base agua, se va ver reflejado en una disminución en el filtrado de lodo. Lo cual es la respuesta que se busca obtener para disminuir perdidas en el sistema de circulación del lodo.

Figura 21. Comportamiento del control de filtrado vs contenido de amilosa



Debido al comportamiento observado en la figura 21, se espera que los almidones extraídos de la oca y de algunos tipos de arracacha y ñame que se encuentran por encima de la media reportada en la tabla 6, tengan un buen desempeño como controladores de filtrado.

8. Conclusiones

Las diferencias estadísticamente significativas encontradas en el contenido de amilosa de los diferentes tubérculos evaluados, permiten concluir que la achira y la oca son los tubérculos con el mayor contenido de amilosa en comparación con los otros; lo cual nos permite inferir que son posiblemente buenos aditivos de control de filtrado.

En cuanto al contenido de amilopectina se observa que se distribuye similarmente en casi todos los tubérculos con excepción de la achira, el cual es estadísticamente diferente de los otros por su bajo contenido. Sin embargo esto hace que su contenido de amilosa sea mayor, favoreciendo sus características como aditivo para el control de filtrado.

En el análisis de la regresión lineal, se logró observar que el aumento en el contenido de amilosa de almidones procedentes de tubérculos y su utilización en los lodos base agua afecta directamente la viscosidad aparente, observándose una disminución de la misma.

En conclusión, la utilización del almidón extraído de un tubérculo con una proporción media-alta de amilosa como la oca y la achira mostraran efectos beneficiosos sobre las características de control de filtrado en lodos de perforación base agua, teniendo en cuenta un manejo cuidadoso de la cantidad de almidón a agregar en cada prueba.

9. Recomendaciones

Se recomienda que en la ejecución posterior de pruebas de laboratorio que utilicen almidón extraído de tubérculos se realice la adición del almidón de manera gradual en pequeñas cantidades para observar mejor el comportamiento de las características del lodo; y replicar estas pruebas en diferentes condiciones de presión y temperatura.

Además es importante evaluar otros tipos de modificaciones para el almidón extraído de tubérculos, que permitan aumentar su contenido de amilosa con la finalidad de mejorar las características que controlan el filtrado en los lodos base agua.

Realizar una investigación de las características fisicoquímicas de los almidones usados en las pruebas de laboratorio, con el fin de obtener los valores reales del contenido de amilosa y amilopectina, para tener mayores fundamentos que permitan definir las condiciones y alternativas de uso en la industria de hidrocarburos.

Finalmente, la continuación de la investigación sobre el efecto de la amilosa en las características físico-químicas en lodos de perforación, permitirá la innovación de productos que además de mejorar las características del lodo contribuyan al cuidado del medio ambiente.

Referencias Bibliograficas.

1. Rodriguez Bermudez E. Reestructuración teórico – práctica de la guía de laboratorio de lodos y cementos. Universidad Industrial de Santander; 2007.
2. Company BAH. Manual de fluidos. Houston, USA.; 2000.
3. Bautista Cuadros AF, Flórez Barreto ED, Ariza Leon E. Factibilidad del uso de almidón de yuca como aditivo en lodos de perforación. [Bucaramanga, Santander, Colombia]: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER FACULTAD; 2011. p. 168.
4. Niño Forero GA, Guio Puerto JL, Tréjos Hernandez E. Estudio de la factibilidad del uso de la resina de plátano como agente controlador de filtrado biodegradable en lodos de perforación base agua. Universidad Industrial de Santander; 2012. p. 240.
5. Fajardo Molina AC, Rodríguez Rodríguez CJ, Ariza Leon E. Factibilidad del uso del almidón de plátano como aditivo para lodos de perforación. [Bucaramanga, Santander, Colombia]: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER FACULTAD; 2010. p. 142.
6. Castro Cely AL, Gómez Cañon JD, Ariza Leon E. Estudio de la factibilidad del uso del almidón de achira como aditivo en lodos de perforación base agua. [Bucaramanga, Santander, Colombia]: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER FACULTAD; 2012. p. 158.
7. PDVSA. Manual de fluidos de perforación. Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED). 2002.
8. Lummus JL, Azar JJ. Drilling fluids optimization. Penn Well Publishing Company.; 1986.
9. SWACO. M-I&. Drilling Fluids Engineering Versión 2.0. Houston, Texas; 2001.
10. Bello Niño DA, Mina Reyes HF, Ariza Leon E. Agua, Estudio de factibilidad del almidón de papa como aditivo en fluidos de perforación base. UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER FACULTAD; 2012. p. 151.

