CARACTERIZACIÓN DE CUATRO VARIEDADES DE BATATA *(Ipomoea Batatas Lam)*, CULTIVADAS EN LA COSTA CARIBE COLOMBIANA PARA SU APLICACIÓN AGROINDUSTRIAL.

ARRIETA BANQUET LINA MARÍA

JIMÉNEZ VILLALBA KARLA MARCELA

UNIVERSIDAD DE SUCRE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

SINCELEJO

2017

CARACTERIZACIÓN DE CUATRO VARIEDADES DE BATATA *(Ipomoea Batatas Lam)*, CULTIVADAS EN LA COSTA CARIBE COLOMBIANA PARA SU APLICACIÓN AGROINDUSTRIAL.

Área de Investigación: Transformación de materias primas vegetales
Grupo PADES

ARRIETA BANQUET LINA MARÍA

JIMÉNEZ VILLALBA KARLA MARCELA

Trabajo de Grado Presentado como Requisito para Optar el Título de Ingeniera Agroindustrial

Director
JAIRO GUADALUPE SALCEDO MENDOZA
Ingeniero Químico
Ph.D. Ingeniería Química

Co-director
MANUEL CERVERA RICARDO
Ingeniero Agroindustrial

UNIVERSIDAD DE SUCRE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

SINCELEJO

2017

Nota de aceptación

_____

_____

_____

_____

_____

Firma del Director

_____

Firma del Co-Director

_____

Firma del Jurado

_____

Firma del Jurado

_____

Firma del Jurado

Sincelejo-Sucre, 2017

DEDICATORIA

A nuestro Dios todo poderoso por ser nuestra guía espiritual en el desarrollo de todo este proceso, por brindarnos la sabiduría, paciencia y fortaleza para culminar esta etapa.

A nuestros padres y hermanos, por su amor, compresión y apoyo incondicional. Por ser nuestro mejor ejemplo y por las ayudas que nos han brindado como base a nuestra formación.

A nuestros compañeros y amigos más cercanos porque fueron participes con su motivación y apoyo.

Lina Arrieta & Karla Jiménez.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a (al):

Doctor, Jairo Salcedo Mendoza, Director de nuestro trabajo de grado y del grupo de investigación "PADES", por sus conocimientos, su disposición, paciencia, orientación y apoyo durante el desarrollo de este trabajo.

Ingeniero Agroindustrial, Manuel Cervera Ricardo, co-director de nuestro trabajo de grado, por su dedicación, colaboración y orientación en el trabajo realizado.

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), puesto que fue posible llevar a cabo nuestra investigación respaldada por el proyecto "Evaluación agronómica de ocho variedades de batata (*Ipomea batatas Lam*) en la Costa Caribe" y por provisionar el material evaluado (*Ipomea Batata (L.) Lam).*

Universidad de Sucre sede Perico, por facilitarnos los medios, herramientas y equipos necesarios para la realización y consecución de nuestra investigación.

“Únicamente las autoras son responsables de las ideas expuestas en el presente trabajo”

INDICE DE CONTENIDO

Pág.

RESUMEN……1

ABSTRACT……... 2

INTRODUCCIÓN……3

1. OBJETIVOS……...6

1.1. General……6

1.2. Específicos……....…6

2. MARCO DE ANTECEDENTES Y TEORICO…….…7

2.1. Marco de antecedentes…….….7

2.2. Marco teórico-conceptual…….....8

2.2.1. Generalidades de la batata…….....8

2.2.2. Origen de la batata…….....9

2.2.3. Variabilidad genética de la batata……..9

2.2.4. Propiedades nutricionales de la batata……...9

2.2.5. Usos de la batata……10

2.2.6. Almidón de batata…….....11

2.2.7. Aplicaciones del almidón de batata……...12

2.2.8. Perfil viscoamilográfico de las pastas de harina y almidón de batata…….13

2.2.9. Análisis de infrarrojo de harina y almidón de batata……...16

3. MATERIALES Y MÉTODOS……....18

3.1. Materiales……....18

3.1.1. Batata…….…...18

3.2. Metodología…….....20

3.2.1. Extracción de las muestras de batata. 20

3.2.2. Caracterización proximal de las harinas de batatas. 20

3.2.3. Rendimientos de las variedades de batata evaluadas en las diferentes localidades. 22

3.2.4. Caracterización fisicoquímica de las harinas de batatas. 22

3.2.5. Caracterización tecno-funcional de las harinas de batatas. 22

3.2.6. Caracterización estructural de las harinas de batatas. 23

3.2.7. Extracción del almidón de batata..... 23

3.2.8. Caracterización proximal del almidón de batata. 23

3.2.9. Caracterización tecno-funcional del almidón de batata. 23

3.2.10. Caracterización estructural del almidón de batata. 24

3.2.11. Diseño experimental. 24

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES…….....26

4.1. Caracterización de las variedades de batata evaluadas en las diferentes localidades. 27

4.1.1. Caracterización proximal de las harinas de batatas evaluadas. 27

4.1.2. Rendimientos de las variedades de batata evaluadas en las diferentes localidades. 34

4.1.3. Caracterización fisicoquímica de las harinas de batatas evaluadas. 37

4.1.4. Caracterización tecno-funcional de las harinas de batata. 39

4.1.5. Caracterización estructural de las harinas de batatas evaluadas. 47

4.2. Propiedades de los almidones de batata evaluadas en las diferentes localidades 50

4.2.1. Caracterización proximal de los almidones de las batatas evaluadas. 50

4.2.2. Caracterización tecno-funcional de los almidones de las batatas evaluadas. 51

4.2.3. Caracterización estructural de los almidones de las batatas evaluadas. 60

5. CONCLUSIONES…….66

6. RECOMENDACIÓNES……...67

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS……69

8. ANEXOS……91

ÍNDICE DE TABLA

Pág.

Tabla 1. Composición química y valor energético de la batata. Valores por 100g. 10
Tabla 2. Composición química del almidón de batata en base seca. 12
Tabla 3. Propiedades de pastificación de harina y almidón de batata. 15
Tabla 4. Características de las zonas agroecológicas de evaluación. 18
Tabla 5. Características de las variedades de batata evaluadas. 19
Tabla 6. Materia seca, Humedad, Fibra, Ceniza, Proteína y Almidón de las harinas. 27
Tabla 7. Rendimiento de las variedades de batata evaluadas en diferentes localidades..... 34
Tabla 8. Rendimiento de Materia seca (MS), Proteína y Almidón de las batatas evaluadas. 35
Tabla 9. Contenido de sólidos solubles de las harinas..... 37
Tabla 10. Capacidad de absorción de agua (CAA) de las harinas de batata. 39
Tabla 11. Comportamiento de la viscosidad en suspensión de las harinas de batata 42
Tabla 12. CAA de los almidones de batata. 51
Tabla 13. Comportamiento de la viscosidad en suspensión de los almidones de batata. 54
Tabla 14. Amilosa de los almidones de batata 60

ÍNDICE DE FIGURA

Pág.

Figura 1. Representación esquemática de los cambios estructurales del gránulo de almidón….. 14
Figura 2. Perfil de viscosidad de harinas y almidones. 15
Figura 3. Espectro FTIR y estructuras químicas características de almidones y harinas……..17
Figura 4. Variedades de batatas evaluadas en diferentes localidades del Caribe. 19
Figura 5. Características de las variedades de batata evaluadas. 26
Figura 6. Viscoamilograma de harinas de batata en las diferentes variedades evaluadas. 41
Figura 7. Espectroscopia de infrarrojo de harina para la variedad Chinú. 47
Figura 8. Espectroscopia de infrarrojo de harina para la variedad 440224. 47
Figura 9. Espectroscopia de infrarrojo de harina para la variedad 199064-1……...….48
Figura 10. Espectroscopia de infrarrojo de harina para el testigo Criolla. 48
Figura 11. Viscoamilograma de almidones de batatas en las diferentes variedades evaluadas. .. 53
Figura 12. Espectroscopia de infrarrojo del almidón de la variedad Chinú. 62
Figura 13. Espectroscopia de infrarrojo del almidón de la variedad 440224. 63
Figura 14. Espectroscopia de infrarrojo del almidón de la variedad 199064-1..... 63
Figura 15. Espectroscopia de infrarrojo del almidón del testigo Criolla. 64

INDICE DE ANEXOS

Pág.

Anexo 1. Análisis de Varianza de la materia seca (MS) de las batatas..... 91
Anexo 2. Análisis de Varianza de la humedad de las batatas 91
Anexo 3. Análisis de Varianza del contenido de fibra de las batatas..... 92
Anexo 4. Análisis de Varianza del contenido de ceniza de las batatas 92
Anexo 5. Análisis de Varianza del contenido de proteína de las batatas 93
Anexo 6. Análisis de Varianza para el contenido de almidón de las batatas 93
Anexo 7. Gráfico de interacción del contenido de almidón de las batatas..... 94
Anexo 8. Análisis de Varianza para los rendimientos en toneladas por hectáreas 94
Anexo 9. Gráfico de interacción de los rendimientos en toneladas por hectáreas. 95
Anexo 10. Análisis de Varianza para los rendimientos de toneladas de materia seca 95
Anexo 11. Gráfico de interacción de los rendimientos de toneladas de materia seca..... 96
Anexo 12. Análisis de Varianza para los rendimientos de toneladas de proteína..... 96
Anexo 13. Gráfico de interacción de los rendimientos de toneladas de proteína 97
Anexo 14. Análisis de Varianza para los rendimientos de toneladas de almidón..... 97
Anexo 15. Gráfico de interacción de los rendimientos de toneladas de almidón. 98
Anexo 16. Análisis de Varianza para los sólidos solubles (SS) de las batatas 98
Anexo 17. Análisis de Varianza para la capacidad de absorción de agua de las harinas..... 99
Anexo 18. Gráfico de interacción de la capacidad de absorción de agua de las harinas 99
Anexo 19. Análisis de Varianza para la viscosidad máxima de las harinas de batata 100
Anexo 20. Gráfico de interacción de la viscosidad máxima de las harinas de batata. 100
Anexo 21. Análisis de Varianza para la temperatura de gelatinización de las harinas 101
Anexo 22. Gráfico de interacción de la temperatura de gelatinización de las harinas..... 101
Anexo 23. Análisis de Varianza para el breakdown de las harinas de batata 102
Anexo 24. Gráfico de interacción del breakdown de las harinas de batata..... 102
Anexo 25. Análisis de Varianza para el setback de las harinas de batata 103
Anexo 26. Gráfico de interacción del setback de las harinas de batata..... 103
Anexo 27. Valores de viscosidad mínima y final de las harinas de batatas. 104
Anexo 28. Contenido de humedad de los almidones de batata. 104