11. López OV. Desarrollo, caracterización y aplicación de envases biodegradables a partir de almidón. Universidad Nacional de La Plata; 2011. p. 263.
12. Salwa M A-E-F, Hanan MAA, Nessrien M. N. Physicochemical properties of starch extracted from different sources and their application in pudding and white sauce. *World J. Dairy Food Sci.* 2010;5(2):173–82.
13. Aristizábal J, Teresa S. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. FAO, editor. 2007. p. 153.
14. Whistler RL, BeMiller JN, Paschall EF. . Academic Press, Inc. Chem. Technol. 1984;1984.
15. Belitz, H.D y Grosch W. Cereales y Derivados. In: Belitz H., Grosch W, editors. *Química los Aliment.* Acribia, Zaragoza.; 1997. p. 1997.
16. Bello-Pérez LA. Amilopectina-Characterización molecular y funcional. Instituto Politécnico Nacional; 1995. p. 1995.
17. Burrell M. Starch – The need for improved quality or quantity. *J. Exp. Bot.* 2003;54:451–6.
18. Grau A. Ahipa, la legumbre tuberosa de los Andes. *Cienc. Hoy.* 1997;7(42):1997.
19. Matos, M.C.; Matos, A. A. y Vieira da Silva JB. Effect of manual and chemical flower. *Eff. Man. Chem. flower.* 1998. p. 1998.
20. Hernández-medina M, Torruco-uco JG, Chel-guerrero L, Betancur-ancona D. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán , México. *Ciência e Tecnol. Aliment.* 2008;2008(002894):718–26.
21. Thomas DJ, Atwell W. Starch Modifications. *Starches.* Eagen Press Handbook. USA. 1999;1999.
22. Zobel HF. Starch crystal transformations and their industrial importance. *Starch/Stärke.* 1988;40:1–7.
23. Bello-Pérez LA, Osorio-Díaz P, Agama-Acevedo E, Nuñez-Santiago C, Paredes- López O. Chemical, physicochemical and rheological of masas and nixtamalized corn flours. *Agrociencia.* 2002;2002.

24. Saartrat S, Puttanlek C, Rungsardthong V, Uttapap D. Paste and gel properties of low-substituted acetylated canna starches. *Carbohydr. Polym.* 2005;61:211–21.
25. Singh J, Kaur L, McCarthy OJ. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications-A review. *Food Hydrocoll.* 2007;21:1–22.
26. Wurzburg OB. *Modified starches: Properties and uses.* Boca Raton, FL CRC Press. 1986;1986.
27. Huang DP, Rooney LW, Lusas EW. *Starches for snack foods.* *Snack foods Process.* 2001;2001.
28. Condés MC. Películas compuestas y nanocompuestas, biodegradables y/o comestibles, en base a proteínas de amaranto y almidones de distinto origen botánico. Universidad Nacional de La Plata; 2012. p. 243.
29. Ring SG, Colonna P, Iánson KJ, Kalichevsky MT, Miles MJ, Morris VJ, et al. The gelation and crystallization of amylopectin. *Carbohydr. Res.* 1987;162:277–293.
30. Miller BS, Derby RI, Trimbo H. A pictorial explanation for the increase in viscosity of a heated wheat starch water suspension. *Cereal Chem.* 1973;50:271–275.
31. Ott M, Hester EE. Gel formation as related to concentration of amylose and degree of starch swelling. *Cereal Chem.* 1965;42:476 – 484.
32. Miles MJ, Morris VJ, Oxford PD, Ring SG. The roles of amylose and amylopectine in the gelation and retrogradation of starch. *Carbohydr. Res.* 1985;135:271–281.
33. Farhat IA, Protzmann J, Becker A, Vallès-Pàmies B, Neale R, Hill SE. Effect of the Extent of Conversion and Retrogradation on the Digestibility of Potato Starch. . *Starch/Stärke.* 2001;53(5):431–6.
34. Biliaderis C. Structures and phase transitions of starch in food systems. *Food Technology.* 1992;98:109145.
35. Sheldon M. R. *Introducción a la estadística.* Segunda Ed. EDITORIAL REVERTE, S.A.; 2007. p. 1–783.