Anexo 29. Análisis de Varianza de la capacidad de absorción de agua de los almidones. 105
Anexo 30. Gráfico de interacción de la CAA de los almidones. 105
Anexo 31. Análisis de Varianza para la viscosidad máxima de los almidones..... 106
Anexo 32. Gráfico de interacción la viscosidad máxima de los almidones de batata..... 106
Anexo 33. Análisis de Varianza para la temperatura de gelatinización de los almidones. 107
Anexo 34. Gráfico de interacción de la temperatura de gelatinización de los almidones.. 107
Anexo 35. Análisis de Varianza para el breakdown de los almidones..... 108
Anexo 36. Gráfico de interacción del breakdown de los almidones de batata..... 108
Anexo 37. Análisis de Varianza para el setback de los almidones 109
Anexo 38. Gráfico de interacción del setback de los almidones de batata. 109
Anexo 39. Valores de viscosidad mínima y final de los almidones..... 110
Anexo 40. Análisis de Varianza del contenido de amilosa de los almidones de batata..... 110
Anexo 41. Gráfico de interacción del contenido de amilosa de los almidones de batata. . 111

RESUMEN

En Colombia, la producción nacional de batata se concentra en la Región Caribe, específicamente en los departamentos de Córdoba y Sucre, donde se muestra con un valor comercial escaso por el hecho de ser una materia prima bastante perecedera. Sin embargo, su importancia como cultivo ha ganado reconocimiento en el mundo por su gran potencial para ser aprovechada como alimento humano y animal, a nivel industrial e incluso como aditivos de diversos productos; por consiguiente, en esta investigación se realizó una caracterización para definir algunas aplicaciones agroindustriales de la harinas y almidón de cuatro accesiones (variedades de batata) cultivadas en tres localidades de la Región Caribe. Para lo cual, se determinó el contenido de materia seca, humedad, fibra, ceniza, proteína, almidón, amilosa, capacidad de absorción de agua, rendimientos, perfil viscoamilográfico y FTIR. Los resultados presentaron variaciones en los genotipos y localidades evaluadas: materia seca (38,66±3,28 %), proteína (6,49±1,49 %), almidón (27,57±2,99 %), rendimientos de materia seca (4,29±1,35 t/ha), de proteína (0,69±0,19 t/ha), de almidón (3,05±1,01 t/ha), capacidad de absorción de agua de las harinas (218,30±41,18 %) y de los almidones (81,35±9,36 %), viscoamilograma de harinas con una Vmáx (307,13±72,61 cP), Breakdown (-15,64±55,92 cP), Setback (186,65±77,25 cP), y almidones con Vmáx de (2676,03±77,90 cP), Breakdown (1209,25±58,69 cP), Setback (991,67±72,21 cP); destacando su aplicación a nivel agroindustrial. La variedad 440224 cultivada en Cereté con los mayores rendimientos de materia seca por hectárea, se identificó como de doble propósito para producción de harinas y almidón, y a partir de la espectroscopia de infrarrojo (FTIR) se observó un comportamiento similar en las señales de absorbancia de las harinas y almidones evaluados.

Palabras claves: Genotipo, harina, almidón, parámetros, viscosidad, potencial.

ABSTRACT

In Colombia, the national production of sweet potato is focused on the Caribbean Region, specifically in the departments of Cordoba and Sucre, where is shown a limited commercial value by being a very perishable commodity. However, its relevance as a crop has gained recognition worldwide because of its great potential to be exploited as human and animal source of food, industrial and even as additives of various products; Thus, this thesis carried out a characterization to define some agro-industrial applications of starch and flour of four accessions (sweet potato varieties) in three locations of the Caribbean Region., where the content of dry matter, moisture, fiber, ash, protein, starch, amylose, water absorption capacity, yield of dry matter, viscoamilographic profile and composition was determined. Results presented variations on the varieties and evaluated towns: dry matter (38,66±3,28 %), protein (6,49±1,49 %), starch content (27,57±2,99 %), dry matter yields (4,29±1,35 t/ha), of protein (0,69±0,19 t/ha) and of starch (3,05±1,01 t/ha), flour water absorption capacity (218,30±41,18 %), in starches (81,35±9,36 %), viscoamilograma in flour with a Vmax (307,13±72,61 cP), Breakdown (-15,64±55,92 cP), Setback (186,65±77,25 cP), and starches with Vmax (2676,03±77,90 cP), Breakdown (1209,25±58,69 cP), Setback (991,7±72,21 cP)); emphasizing its application to agro-industrial level. The 440224 variety grown in Cereté with the highest yields of MS by has, is identified as dual purpose, for production of flour and starch, and it was observed a similar behavior on absorbance of flours and starches evaluated signs.

Key words: Genotype, flour, starch, parameters, viscosity, potential.

INTRODUCCIÓN

La batata (*Ipomea batatas Lam*) es una de las raíces tuberosas más cultivadas a nivel mundial; hace parte de los principales cultivos usados como fuente energética, por su alto contenido de carbohidratos. Este tubérculo se sitúa en el séptimo lugar en el ranking de productos agrícolas de mayor demanda mundialmente, después de cultivos tradicionales como el maíz, el trigo, el arroz, la yuca, entre otros (Pérez & Fabián, 2013). Presenta áreas sembradas de 8.618.866 ha aproximadamente y con producciones de hasta 127.139.553 t/año, concentradas más que todo en el continente asiático, donde se calcula que se encuentra el 90,5% del área total sembrada en el mundo. El camote es un producto agrícola que fue domesticado y cultivado inicialmente en países como Ecuador, Perú, Bolivia y Colombia, en los cuales presenta su mayor diversidad genética y son reconocidos centros primarios (Tique *et al.*, 2009).

El aporte promedio de la producción mundial durante el año 2014 apenas alcanzó un 3,6 %, donde Brasil, Argentina y Perú, fueron los países americanos con mayor producción con 525.814 t, 336.271 t y 278.293 t respectivamente (FAO-STAT, 2014). En Colombia, la producción de batata para el 2013 fue en promedio de 214 t/año con un área cosechada de 43,5 ha de batatas y un rendimiento del 6,1%. La producción se concentra en la región Caribe, específicamente en los departamentos de Córdoba y Sucre (DANE – ENA, 2013), donde las condiciones agroclimáticas que la región ofrece favorecen el desarrollo del cultivo, que demanda durante su periodo de desarrollo temperaturas superiores a los 21°C, con un ambiente fresco (80-85% HR) y buena luminosidad.

La batata presenta gran variabilidad genética, por lo que suele adaptarse rápidamente en condiciones ambientales variables, como: tipo de suelo, salinidad, humedad, sequia, enfermedades, y resistencia a plagas (García *et al.*, 2016). La temperatura mínima de crecimiento de la batata puede llegar hasta los 12 °C, además, soporta muy bien el calor y tolera fuertes vientos, debido a su porte rastrero y a la flexibilidad de sus tallos. Sumado a lo anterior, su producción resulta más económica en cuanto al manejo agronómico, por el hecho de la baja demanda de fertilizantes y pesticidas necesarios en comparación con cultivos semejantes (Pérez & Pacheco, 2005).

En Colombia, este tubérculo no hace parte de los principales cultivos utilizados en la industria, solo se encuentra en pequeñas parcelas y huertas caseras de algunos campesinos tradicionales. Además, la batata muestra un valor comercial escaso por el hecho de ser una materia prima perecedera; lo que trae como consecuencia pérdidas post-cosechas que alcanzan un 30% a nivel mundial (Pérez & Pacheco, 2005); razón por lo cual, la comercialización es principalmente local. Sin embargo, en los últimos años se ha evidenciado un crecimiento notable en su importancia como cultivo, ganando reconocimiento en el mundo por su gran potencial para ser aprovechada en la alimentación humana y animal, a nivel industrial e incluso como aditivos de diversos productos (Dini *et al.,* 2009).

En lo que concierne a la alimentación humana, la batata es comercializada principalmente como producto en fresco, en pastas y aperitivos (Li *et al.,* 2010) y de acuerdo a su variedad, posee alto contenido de fibra dietética, minerales, vitaminas, compuestos antioxidantes (ácidos fenólicos, tocoferoles y B-carotenos) que son requeridos en los alimentos funcionales, cervezas, productos de belleza (Panda, 2015) y como fuente de harina y almidón, productos considerados de alto valor energético; siendo la batata la principal opción para sustituir las harinas consumidas en fresco, como la de papa y yuca (Hernández *et al.*, 2008). A su vez, el almidón de batata, se ha considerado una fuente amilácea con un gran potencial, según Moorthy (2004), el contenido de amilosa se encuentra en un intervalo del 15-25%, mientras que Osundahunsi *et al.* (2003), realizó una investigación con camote blanco y rojo, que provenían de África, para las cuales se registró un mayor porcentaje de amilosa (32%) en ambas variedades. Se sostiene, que la discrepancia en los valores puede estar influenciada por las condiciones de crecimiento en la raíz, incidiendo así en las características físicas de los almidones, como el aumento de la temperatura del suelo, la cual es directamente proporcional al incremento de la temperatura de gelatinización; así mismo se pueden ver condicionadas otras propiedades como la viscosidad cuando los gránulos se someten a periodos de calentamiento y enfriamiento.

Los actuales productores y procesadores ubicados en los departamentos de la Región Caribe desconocen la potencialidad de la batata, y su uso a nivel industrial, convirtiéndose en un limitante al momento de identificar la aplicación específica de cada variedad, por lo cual la producción e industrialización de esta materia prima se ve sujeta a un solo enfoque: el consumo en fresco. Los obstáculos que han impedido la consolidación de este cultivo son los

altos costos de producción, la baja productividad y las técnicas inadecuadas de transformación (Scott *et al.,* 2000), por tanto, es de vital importancia el estudio de éste tubérculo como materia prima para la posible elaboración de productos convencionales o en el desarrollo de nuevos, como una forma de incentivar e incrementar la producción y demanda de este producto agrícola que está siendo subutilizado.

Por consiguiente, en la presente investigación se busca identificar, analizar y evaluar las propiedades fisicoquímicas, proximales, tecno-funcionales y estructurales de cuatro variedades de batata (*Ipomea batatas Lam*) cultivadas en tres localidades de la Región Caribe, para definir su aplicación agroindustrial, y que a partir de ello se pueda promover su siembra como opción agrícola real, para fortalecer el concepto y la aplicación de un modelo sostenible de desarrollo agroindustrial del cultivo de batata, en el cual se le dé prioridad a la recuperación de este tubérculo como recurso genético, para la generación de alternativas viables y provechosas de la industria alimentaria y no alimentaria.

1. OBJETIVOS

1.1. General

Evaluar las propiedades de cuatro variedades de batata cultivadas en los departamentos de Bolívar, Sucre y Córdoba, Colombia; para la determinación de su potencial agroindustrial.

1.2. Específicos

- Caracterizar las propiedades proximales y los rendimientos de materia seca, proteína y almidón de las cuatro variedades de batata

- Determinar la propiedad fisicoquímica (Sólidos solubles) de cada variedad de batata

- Caracterizar el comportamiento tecno-funcional y estructural de las harinas y de los almidones de batata.