36. Alejandra VA. Almidón retrogradado en el tratamiento dietoterápico de la Diabetes Mellitus tipo 2. Universidad ISALUD; 2010. p. 92.
37. Almidón EDEL, Almidón LOSGDE, Química C, Almidón DEL. Estructura del almidón. p. 28707.
38. Alvis A, Vélez CA, Villada HS, Rada M. Análisis Físico-Químico y Morfológico de Almidones de Ñame , Yuca y Papa y Determinación de la Viscosidad de las Pastas. Inf. Tecnológica. 2008;19(1):19–28.
39. Badui Dergal S. Química de los alimentos. Segunda. EDITORIAL ALHAMBRA MEXICANA. S.A, editor. Mexico; 1990. p. 649.
40. Brumovsky LA. Química del almidón. Posadas, Provincia de Misiones, Argentina.; 2010. p. 10.
41. Corrales Guijarro JP, Erazo Benavides RC. Influencia del almidón de achira para elaboración de muffins adicionando leche y edulcorantes. Universidad Técnica del Norte; 2009. p. 106.
42. Cui SW. Food carbohydrates. Chemistry, Physical Properties, and Applications. Group T& F, editor. Taylor & Francis Group; 2005. p. 411.
43. De la Rosa Millán J. Análisis fisicoquímico, estructural y molecular de almidones de diferentes variedades de maíz azul. Instituto Politécnico Nacional; 2009. p. 102.
44. Espín S, Villacrés E, Brito B. Caracterización Físico - Química, Nutricional y Funcional de Raíces y Tubérculos Andinos. Raíces y tubérculos Andin. Altern. para la Conserv. y uso Sosten. en el Ecuador. Victor H. . Lima, Perú; 2004. p. 91–116.
45. Fennema OR. Química de los alimentos. Segunda. Fennema OR, Tannenbaum SR, editors. Acribia, Editorial, S.A; 2000. p. 1258.
46. Freja V-D, Alfredo M-C. Descripción de la estructura, propiedades e interacciones del almidón y su hidrólisis mediante licuefacción enzimática. I Congr. Nac. Investig. – IASD. 2011;1.
47. García-tejeda YV, Zamudio-flores PB, Bello-pérez LA. Oxidación del almidón nativo de plátano para su uso potencial en la fabricación de materiales de empaque biodegradables: caracterización física, química, térmica y morfológica. Rev. Iberoam. Polímero. 2011;12(3):125–35.