- Definir el uso potencial de las diferentes variedades de batatas a nivel agroindustrial a partir de las propiedades evaluadas

2. MARCO DE ANTECEDENTES Y TEORICO

2.1. Marco de antecedentes

La batata (*Ipomoea batatas (L) Lam*.) es uno de los más significativos, versátiles e inexplorados cultivos para alimentos en el mundo, en razón a que se adapta perfectamente a las condiciones marginales de suelo y clima, es capaz de producir altos rendimientos sin fertilización y potencialmente, puede utilizarse tanto las raíces tuberosas como el follaje para alimentación humana y animal (Martí, 2008). No obstante, actualmente se desconocen las potencialidades que tiene la batata para ser utilizada a nivel industrial; razón por la cual a través de los años diversos autores han venido desarrollando estudios que permitieron conocer la aplicabilidad de este tubérculo, tales como:

- González *et al*. (1997), utilizaron la harina de raíz de batata (*Ipomoea batatas*) como fuente alternativa de energía en la formulación de dietas para animales, con el propósito de evaluar el efecto de la sustitución de la harina de maíz por la batata en las raciones de alimentos concentrados de pollos. El mejor nivel de reemplazo del maíz por la harina de batata en raciones de pollos de engorde se logró al 25 %.

- Hernández *et al.* (2008) llevaron a cabo un proceso evaluativo acerca de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de almidones de tubérculos, entre ellos el camote (*Ipomea batata*), con lo que concluyeron que el almidón extraído de la batata podría ser incluido en el sistema alimenticio como espesantes, estabilizantes y gelificantes en alimentos refrigerados y congelados.

- Andrade *et al.* (2009) con el fin de general alternativas para la utilización y transformación de la batata (*Ipomoea batatas Lam*) obtuvieron aguardiente a

partir de la hidrolisis del almidón de la batata. Concluyendo con ello que, la batata tiene el potencial para utilizarse como materia prima en la elaboración de aguardiente de buena calidad gracias a su contenido de almidones hidrolizables en azucares fermentables.

- Medina (2013), caracterizó las propiedades funcionales y fisicoquímicas del almidón de batata (*Ipomoea batatas*). Los resultados indicaron que la alta productividad del cultivo (toneladas por hectárea) y el alto contenido y facilidad del proceso de extracción del almidón, convierten la batata en una atractiva materia prima a partir de la cual se pueden obtener los almidones y derivados como las maltodextrinas que demanda la industria alimentaria y farmacéutica.

2.2. Marco teórico-conceptual

2.2.1. Generalidades de la batata

2.2.1.1. Clasificación taxonómica

Nombre científico o latino: *Ipomoea batata = Convolvulus batatas*
Reino: Viridiplantae
Subreino: Embryophyta
División: Magnoliophyta
Subdivisión: Angiospermae
Clase: Magnoliopsida
Subclase: Asteridae
Orden: Solanales
Familia: Convolvulaceae
Género: Ipomoea (Yañez & Orlando, 2002)

2.2.2. Origen de la batata

La batata (*Ipomoea batatas (L) Lam*) es una de las raíces tuberosas "de más antigua domesticación, cultivo y consumo en América, continente de cuyas regiones tropicales es originaria la planta" (Martí *et al.,* 2011, p.2). "Presenta su mayor diversidad genética en Colombia, Ecuador y norte del Perú, reconocidos como centros primarios. Otros centros secundarios de diversidad genética están ubicados en México, Guatemala y sur del Perú" (Tique *et al.*, 2009, p.11).

La batata como especie fue domesticada y cultivada antes del descubrimiento de América; fue llevada a Europa de donde se dispersó rápidamente como cultivo a "zonas tropicales y subtropicales" (Mendoza *et al.*, 1987, p.201).

2.2.3. Variabilidad genética de la batata

La batata es una planta que comprende unas 500 especies aproximadamente (Austin, 1987). Es de tipo herbáceo, perenne en condiciones silvestres. Sus raíces son abundantes y ramificadas, producen raíces reservantes, de formas y colores diferentes de acuerdo con la variedad.

En lo referente a las condiciones agroecológicas, la batata como especie cultivada y silvestre ofrece una amplia variabilidad genética por ser un hexaploide (2n=6x=90) es muy grande su segregación a partir de progenies obtenidas por la vía de la obtención de semillas botánicas (Flórez *et al.,* 2016).

2.2.4. Propiedades nutricionales de la batata

A nivel mundial existe una tendencia creciente de alimentos saludables o "funcionales". Como se observa en la Tabla 1 la batata se posiciona favorablemente como uno de ellos por su alto contenido de fibra dietética, minerales, proteínas, vitaminas y compuestos antioxidantes como ácidos fenólicos, antocianinas, tocoferoles y B-carotenos, que varían dependiendo de los diferentes tipos y cultivares (Lago, 2011; Techeira *et al.,* 2014). Sus raíces tienen un contenido de carbohidratos

totales de 25-30%, de los cuales el 98% es considerado fácilmente digestible (Cosumano & Zamudio, 2013; Hernández *et al.*, 2016).

Tabla 1. Composición química y valor energético de la batata. Valores por 100g.

Componente	**Contenido**
Energía (kcal)	115,00
Agua (g)	70,50
Ceniza (g)	3,39
Hidrato de carbono (g)	24,10
Fibra (g)	3,14
Proteínas (g)	2,34
Grasa (g)	0,12
Sólido soluble (°Brix)	11,66
Provitamina A(µg)	655,0
Ácido fólico(µg)	17,00
Tiamina(mg)	0,17
Ácido ascórbico(mg)	25,00
Carotenoides(µg)	3930,00
Almidón b.h (g)	38,6
Amilosa b.s (g)	23,6
Amilopectina b.s (g)	63,00

Fuente: Lago (2011); Techeira *et al.* (2014); Hernández *et al.* (2016)

2.2.5. Usos de la batata

"El cultivo de la batata es muy importante a nivel mundial, por las grandes posibilidades que tiene como alimento humano, animal y de procesos industriales" (Scott *et al.*, 1992; Dini *et al.*, 2009). En alimentación animal son muchas las aplicaciones, ya que el cultivo es altamente rendidor, se puede aprovechar integralmente, tanto por el consumo de su follaje que se emplea usualmente como

forraje verde, la raíz sirviendo de alimento directo y sustituto o complemento en la elaboración de mezclas de concentrados (Burga, 1987; Pérez *et al.*, 2004; Tique *et al.*, 2009).

Industrialmente, la raíz de la batata se ha integrado en la industria alimenticia para producción de almidón, harina y una variedad de productos procesados como dulces, productos de pastelería, industria de embutidos, etc. (Roquel, 2008); igualmente se ha probado en la obtención de colorantes naturales, y últimamente, con el auge de los agrocombustibles, en la obtención de alcohol como el aguardiente, para su procesamiento industrial (Andrade *et al.*, 2009; Guigou, 2011).

2.2.6. Almidón de batata

> El almidón es el polisacárido de reserva, depositado en agregados semicristalinos insolubles en agua fría llamados gránulos, que representa la principal fuente de energía para el hombre. Los gránulos de almidón se encuentran en la naturaleza organizados en partículas muy pequeñas cuya morfología, composición química, estructura molecular (arreglo relativo de las macromoléculas en el estado sólido), susceptibilidad al ataque enzimático y reacción química, son características especiales de cada especie (Rivas, 2012, p.21).

Generalmente, en su forma nativa el almidón contiene alrededor del 20% de amilosa la cual es soluble en agua, y el 80 % en amilopectina, insoluble en agua. Su proporción varía de un tipo a otro, según la fuente vegetal de la que es extraída (Aristizábal *et al.*, 2007). Como se observa en la tabla 2, el almidón de batata, esta compuesto químicamente en su mayor parte por amilopectina, con porcentajes alrededor de 61,02-76,82% y entre 20-36,98% de amilosa (Lai *et al.*, 2015). “Con bajos contenidos de proteina, fibra, ceniza y grasa y un porcentaje de humedad que se establece dentro del rango aceptado para almidones de tubérculos” (Hernández *et al.*, 2008).

Tabla 2. Composición química del almidón de batata en base seca.

Componentes (%)	Almidón de batata
Humedad	9,83
Proteina	0,22
Grasa	0,31
Fibra	0,28
Ceniza	0,26
Amilosa	20- 36,98
Amilopectina	61,02-76,82

Fuente: Hernández *et al.* (2008); Lai *et al.* (2015).

2.2.7. Aplicaciones del almidón de batata

Generalmente, los gránulos del almidón se cocinan en mucha agua y se utilizan como fluidos calientes o fríos o como geles, tanto en la industria textil como en la del papel y alimentos (Mondragón, 2004), principalmente para la elaboración de productos como salsas, aderezos, sopas instantáneas, colados, pudines, dulces, gomas, alimentos de destete y otros alimentos líquidos (Techeira, 2008), debido a sus propiedades funcionales como viscosidad, temperatura de gelatinización y estabilidad en procesos de calentamiento y enfriamiento (breakdown y setback).

Por otro lado, la batata se ha presentado como una opción en la producción de almidón para la industria no alimentaria donde se utiliza como adhesivo para encuadernación y cabezas de fósforos, recubrimiento de papeles, aglutinante para tabique de concreto y núcleos de fundición, telas, cremas faciales y películas de plástico biodegradables (Hernández & Vergara, 2008). La extracción de almidón de batata puede agregar valor a las raíces frescas, al existir alta demanda y el precio de mercado del almidón sobrepasa el costo de materia prima y los costos de procesamiento. Este almidón se procesa mayormente en tallarines, que tiene mercado en algunos países como China (Van de Fliert & Braun, 2001).

2.2.8. Perfil viscoamilográfico de las pastas de harina y almidón de batata

El rompimiento de la estructura de los gránulos de harina y almidón por calentamiento en agua se resume en tres etapas, como se observa en la Figura 1. En primera instancia se efectúa una absorción del agua de manera lenta y reversible produciendo al mismo tiempo un ligero hinchamiento de los gránulos, la viscosidad de la suspensión no manifiesta un notorio aumento, por tanto, su apariencia y birrefringencia se mantiene. En la segunda etapa, se produce el hinchamiento notorio del gránulo, lo que incrementa rápidamente la viscosidad de la suspensión; alterando y variando el aspecto interno de éste y perdiendo su estructura y birrefringencia. Este proceso es irreversible y se presenta al alcanzar la temperatura crítica, la cual depende de la humedad existente, y que se define como temperatura de transición vítrea o temperatura de gelatinización, siendo esta una característica de cada harina y almidón. "Cuando logra esta temperatura, se presenta un fenómeno endotérmico denominado gelatinización, porque las moléculas de almidón al encontrarse completamente hidratadas comienzan a expandirse" (Freitas *et al.,* 2004). La tercera etapa de hinchamiento, sucede en el momento que los gránulos se transforman en sacos deformados. Con relación al incremento en la capacidad de absorción de agua, aumento de tamaño y volumen que experimentan los gránulos, estos van acompañados de un aumento en la viscosidad hasta alcanzar un valor máximo conocido como pico de viscosidad, en este proceso, los gránulos de almidón se rompen, provocando la lixiviación de las fracciones de amilosa y amilopectina, pero principalmente de las moléculas de amilosa, "generándose así una mezcla de gránulos hinchados ricos en amilopectina, gránulos fundidos hidratados y moléculas de amilosa disueltas" (Karim *et al.*, 2008, p.46).

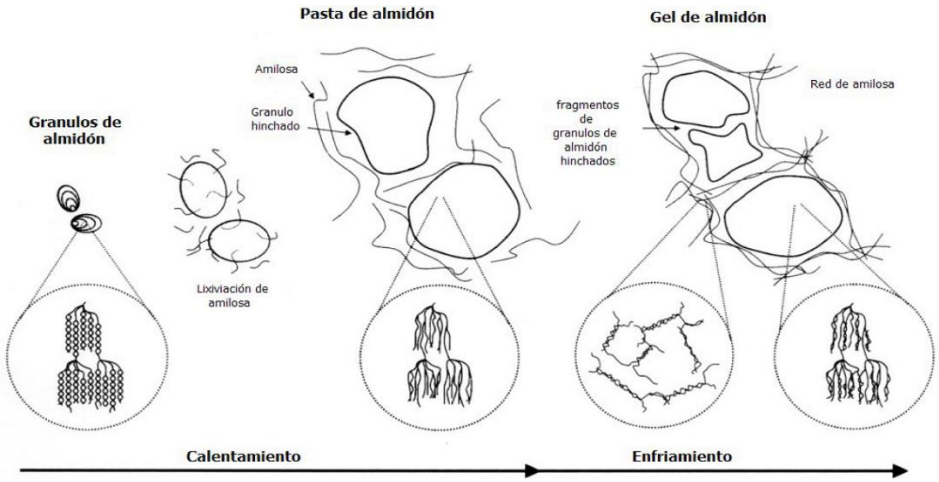


Figura 1. Representación esquemática de los cambios estructurales del gránulo de almidón durante el proceso de gelatinización.

Fuente: Srichuwong & Jane (2007).

Según Tester & Debon (2000), los gránulos de almidones y harinas cuando son sometidos a periodos de enfriamiento y calentamiento se exponen a cambios en su viscosidad, conforme aumenta o disminuye la temperatura, como se ilustra en la Figura 2. Durante esta fase de calentamiento se registra un acrecentamiento en la viscosidad conforme los gránulos empiezan a hincharse en ese punto, los polímeros de bajo peso molecular, (particularmente las moléculas de amilosa en el almidón) empiezan a lixiviar de los gránulos. La viscosidad pico es obtenida durante la formación de las pastas cuando hay una mayoría de gránulos hinchados intactos y cuando aún no ocurre la alineación de los polímeros solubilizados dentro del campo de corte del instrumento, que para harinas y almidones de batata corresponde a 1800 y 2700 cP respectivamente como se presenta en la Tabla 3. Durante la etapa de retención (90 - 95°C) los gránulos empiezan a romperse, continúa la solubilización de los polímeros y se presenta el alineamiento molecular. En este punto, se registra una caída en la viscosidad. Durante la fase de enfriamiento, la amilosa y la amilopectina solubilizadas empiezan a reasociarse, registrándose otro aumento en viscosidad. En general, aquellos almidones que pueden gelatinizarse y formar pastas con rapidez en el viscoamilógrafo, entre más amilosa contengan más dramático

presentan su aumento en viscosidad. “Dicho proceso en el que el almidón gelatinizado revierte o se retrograda a una estructura más cristalina en el enfriamiento, se conoce como retrogradación. En el enfriamiento, se forman puentes cruzados de hidrógeno intermitentes entre la amilosa y se reasocian a intervalos al azar de la amilosa formando un gel” (Mondragón, 2004, p.123).

Tabla 3. Propiedades de pastificación de harina y almidón de batata.

Parámetro	**Harina de batata**	**Almidón de batata**
Temperatura de gelatinización(°C)	70,6	70,16
Viscosidad máxima(cP)	1831	2703,3
Estabilidad (Breakdown)(cP)	829	1048,88
Retrogradación (Setback)(cP)	563	158,2

Fuente: Julianti *et al.* (2015); Salcedo *et al.* (2016)

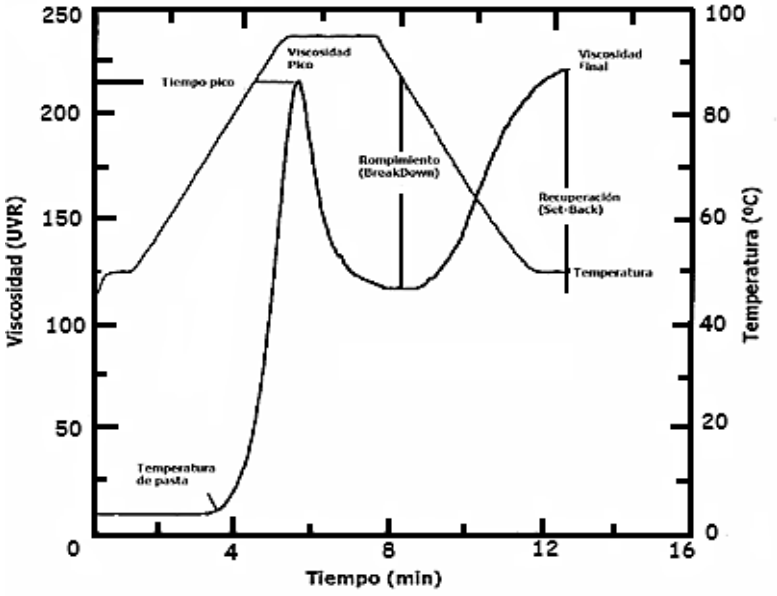


Figura 2. Perfil de viscosidad de harinas y almidones.

Fuente: Espinosa (2008).

2.2.9. Análisis de infrarrojo de harina y almidón de batata

La espectroscopia de infrarrojo es una técnica que permite conocer la presencia de grupos funcionales en la estructura del gránulo (Adebajo & Frost, 2004). “El principio básico detrás de la espectrometría molecular es que las moléculas absorben energía de la luz en longitudes de ondas específicas, conocidas como sus frecuencias de resonancia (vibración)” (Páez, 2014).

En la Figura 3 se observa el comportamiento característico de las moléculas de almidón, que presenta intervalos entre 3385 y 3423 cm^{-1} los grupos OH (Xu *et al.*, 2004; Ruiz, 2006), a los enlaces CH alrededor de los 2928 cm^{-1} (Tapia et al., 2010) y entre 1639 y 1645 cm^{-1} indican agua estrechamente ligada (H_2O) en las moléculas del almidón; cuando se les mide la irradiación espectral en un espectrorradiómetro FTIR;

> las moléculas del almidón muestran absorción de energía en la región del infrarrojo cuando tiene un momento dipolar el cual puede cambiar al momento de vibrar y la energía que absorbe depende de la energía de sus enlaces. La energía absorbida por las moléculas se traduce en movimientos, que dan lugar a modos de vibración o rotación característicos para cada tipo de enlace, por lo que puede aprovecharse este hecho para obtener información de las estructuras en una muestra. Mediante la transformada de Fourier, puede hacerse un intercambio entre el dominio de la frecuencia y el de las distancias; utilizando un interferómetro puede obtenerse un espectro que dé información sobre las energías absorbidas (y por lo tanto a que longitud de onda se presentan estas) por las moléculas, obteniendo información sobre los modos de vibración de las estructuras (Stuart, 2004)

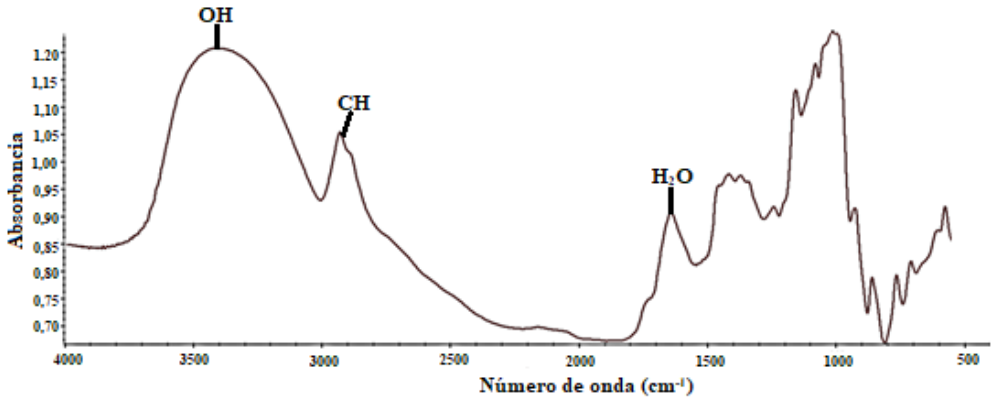


Figura 3. Espectro FTIR y estructuras químicas características de almidones y harinas de batata.

Fuente: Elaboración propia. (Arrieta & Jiménez, 2017)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales:

3.1.1. Batata

Se adquirieron las batatas *(Ipomea batatas Lam)* de tres localidades de la Costa Caribe (véase Tabla 4) suministradas por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), el cual posee un banco de germoplasma de batata, donde se seleccionaron las variedades que se muestra en la Tabla 5; siendo la variedad "criolla" un testigo, debido a que se considera un cultivar nativo ampliamente sembrado en la Costa Caribe Colombiana. Las batatas se obtuvieron del mismo proveedor para reducir la variabilidad estadística (Figura 4).

Tabla 4. Características de las zonas agroecológicas de evaluación.

Cód. Zona agroecológica	Relieve	Clima	Municipio	Información adicional
WR17	Planicie	Cálido seco	Corozal	Departamento de Sucre, Las Tinas, Lote Sr José Gregorio Pérez Barbosa, 9°17'34.38"N, 75°20'9.00"W
VR18-19	Planicie	Cálido húmedo	Cereté	Departamento de Córdoba. Lote experimental CORPOICA - C.I. Turipana (km 13 Vía Montería-Cereté), N 8° 50' 27.47",W 75° 48' 27.56´´
WM49,WP22	Montaña y pie de Monte	Cálido seco	Carmen de Bolívar	Departamento de Bolívar. Lote experimental CORPOICA –Sede Carmen de Bolívar, N9° 42' 50.8'', W75° 06' 26.9''

Fuente: Suministrado por CORPOICA.

Tabla 5. Características de las variedades de batata evaluadas.

N°	Código y/o Nombre	Procedencia	Código Colecta	Color pulpa
1	CHINU	BG-CORPOICA	0113-656-COR	Morado
2	440224	BG-CORPOICA	0113-660-VAL	Blanco
3	199064-1	BG-CORPOICA	0113-664-VAL	Blanco
4	CRIOLLA	Material nativo	0113-667-COR	Blanco

Fuente: Suministrado por CORPOICA.