48. Guízar Miranda A, Montañez Soto JL. Obtención y caracterización física y química del almidón de “camote de cerro.” Instituto Politécnico Nacional; 2009. p. 96.
49. Hernández-medina M, Torruco-uco J, Betancur-ancona D, Chel-guerrero L. Caracterización Físicoquímica de Almidones de Tubérculos Cultivados en la Península de Yucatán , México. IX Congr. Cienc. los Aliment. y v foro Cienc. y Tecnol. Aliment. 2007;1:85–92.
50. Loor Toledo KA. Karla A . Loor Toledo Karla A . Loor Toledo. Universidad San Francisco de Quito; 2008. p. 39.
51. Nuwamanya E, Baguma Y, Wembabazi E, Rubaihayo P. A comparative study of the physicochemical properties of starches from root , tuber and cereal crops. African J. Biotechnol. 2011;10(56):12018–30.
52. Ortega Domínguez JA, Laines Canepa JR, Aparicio Trápala MA. Almidón modificado de plátano: Posible uso en el tratamiento de lixiviados provenientes de rellenos sanitarios. 2000;87–96.
53. Pacheco De Delahaye E, Techeira N. Propiedades químicas y funcionales del almidón nativo y modificado de ñame (Dioscorea alata). Interciencia. 2009;34(No. 4):280–5.
54. Rivas-González M, Zamudio-Flores PB, Bello-Pérez LA. Efecto del grado de acetilación en las características morfológicas y fisicoquímicas del almidón de plátano. Rev. Mex. Ing. Química. 2009;Vol. 8, No:291–7.
55. Rodríguez D, Espitia M, Caicedo YE, Baena Y. Caracterización de algunas propiedades fisicoquímicas y farmacotécnicas del almidón de arracacha (Arracacia xanthorrhiza). Rev. Colomb. Ciencias Químico-Farmacéuticas. 2005;34(2):140–6.
56. Sandoval Rodríguez E, Quintero AF, Alonso L, Ospina B. Reología de suspensiones preparadas con harina precocida de yuca. 2006;
57. Swinkels JJM. Composition and Properties of Commercial Native Starches. Starch - Stärke [Internet]. 1985;37(1):1–5. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/star.19850370102>
58. Vargas Apaza SL. Selección y evaluación de bacterias del género Bacillus productoras de amilasa en cultivo sumergido. Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2002. p. 86.

59. Vidal Tovar CR. El ñame espino (*Dioscorea rotundata* Poir .): una opción en la producción de jarabes edulcorantes intermedios para la industria alimentaria. *Investig. Agrar. y Ambient.* 2010;1(2):19–28.
60. Villada C. HS, Narvárez AE, Acosta H. Elaboracion, caracterizacion y envejecimiento de almidón termoplástico agrio de yuca extruido. *Rev. Aliment. Hoy.* 2007;Vol 12(No 12):22.

Bibliografía

Alvis A, Vélez CA, Villada HS, Rada M. Análisis Físico-Químico y Morfológico de Almidones de Ñame, Yuca y Papa y Determinación de la Viscosidad de las Pastas. *Inf. Tecnológica*. 2008;19(1):19–28.

Badui Dergal S. Química de los alimentos. Segunda. EDITORIAL ALHAMBRA MEXICANA. S.A, editor. Mexico; 1990. p. 649.

Belitz, H.D y Grosch W. Cereales y Derivados. In: Belitz H., Grosch W, editors. *Química los Aliment. Acibia, Zaragoza.*; 1997. p. 1997.

Bello-Pérez LA, Osorio-Díaz P, Agama-Acevedo E, Nuñez-Santiago C, Paredes- López O. Chemical, physicochemical and rheological of masas and nixtamalized corn flours. *Agrociencia*. 2002;2002.

Bello-Pérez LA. Amilopectina-Characterización molecular y funcional. Instituto Politécnico Nacional; 1995. p. 1995.

Biliaderis C. Structures and phase transitions of starch in food systems. *Food Technology*. 1992;98:109145.

Brumovsky LA. Química del almidón. Posadas, Provincia de Misiones, Argentina.; 2010. p. 10.

Burrell M. Starch – The need for improved quality or quantity. *J. Exp. Bot*. 2003;54:451–6.

Condés MC. Películas compuestas y nanocompuestas, biodegradables y/o comestibles, en base a proteínas de amaranto y almidones de distinto origen botánico. Universidad Nacional de La Plata; 2012. p. 243.

Corrales Guijarro JP, Erazo Benavides RC. Influencia del almidón de achira para elaboración de muffins adicionando leche y edulcorantes. Universidad Técnica del Norte; 2009. p. 106.

Cui SW. Food carbohydrates. Chemistry, Physical Properties, and Applications. Group T& F, editor. Taylor & Francis Group; 2005. p. 411.

De la Rosa Millán J. Análisis fisicoquímico, estructural y molecular de almidones de diferentes variedades de maíz azul. Instituto Politécnico Nacional; 2009. p. 102.

Espín S, Villacrés E, Brito B. Caracterización Físico - Química, Nutricional y Funcional de Raíces y Tubérculos Andinos. Raíces y tubérculos Andin. Altern. para la Conserv. y uso Sosten. en el Ecuador. Victor H. . Lima, Perú; 2004. p. 91–116.