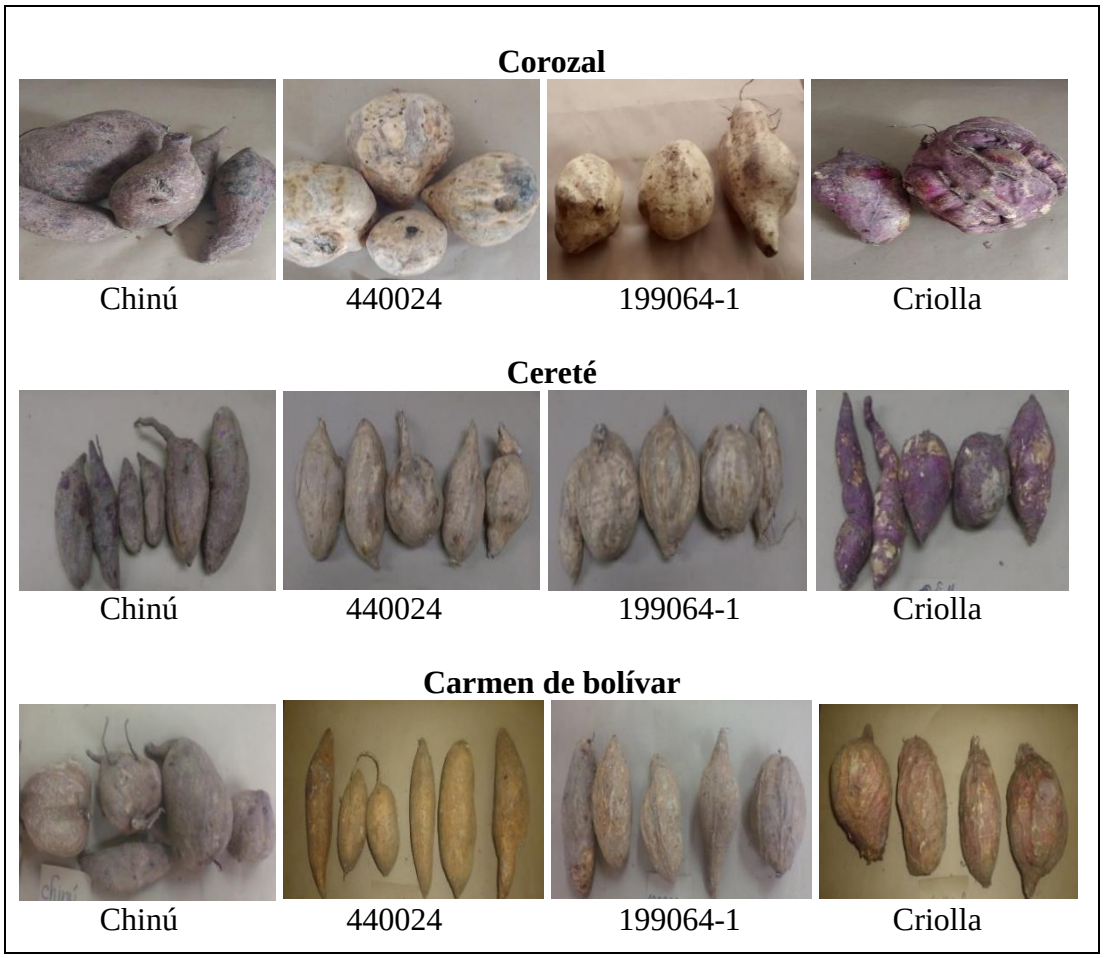


Figura 4. Variedades de batatas evaluadas en diferentes localidades del Caribe.

Fuente: Suministrado por CORPOICA.

3.2. Metodología

3.2.1. Extracción de las muestras de batata.

Para evaluar las propiedades en estudio se procedió con operaciones de lavado, desinfección, pesaje de la batata, troceado en rodajas, deshidratación a 60 ºC en un horno de convección forzada (modelo TH53, PJTECH), y finalmente un proceso de molienda hasta conseguir una textura harinosa.

3.2.2. Caracterización proximal de las harinas de batatas.

3.2.2.1. Materia seca

Se utilizó el método de la AOAC 934.01 (2005). (ICONTEC, 2002).

$$\% \boldsymbol{CMS} = \frac{\boldsymbol{PESO\ FINAL}}{\boldsymbol{PESO\ INICIAL}} \boldsymbol{x\ 100} \qquad \textbf{(Ec 1)}$$

3.2.2.2. Humedad de la batata

Se aplicó el método AOAC 23.003 (2003).

3.2.2.3. Fibra

Se estableció de acuerdo con el método de digestión acido-básica (Van Soest *et al.*, 1991; AOAC, 2016)

3.2.2.4. Cenizas

Se determinó por el método 942.05 de la AOAC (2000).

3.2.2.5. Proteína

Se recurrió al método de kjeldahl de acuerdo a AOAC 954.01 (2004), utilizando un digestor B-144 y la unidad de destilación K-335 (Buchi, Labortechnik AG, Deutschland).

$$\% \boldsymbol{Nitrogeno} = \frac{(V\ muestra - V\ blancoo)\ N\ (0{,}014)}{Peso\ de\ muestra} \times 100 \quad \textbf{(Ec 2)}$$

$$\% \boldsymbol{Proteina\ calculada} = \% Nitrogeno \times Factor\ de\ proteina \quad \textbf{(Ec 3)}$$

3.2.2.6. Contenido de almidón

Se determinó por hidrólisis enzimática a 42 mL de una solución tampón de fosfato (0.2M de fosfato de sodio monobásico y fosfato de sodio dibásico 0.2M) y 200 µL de enzima alfa-amilasa derivada de Bacillus licheniformis (Licquozyme® Supra 2.2X, Novozymes, 300KNU / g) (Novozymes, 2008), se añadieron a 200 mg de muestra. Luego, la mezcla se colocó en un baño de agua a 80-90 °C durante 25 min a una agitación constante (200 rpm). Después de este primer tratamiento, 500µL de la enzima amiloglucosidasa derivada de Aspergillus niger (Dextrozyme® GA, Novozymes, 270 AGU / g) se añadieron a 55 °C; la reacción se llevó a cabo bajo agitación constante durante 120 minutos. La muestra hidrolizada se enfrió a temperatura ambiente. La solución se graduó hasta 125 ml con agua destilada. Los azúcares reductores se determinaron por el método DNS (Miller, 1959; AOAC, 2004, y ISO, 2015). El contenido de almidón se determinó empleando las siguientes ecuaciones, utilizando como base la concentración inicial de azúcares reductores (CAR):

$$\boldsymbol{CAR} = \frac{\boldsymbol{ABS+B}}{\boldsymbol{A}} \quad \textbf{(Ec 6)}$$

$$\% \textbf{Almidón b.h.} = \frac{\textbf{CAR}*\textbf{0,125}*\textbf{0,9}*\textbf{100}}{\textbf{Peso de la muestra}} \quad \textbf{(Ec 7)}$$

$$\%\textbf{Almidón b.s.} = \frac{\textbf{Almidón b.h.}(\%)*\textbf{100}}{\textbf{100}-\textbf{Humedad almidón}\ (\%)} \quad \textbf{(Ec 8)}$$

Dónde: **ABS:** absorbancia de la muestra

0,125: Factor de dilución en litros.

A: primera constante de la correlación lineal.

B: segunda constante de la correlación lineal.

0,9: Factor de conversión de porcentaje de glucosa a porcentaje de almidón.

3.2.3. Rendimientos de las variedades de batata evaluadas en las diferentes localidades.

Se determinaron los rendimientos de materia seca, proteína y contenido de almidón a partir de los rendimientos suministrados por CORPOICA (Tabla 7) y los valores de materia seca, proteína y almidón obtenidos experimentalmente (Tabla 6).

3.2.4. Caracterización fisicoquímica de las harinas de batatas.

3.2.4.1. Sólidos solubles (°Brix)

Se halló por el método 932.12 AOAC (2002). Con refractómetro manual por triplicado (Rangel *et al*., 2017).

3.2.5. Caracterización tecno-funcional de las harinas de batatas.

3.2.5.1.Capacidad de absorción de agua (CAA)

En un tubo de centrifuga previamente pesado, se depositó 1 g de muestra y 10 ml de agua destilada, se sometió agitación con suavidad para homogenizar la mezcla, después la suspensión se centrifugó a 3500 rpm durante 15 minutos. El líquido sobrenadante se decantó y el tubo con el precipitado se drenó por 10 minutos para luego ser pesado. La ganancia en masa, es la capacidad de absorción de agua de la muestra (AACC, 2012).

$$\mathbf{CAA}\ (\%) = \left[\frac{\mathbf{Masa\ de\ agua\ retenida\ (g)}}{\mathbf{Masa\ de\ la\ muestra\ (g)}}\right] * \mathbf{100} \qquad \textbf{(Ec 9)}$$

3.2.5.1.Propiedades de la pasta

Se evaluaron suspensiones de harina 4% (w/v) en un reómetro (Anton Parr, MCR 302, Austria) usando el método descrito por Rivas (2012) y por Nasrin & Anal (2014).

Inicialmente, las suspensiones fueron sometidas a una temperatura de 50 ºC por 1 min; seguidamente se aumentó la temperatura a 95 ºC en 7.5 min, manteniéndose a 95ºC durante 5 min, posteriormente se enfrió hasta 50 ºC en 7,5 min y finalmente se mantuvo a 50 ºC por 2 min. La velocidad del cabezal (Anton Paar, ST24-2D / 2V, Austria) se ajustó a 960 rpm durante los primeros 20 s con el fin de homogeneizar las suspensiones y se disminuyó a 160 rpm durante el resto del experimento. Los resultados obtenidos a partir de los experimentos se procesaron con RheoCompass software, la versión 1.17 (Anton Paar, Austria).

Los parámetros evaluados fueron pico de viscosidad, temperatura de gelatinización, viscosidad mínima, viscosidad final, breakdown y setback

3.2.6. Caracterización estructural de las harinas de batatas.

3.2.6.1. Espectroscopia de infrarrojo (FTIR)

Los espectros fueron obtenidos con espectrofotómetro (Thermo scientific, IS50, USA) en un rango de 500–4000 cm^{-1}, las muestras fueron mezcladas con sales de KBr a razón de 1:5 respectivamente, las lecturas fueron tomadas a una resolución de 4 cm^{-1} (Colussi *et al*., 2015)

3.2.7. Extracción del almidón de batata

Las actividades para el proceso de extracción del almidón de batata son lavado, pelado, rallado, tamizado, sedimentado y secado, se realizó en forma manual utilizando agua según la metodología descrita por Acuña (2012).

3.2.8. Caracterización proximal del almidón de batata.

3.2.8.1. Humedad

Se utilizó el método AACC 44-15A (2000).

3.2.9. Caracterización tecno-funcional del almidón de batata.

3.2.9.1. CAA

Para evaluar la capacidad de absorción de agua de las muestras de almidón se empleó el método AACC (2012), anteriormente mencionado.

3.2.9.2. Propiedades de la pasta

Se evaluaron suspensiones de almidón 4% (w/v) en un reómetro (Anton Parr, MCR 302, Austria) usando el método descrito por Rivas (2012) y por Nasrin & Anal (2014).

3.2.10. Caracterización estructural del almidón de batata.

3.2.10.1. Contenido de amilosa

El contenido de amilosa fue determinado por el método estandarizado colorimétrico de yodo, propuesto por Chen *et al.* (2003) con una leve modificación usando 100 mg de almidón, para la calibración de la curva se utilizó amilosa de papa Sigma Aldrich (St Louis, MI, USA), las lecturas fueron realizadas en Espectrofotómetro UV- visible (Thermo Scientific Evolution 60 S, USA) a 620 nm (Morrison & Laignelet, 1983; y Hernández *et al*., 2008)

3.2.10.2. Espectroscopia de infrarrojo (FTIR)

Los espectros fueron obtenidos según el método N° 326 con un espectrofotometro de infrarrojo (Thermo scientific, IS50, USA) (Colussi *et al*., 2015)

3.2.11. Diseño experimental.

Se empleó un diseño categórico multifactorial estableciendo dos factores: el factor A que representa la localidad con los siguientes niveles (L1=Corozal, L2=Cerete, L3=El Carmen de Bolívar), y el factor B las variedades de batata con los siguientes niveles (V1= Chinú, V2= 440224, V3= 199064-1 y V4= Criolla) con las variables dependientes: Batata (Rendimientos, materia seca, humedad, fibra, ceniza, proteína, contenido de almidón, sólidos solubles, capacidad de absorción de agua, pico de viscosidad, temperatura de gelatinización, breakdown, setback y FTIR) y almidón de

batata (CAA, pico de viscosidad, temperatura de gelatinización, breakdown, setback viscoamilograma, amilosa y FTIR).

Los datos obtenidos para su respetivo análisis con el paquete estadístico Statgraphics (versión prueba) mediante un análisis de varianza con un nivel de significancia del 5% y para la comparación de medias se utilizaron la prueba de Tukey para corroborar las diferencias entre tratamientos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Variedades: Se detallaron para esta investigación cuatro (4) variedades: variedad Chinú, variedad 440224, variedad 199064-1 y variedad criolla material nativo que fue tomado como testigo (Figura 5).

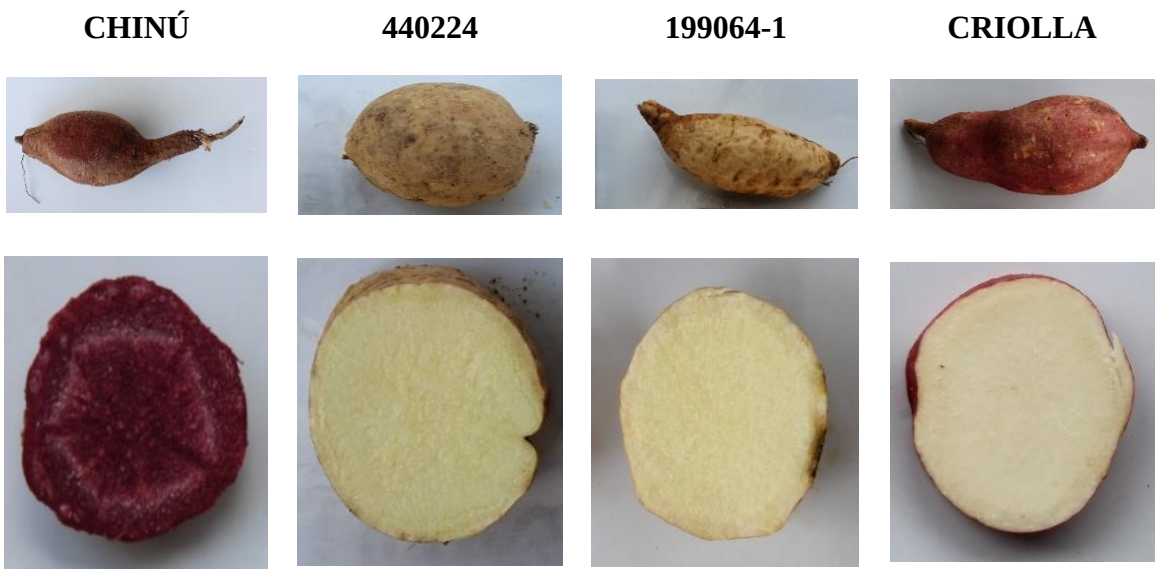


Figura 5. Características de las variedades de batata evaluadas.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

Los genotipos fueron seleccionados por su alta adaptación a las condiciones del Caribe, así como también por sus características potenciales apuntando principalmente al mercado, siguiendo los requerimientos de los consumidores. Por otra parte, los genotipos 199064-1 y Criolla presentan características apropiadas para el consumo local, especialmente en lo relacionado con el color rosado de la piel, adecuada forma y pulpa blanca, el genotipo 440224 presentan color de piel crema y pulpa entre blanca y crema, siendo adecuados para la producción de harina y finalmente, el genotipo Chinú presenta color purpura, el cual está asociado a un alto contenido de antocianinas y está relacionado con el incremento de la calidad nutricional de un producto (Vizzotto *et al.*, 2017).

4.1. Caracterización de las variedades de batata evaluadas en las diferentes localidades.

4.1.1. Caracterización proximal de las harinas de batatas evaluadas.

Tabla 6. Contenido de Materia seca (MS), Humedad, Fibra, Ceniza, Proteína y Almidón de las harinas batatas.

Parámetro (%)	***Variedad***	***Localidad***		
		Corozal	**Cerete**	**Carmen de Bolívar**
Materia seca (MS)	Chinú	44,80±4,68^{Aa}	37,62±23,22^{Ba}	36,40±0,42^{Ba}
	440224	40,58±3,17^{Aa}	34,60±1,20^{Aa}	39,25±3,09^{Aa}
	199064-1	39,48±5,88^{Aa}	32,03±3,10^{Ba}	38,58±1,10^{Aba}
	Criolla	39,74±4,09^{Aa}	39,46±3,83^{Aa}	41,34±2,02^{Aa}
Humedad	Chinú	55,20±4,68^{Ba}	62,38±4,06^{Aa}	63,60±3,10^{Aa}
	440224	59,42±3,17^{Aa}	65,40±3,22^{Aa}	60,75±0,42^{Aa}
	199064-1	60,52±5,88^{Aa}	67,97±3,83^{Aa}	61,42±1,10^{Aa}
	Criolla	60,26±4,10^{Ba}	60,54±1,21^{Aa}	58,66±3,10^{Aba}
Fibra	Chinú	5,88±0,32^{Aa}	3,43±0,54^{Ba}	6,12±0,22^{Aa}
	440224	4,32±0,37^{Aa}	3,08±0,64^{Aa}	3,76±1,63^{Ab}
	199064-1	3,83±0,28^{Aa}	4,61±0,24^{Aa}	3,76±1,19^{Ab}
	Criolla	4,38±0,48^{Aa}	4,40±0,19^{Aa}	5,37±0,38^{Aab}
Ceniza	Chinú	2,85±0,45^{Ba}	3,39±0,02^{ABb}	3,88±0,32^{Aa}
	440224	2,70±0,05^{Ba}	4,38±0,15^{Aa}	3,79±0,29^{Aa}
	199064-1	2,94±0,23^{Ba}	3,88±0,71^{Aab}	3,94±0,29^{Aa}
	Criolla	2,65±0,13^{Ba}	3,41±0,71^{Ab}	3,38±0,33^{Aa}
Proteína	Chinú	8,46±0,86^{Aa}	5,87±2,55^{Aa}	8,18±0,54^{Aa}
	440224	6,32±0,03^{Aab}	5,50±1,50^{Aa}	8,18±1,64^{Aa}
	199064-1	4,73±1,14^{Bb}	5,25±1,99^{Aba}	7,95±1,70^{Aa}
	Criolla	7,48±0,53^{Aab}	4,24±1,57^{Ba}	5,73±0,64^{Aba}
Almidón base húmeda	Chinú	33,31±3,39^{Aa}	23,78±3,20^{Ba}	22,94±1,58^{Bb}
	440224	30,38±2,10^{Aa}	25,12±2,42^{Ba}	29,15±0,25^{Abab}
	199064-1	29,18±0,448^{Aa}	25,41±0,14^{Ba}	28,59±0,63^{Aba}
	Criolla	29,32±3,08^{Aa}	26,20±0,52^{Aa}	27,46±2,21^{Aab}

Medias con letras minúsculas diferentes en columnas y con letras mayúsculas diferentes en filas indican diferencia estadísticamente significativa con forme a la prueba de Tukey ($p<0,05$) respecto a la localidad y variedad respectivamente.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

El porcentaje de materia seca (MS) y de humedad que se muestra en la Tabla 6, no fueron influenciados significativamente por los genotipos de batata y variaron solamente con las localidades ($p<0,05$) (Anexo 1 y 2). El efecto del ambiente sobre la acumulación de materia seca fue evidente; las condiciones de la localidad de Corozal promovieron la mayor acumulación de MS (en promedio de 41,15%) para todas las variedades, seguido por el Carmen de Bolívar (38,4%); mientras que para la localidad de Cerete se obtuvieron los menores valores de MS, alrededor de 35,43%, este comportamiento se atribuye a que el contenido de materia seca puede verse condicionado por el sistema de producción agrícola seleccionado (composición nutricional y características de los suelo), la adaptabilidad de las batatas a las condiciones agro y edafo-climáticas de la zona donde se cultivaron, las prácticas de manejo agronómico (Pérez y Pacheco, 2005; Montes *et al.,* 2010; Zaccari *et al.,* 2012; Castillo *et al.,* 2014), la temperatura y las condiciones de humedad del clima y suelo de cultivo (Ngailo *et al.,* 2013; Kathabwalika *et al.,* 2016)

Los valores obtenidos de materia seca de las batatas coincidieron con los expuestos por Neto *et al.* (2012) que reportó un rango de 38,6-45,1% en diferentes variedades de batatas y con Rodríguez (2008) con un valor aproximadamente de 40%, sin embargo, fueron superiores a los reportados por Techeira *et al.* (2014) correspondiente a 28,39% y con las variedades de batatas comerciales Convington y Beauregard, 20 y 18.7%, respectivamente (Yencho *et al.,* 2008), a su vez las batatas en estudio presentaron mayor contenido de MS que la reportada por Vargas & Hernández (2012) para otras raíces tuberosas como la yuca, ñame y la papa, que registraron un valor que oscila alrededor de 30%.