Frecia V-D, Alfredo M-C. Descripción de la estructura, propiedades e interacciones del almidón y su hidrólisis mediante licuefacción enzimática. I Congr. Nac. Investig. – IASD. 2011;1.

García-tejeda YV, Zamudio-flores PB, Bello-pérez LA. Oxidación del almidón nativo de plátano para su uso potencial en la fabricación de materiales de empaque biodegradables: caracterización física, química, térmica y morfológica. Rev. Iberoam. Polímero. 2011;12(3):125–35.

Grau A. Ahipa, la legumbre tuberosa de los Andes. Cienc. Hoy. 1997;7(42):1997.

Guízar Miranda A, Montañez Soto JL. Obtención y caracterización física y química del almidón de “camote de cerro.” Instituto Politécnico Nacional; 2009. p. 96.

Hernández-medina M, Torruco-uco J, Betancur-ancona D, Chel-guerrero L. Caracterización Físicoquímica de Almidones de Tubérculos Cultivados en la Península de Yucatán , México. IX Congr. Cienc. los Aliment. y v foro Cienc. y Tecnol. Aliment. 2007;1:85–92.

Hernández-medina M, Torruco-uco JG, Chel-guerrero L, Betancur-ancona D. Caracterización físicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán , México. Ciência e Tecnol. Aliment. 2008;2008(002894):718–26.

Loor Toledo KA. Karla A . Loor Toledo Karla A . Loor Toledo. Universidad San Francisco de Quito; 2008. p. 39.

Lummus JL, Azar JJ. Drilling fluids optimization. Penn Well Publishing Company.; 1986.

Matos, M.C.; Matos, A. A. y Vieira da Silva JB. Effect of manual and chemical flower. Eff. Man. Chem. flower. 1998. p. 1998.

Miles MJ, Morris VJ, Oxford PD, Ring SG. The roles of amylose and amylopectine in the gelation and retrogradation of starch. Carbohydr. Res. 1985;135:271–281.

Miller BS, Derby RI, Trimbo H. A pictorial explanation for the increase in viscosity of a heated wheat starch water suspension. Cereal Chem. 1973;50:271–275.

Otto M, Hester EE. Gel formation as related to concentration of amylose and degree of starch swelling. Cereal Chem. 1965;42:476 – 484.

PDVSA. Manual de fluidos de perforación. Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED). 2002.

Ring SG, Colonna P, Iánson KJ, Kalichevsky MT, Miles MJ, Morris VJ, et al. The gelation and crystallization of amylopectin. Carbohydr. Res. 1987;162:277–293.

- Rivas-González M, Zamudio-Flores PB, Bello-Pérez LA. Efecto del grado de acetilación en las características morfológicas y fisicoquímicas del almidón de plátano. *Rev. Mex. Ing. Química.* 2009;Vol. 8, No:291–7.
- Saartrat S, Puttanlek C, Rungsardthong V, Uttapap D. Paste and gel properties of low-substituted acetylated canna starches. *Carbohydr. Polym.* 2005;61:211–21.
- Sheldon M. R. *Introducción a la estadística. Segunda Ed. EDITORIAL REVERTE, S.A.; 2007. p. 1–783.*
- Singh J, Kaur L, McCarthy OJ. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications-A review. *Food Hydrocoll.* 2007;21:1–22.
- SWACO. M-I&. *Drilling Fluids Engineering Versión 2.0. Houston, Texas; 2001.*
- Thomas DJ, Atwell W. *Starch Modifications. Starches. Eagen Press Handbook. USA. 1999;1999.*
- Vargas Apaza SL. Selección y evaluación de bacterias del género *Bacillus* productoras de amilasa en cultivo sumergido. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2002. p. 86.*
- Villada C. HS, Narváez AE, Acosta H. Elaboracion, caracterizacion y envejecimiento de almidón termoplástico agrio de yuca extruido. *Rev. Aliment. Hoy.* 2007;Vol 12(No 12):22.
- Zobel HF. Starch crystal transformations and their industrial importance. *Starch/Stärke.* 1988;40:1–7.