La materia seca es un parámetro de calidad y de rendimiento, que permite conocer la productividad de cada una de las variedades de batata evaluadas; entre mayor sea el porcentaje de MS de un tubérculo, mayor es su productividad, puesto que esta propiedad representa la acumulación de proteínas, fibras, cenizas, carbohidratos y demás sólidos presentes en el tubérculo; además es un indicativo de la textura harinosa en batata cocida o frita, una de las características más deseables por los consumidores (Kathabwalika *et al.,* 2013). Por lo cual, en procesos de selección de cultivares se busca aquellas especies con un alto contenido de MS (superior a 25%) (Lebot, 2009; Brabet *et al.,* 2013), que para la agroindustria representa un índice adecuado en la elaboración de harinas, almidón, chips,

frituras, bebidas alcohólicas, productos de panadería, entre otros, siendo por esto utilizado para establecer el momento oportuno de cosecha en raíces y tubérculos (Seidu *et al.,* 2012; Vázquez *et al*., 2013; Durán y Rojas, 2013; Waluyo *et al.,* 2015). Además, un alto contenido de materia seca en las batatas es necesario para obtener un buen color en los productos sometidos a procesos de cocción (López *et al.,* 2009), de igual forma a partir del contenido de materia seca se puede conocer el rendimiento en el uso de energía de origen vegetal (leña, biocombustibles, biomasa, etc) (González *et al.,* 2015).

Los resultados en cuanto al contenido de fibra mostrados en la Tabla 6, evidencian que las localidades evaluadas no condicionaron significativamente el porcentaje de fibra; solamente las variedades de batata presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$) (Anexo 3). El genotipo Chinú registró un contenido de fibra superior (aproximadamente 5,14%), seguido por el testigo Criolla, mientras que la variedad 440224 arrojó los menores porcentajes (3,72%). Esto coincide con Canene-Adams *et al.* (2005), quienes demuestran que algunos factores como el efecto del ciclo de cultivo, la maduración (temprana y tardía) y los efectos de las modificaciones genéticas, varían el contenido de fibra de los alimentos vegetales, en este sentido, la variedad Chinú al ser modificada logró la acumulación de un mayor contenido en fibra, característica que naturalmente no ocurrió en el testigo Criolla, y que además no se logró para las otras dos variedades que sufrieron modificaciones. No obstante, los valores obtenidos para los diferentes genotipos evaluados son consistentes con los reportados en estudios previos, donde el porcentaje de fibra oscila desde 2,5% hasta 13,6% en base seca (Moreiras *et al.,* 2013; Senanayake *et al.,* 2013). Además, las variedades evaluadas presentaron valores comparables con una de las variedades comercialmente más difundidas Beauregard con un valor promedio de 4,7% de fibra (Gichuhi *et al.,* 2014). Estos resultados evidencian el potencial de la batata y su uso en la formulación de alimentos, por el reconocido beneficio que aportan las fibras a la salud (Molina y Martin, 2007; Serrano *et al.,* 2011). Estudios previos han demostrado que tanto la fibra soluble como la insoluble, poseen un efecto beneficioso en la salud; lo cual postula a la batata como un excelente insumo para la producción de alimentos nutritivos bien sea para consumo fresco o para la elaboración de productos agroindustriales (chips o harinas) (Kunyanga *et al.,* 2012), debido a que la fibra soluble disminuye el colesterol en sangre y la insoluble se ha asociado en la prevención de cáncer de colon y colorectal (Pérez y Pacheco, 2005). Otros estudios también señalan que la

batata posee más fibra digestible que la mayoría de los tubérculos, por lo cual la harina extraída de la raíz se podría implementar para la alimentación humana, ya que esa fibra acelera el recorrido intestinal de los alimentos, controla el nivel de azúcar en la sangre y baja el de colesterol, provocando a su vez una sensación de saciedad (Martí *et al.*, 2011).

El contenido de cenizas de las batatas que se observa en la Tabla 6 presentan diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$) entre las localidades (Anexo 4). Cereté y el Carmen de Bolívar registraron los mayores promedios, con un valor aproximado de 3,75%, mientras la localidad de Corozal con un porcentaje del 2,78% presentó los valores más bajos, posiblemente se deba a las condiciones propias del suelo de cultivo, que pueden incidir directamente sobre la acumulación de cenizas (Pérez y Pacheco, 2005), debido a que cuando existe una mayor disponibilidad de nutrientes, se puede generar mayor absorción por parte de la materia vegetal (Gichuhi *et al*., 2014). A su vez, las variedades evaluadas también arrojaron diferencias significativas (Anexo 4). Las batatas que presentaron el mayor contenido de ceniza fue la variedad 440224 con un valor promedio de 3,62%, mientras que la variedad criolla (material nativo) mostró los menores promedios (3,15%), en este sentido, el proceso de modificación de las variedades de batatas aumentaron significativamente su capacidad para retener los minerales presentes en el suelo de cultivo, permitiéndoles una mejor adaptación a los modelos de siembra, condiciones ambientales como sequía, humedad, salinidad, tipo de suelo y manejo agronómico (Tique *et al*., 2009; Castillo *et al*., 2014). Estos resultados fueron similares a los encontrados por Techeira *et al.* (2014) correspondiente a valores entre 3,33-3,39% para harinas crudas obtenidas a partir de diferentes variedades de batata; y superiores a los expuestos por García *et al.* (2016) con un valor promedio de 1,53% de ceniza para batata de la variedad Topera.

La suma de todos los minerales presente comprende el contenido de ceniza; lo que refleja un buen aporte de minerales como fuente aprovechable para la dieta humana y animal (Hoseney, 1991). Resultados obtenidos por el FONAIAP, en la alimentación de cerdos, determinaron que gracias al contenido de cenizas "es factible reemplazar hasta 50% del sorgo por harina de batata, mejorando los principales parámetros productivos y económicos" (Argenti & Espinosa, 2000).

El porcentaje de proteína de las batatas de las diferentes variedades y localidades que se muestran en la tabla 6, evidencian que existen diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$) entre las localidades (Anexo 5), donde se destaca Carmen de Bolívar, con el mayor contenido de proteína (7,51%), mientras que localidad de Cerete obtuvo los menores valores, aproximadamente 5,22%. Con lo cual se observa que, las condiciones ambientales tienen una alta influencia sobre la acumulación de proteínas, estas diferencias posiblemente se deban a la fluctuación climática, el origen de las raíces (Huang *et al.*, 2007) y el tipo de nutrientes presentes en el suelo donde se realizaron los cultivos, específicamente el nitrógeno, que forma parte de todas las proteínas y aminoácidos (Mirabelli, 2008). Por su parte, pese a que no existieron diferencias significativas entre las variedades, el genotipo Chinú arrojó en promedio el mayor contenido de proteína.

Los porcentajes de proteína obtenidos en esta investigación fueron superiores a los reportados por Yencho *et al.* (2008) con las variedades de batata Convington y Beauregard, con 1,8% y 1,4% de proteína, respectivamente; por Yépez & Estévez (2014) con valores promedios de 2,68, y por García *et al.* (2016) con niveles de proteínas de 4,13%. A su vez, los valores de proteína de las batatas evaluadas resultaron relativamente similar en comparación con el contenido proteico registrado en otra fuente como el ñame (*Dioscorea alata*), que según Huang *et al.* (2007) oscila alrededor de 8,13% y superior a otras raíces tuberosas como la yuca variedad Copiblanca que se ha reportado con un valor de 3,03% de proteína (Castaño *et al.,* 2011). El contenido de proteína de las batatas indica un parámetro nutricional importante debido a la potencialidad de uso en formulaciones de alimentos (Ferreira *et al.*, 2012; González et al., 2015). Las batatas con alto porcentaje de proteína podrían ser consideradas para la sustitución parcial o total de harinas con alto valor proteico (Rincón *et al*., 2000; Bou *et al.*, 2006). Adicionalmente, se ha demostrado que las proteínas extraídas de cultivares de batata blanca poseen propiedades antioxidantes y antidiabéticas, de modo que puede bajar la glucosa en la sangre y aumentar la sensibilidad a la insulina en diabéticos del tipo II (Maloney *et al.,* 2014).

La Tabla 6 presenta el contenido de almidón de las batatas en estudio, donde se evidencia que la interacción de variedades y localidades, influyeron significativamente ($p<0,05$)

(Anexo 6 y 7). La localidad de Corozal con un promedio de 30,55% registró los mayores valores, mientras que Cerete arrojó los valores más bajos (24,7%), lo cual concuerda con estudios previos, donde se estipula que la temperatura y condiciones de humedad del clima y suelo de cultivo varían el contenido de almidón en las raíces tuberosas (Eguchi, 2000). A su vez, en cuanto a las variedades evaluadas se destacó la 440224 con los porcentajes más alto, en promedio de 27,99%, seguida por la 199064-1, mientras que para el genotipo Chinú se obtuvieron los valores más bajos (aproximadamente 26,7%), este comportamiento posiblemente se deba a que los niveles deseables de almidón están relacionados tanto con los efectos de la modificación genética como con la coloración de la pulpa de las diferentes variedades de batata, ya que los genotipos 440224 y 199064-1 de coloración blanca presentaron los porcentajes más altos de almidón, mientras que Chinú con pulpa morada arrojó los menores valores, siendo esto consistente con reportes previos, donde se expone que el contenido de almidón se encuentra asociado a la coloración de la pulpa, que es proporcional al contenido de carotenos presente en los tubérculos, siendo mínimo para las variedades de pulpa blanca (Puerta, 2012), esto coincide con Tomlins *et al.* (2012) que demostraron que el incremento en el contenido de carotenos está relacionado negativamente con la acumulación de almidones.

Los valores obtenidos en cuanto al contenido de almidón coincidieron con los expuestos en estudios previos realizados por Salcedo *et al.* (2016) quienes reportaron un valor promedio de 21,36% para almidones extraídos de diferentes variedades de batata y Lai *et al.* (2015) que obtuvieron un rango de 24,35-46,72% para almidones de 6 cultivares de batata. A su vez, fueron superiores a los registrados por Hernández *et al.* (2016) con un valor que oscila alrededor de 19% para 30 cultivares de batata de las Islas Canarias (España), por Zhang *et al.* (2016) con un promedio de 17% para distintos genotipos de camote y para otras raíces tuberosas como la papa con un valor de 18% (Zárate *et al.*, 2012), yuca con 18,9% (Ruiz & Vásquez, 2001) y ñame con 11,7% (Pérez *et al.*, 2016).

El almidón de batata "es muy utilizado en la industria de alimentos como ingrediente en productos procesados (fideos, sopas, salsas, snacks y pan)" (Lee & Yoo, 2011), razón por la cual, ha sido analizado tanto en sus características físico-químicas como en las propiedades funcionales (Tan *et al.*, 2009; Hernández *et al.*, 2008;). Desde hace algunos años la batata se

ha presentado como una alternativa en la producción de almidón para la industria no alimentaria donde se utiliza como adhesivo para encuadernación, recubrimiento de papeles, aglutinante para tabique de concreto y núcleos de fundición, acabado de telas, cremas faciales y películas de plástico biodegradables (Hernández & Vergara, 2008). La extracción de almidón de batata puede agregar valor a las raíces frescas, al existir alta demanda y el precio de mercado del almidón sobrepasa el costo de materia prima y los costos de procesamiento. Este almidón se procesa mayormente en tallarines, que tiene mercado en algunos países como China y Japón (Van de Fliert & Braun, 2001), donde la batata se utiliza principalmente como materia prima en la fabricación de almidón, a partir del cual se obtiene el bioplastico (Martí *et al.*, 2011), y aquellos productos fermentados, como vino, butanol, ácido láctico, acetona y etanol, el último de los cuales tiene creciente uso como sustituto de combustibles fósiles, todo esto gracias a su contenido de almidones hidrolizables en azucares fermentables (Andrade *et al.*, 2009; Martí *et al.*, 2011), por consiguiente, la alta proporción de almidón de las batatas evaluadas, permite clasificarla como una fuente potencial de importancia comercial.

4.1.2. Rendimientos de las variedades de batata evaluadas en las diferentes localidades.

Tabla 7. Rendimiento de las variedades de batata evaluadas en diferentes localidades del Caribe.

	Variedad	***Localidad***		
		Corozal	**Cerete**	**Carmen de Bolívar**
Rendimiento (T/ha)	Chinú	$4,35\pm0,77^{Cc}$	$12,09\pm2,40^{Ac}$	$7,84\pm1,03^{Bb}$
	440224	$14,27\pm0,57^{Ba}$	$18,76\pm1,01^{Aa}$	$9,75\pm1,72^{Ca}$
	199064-1	$13,67\pm2,47^{Ba}$	$12,05\pm1,44^{Ac}$	$10,6\pm0,79^{Ca}$
	criolla	$10,48\pm0,70^{Bb}$	$14,24\pm2,09^{Ab}$	$7,06\pm0,83^{Cb}$

Medias con letras minúsculas diferentes en columnas y con letras mayúsculas diferentes en filas indican diferencia estadísticamente significativa con forme a la prueba de Tukey ($p<0,05$) respecto a la localidad y variedad respectivamente.

Fuente: Suministrado por CORPOICA.

Los rendimientos de las raíces de batata (Tabla 7), muestra que existen diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$) entre la interacción de variedades y localidades (Anexo 8 y 9), indicando que las batatas cultivadas en la localidad de Cereté obtuvieron un mayor rendimiento, en promedio de 14,29 t/ha, mientras que para el Carmen de Bolívar se presentaron los valores más bajos (alrededor de 8,81 t/ha); por su parte, las variedades de batata también fueron un factor incidente sobre los rendimientos, el genotipo 440224 registró promedios de aproximadamente 14,26 t/ha, mientras que la variedad Chinú arrojó valores de alrededor de 8,09 t/ha. Los resultados obtenidos son superiores a lo reportados por AGRONET para el año 2008, donde el cultivo de batata mantuvo una producción de 5 t/ha. Por su parte, para años posteriores los rendimientos de batata obtenidos se mantuvieron dentro de lo estimado para otras raíces tuberosas como ñame con 10,62 t/ha y yuca para consumo fresco con 10,58 t/ha (AGRONET, 2014) e inferiores al rendimiento de yuca industrial Mtai de 20 t/ha (Aguilera, 2012). Por consiguiente, el cultivo de batata con las variedades 440224 y 199064-1 cultivado en las zonas de Corozal y Cereté, debido a sus altos rendimientos en comparación con otras fuentes tuberculosas, se puede considerar como una alternativa de producción regional y posible sustituto de los cultivos de ñame y yuca.

Tabla 8. Rendimiento de Materia seca (MS), Proteína y Almidón de las batatas evaluadas.

Rendimiento (T/ha)	***Variedad***	***Localidad***		
		Corozal	**Cerete**	**Carmen de Bolívar**
Materia seca (MS)	Chinú	$1{,}95\pm0{,}2^{Cc}$	$4{,}55\pm0{,}49^{Ab}$	$2{,}85\pm0{,}24^{Bc}$
	440224	$5{,}79\pm0{,}45^{Aa}$	$6{,}49\pm0{,}60^{Aa}$	$3{,}83\pm0{,}04^{Bab}$
	199064-1	$5{,}40\pm0{,}80^{Aa}$	$3{,}86\pm0{,}46^{Bb}$	$4{,}09\pm0{,}12^{Ba}$
	criolla	$4{,}16\pm0{,}49^{Bb}$	$5{,}62\pm0{,}17^{Aa}$	$2{,}93\pm0{,}22^{Cbc}$
Proteína	Chinú	$0{,}37\pm0{,}04^{Ab}$	$0{,}71\pm0{,}31^{Aab}$	$0{,}64\pm0{,}04^{Aab}$
	440224	$0{,}90\pm0{,}00^{Aa}$	$1{,}03\pm0{,}28^{Aa}$	$0{,}79\pm0{,}16^{Aab}$
	199064-1	$0{,}64\pm0{,}16^{Aab}$	$0{,}63\pm0{,}24^{Ab}$	$0{,}84\pm0{,}18^{Aa}$
	criolla	$0{,}78\pm0{,}06^{Aa}$	$0{,}60\pm0{,}22^{ABb}$	$0{,}40\pm0{,}05^{Bb}$
Almidón	Chinú	$1{,}45\pm0{,}15^{Bc}$	$2{,}88\pm0{,}39^{Ac}$	$1{,}80\pm0{,}12^{Bb}$
	440224	$4{,}33\pm0{,}30^{Aa}$	$4{,}71\pm0{,}46^{Aa}$	$2{,}78\pm0{,}05^{Ba}$
	199064-1	$3{,}99\pm0{,}57^{Aa}$	$2{,}86\pm0{,}35^{Bc}$	$3{,}03\pm0{,}07^{Ba}$
	criolla	$3{,}07\pm0{,}32^{Bb}$	$3{,}73\pm0{,}07^{Ab}$	$1{,}94\pm0{,}16^{Cb}$

Medias con letras minúsculas diferentes en columnas y con letras mayúsculas diferentes en filas indican diferencia estadísticamente significativa con forme a la prueba de Tukey ($p<0{,}05$) respecto a la localidad y variedad respectivamente.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

Los rendimientos para la materia seca oscilaron entre 3,1 y 5,37 toneladas de MS por hectárea cultivada de batata (Tabla 8), arrojando diferencias significativas ($p<0{,}05$) entre la interacción de variedades y localidad (Anexo 10 y 11). Como se muestra en la tabla 8, Cerete y el genotipo 440224 presentaron los mayores valores (5,13 y 5,37 toneladas respectivamente), mientras que la localidad del Carmen de Bolívar y la variedad Chinú obtuvieron los valores más bajos (3,4 y 3,12 t respectivamente). En este sentido, pese a que la localidad de Corozal fue la que promovió la mayor acumulación de materia seca por batata (Tabla 6), al tener en cuenta los altos rendimientos de MS por hectárea (Tabla 8), se postula

la variedad 440224 cultivada en la localidad de Cereté como una alternativa potencial tanto para consumo fresco como para producción industrial de la batata.

En cuanto a los rendimientos de las toneladas de proteína por hectárea (Tabla 8), estos evidencian que existen diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$) entre la interacción de variedades y localidades (Anexo 12 y 13). Estos rendimientos fueron dependiente de cada variedad, el genotipo 440224 presentó promedios de aproximadamente 0,91 t/ha para las diferentes localidades, mientras que Chinú obtuvo valores de alrededor de 0,57 t/ha. Además, las batatas cultivadas en el municipio de Cerete registraron los mayores valores, en promedio de 0,74 t/ha, mientras que para Corozal y el Carmen de Bolívar arrojaron valores en promedio de 0,67 t/ha. Por consiguiente, de acuerdo a los datos obtenidos en esta investigación, pese a que la localidad de Carmen de Bolívar fue donde se presentó la mayor acumulación de proteína por batata (Tabla 6), teniendo en cuenta los rendimientos alcanzados (Tabla 8), se puede proponer una producción de batata por hectáreas en el municipio de Cerete con la variedad 440224 para obtención de proteínas.

Por otra parte, los rendimientos obtenidos de almidón mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$) entre la interacción de variedades y localidades (Anexo 14 y 15). Como se ilustra en la Tabla 8, los mayores rendimientos de almidón por hectárea cultivada se obtuvieron para el genotipo 440224, con un promedio de 3,94 toneladas de almidón, mientras que la variedad Chinú con un valor de 2,04 toneladas registró los rendimientos más bajos. En cuanto a las localidades, el municipio de Cerete, aunque arrojó los valores más bajos de acumulación de almidón por batata, fue la que presentó los mayores rendimientos de almidón por hectárea cultivada, caso contrario ocurrió con la localidad de Corozal que obtuvo los menores rendimientos t/ha. En este sentido, en vista que la batata 440224 cultivada en la localidad de Cereté obtuvo los mayores rendimientos y a su vez fue la variedad que logró una mayor acumulación de almidón se puede considerar como posible fuente alternativa para la extracción de almidón comercial.

En términos generales, los rendimientos de materia seca, proteína y almidón de las batatas en estudio fueron superiores a los reportados para otras raíces tuberosas como yuca y ñame, dichos rendimientos fueron calculados a partir de las toneladas por hectárea de cultivo reportados por AGRONET (2014) para raíces totales de yuca para consumo en fresco, ñame

y por Aguilera (2012) para yuca industrial Mtai y de los porcentajes de MS, proteína y almidón obtenidos de estudios previos realizados por Varga & Hernández (2012), Castaño *et al.* (2011), Huang *et al.* (2007), Ruiz & Vásquez (2001) y Pérez *et al*. (2016). Los valores de rendimientos de materia seca para yuca, ñame y yuca industrial Mtai son de 3,17 t/ha, 3,18 t/ha y 6 t/ha respectivamente, de proteína en yuca de 0,31 t/ha, en yuca industrial Mtai 0,61 t/ha y en ñame de 0,863 t/ha y de almidón de 3,78 t/ha para yuca industrial Mtai, 1,99 t/ha para yuca y 1,24 t/ha para ñame.

4.1.3. Caracterización fisicoquímica de las harinas de batatas evaluadas.

Tabla 9. Contenido de sólidos solubles de las harinas de batatas.

Parámetro (°Brix)	***Variedad***	***Localidad***		
		Corozal	**Cerete**	**Carmen de Bolívar**
Sólidos solubles (SS)	Chinú	$16,98\pm1,42^{Aa}$	$13,96\pm3,85^{Aa}$	$17,47\pm4,21^{Aa}$
	440224	$12,18\pm0,43^{Ab}$	$8,05\pm1,55^{Bb}$	$11,41\pm0,93^{ABb}$
	199064-1	$10,93\pm0,57^{Ab}$	$9,03\pm1,67^{Ab}$	$11,02\pm1,46^{Ab}$
	Criolla	$14,86\pm0,92^{Aab}$	$9,14\pm0,59^{Bb}$	$10,48\pm0,17^{Bb}$

Medias con letras minúsculas diferentes en columnas y con letras mayúsculas diferentes en filas indican diferencia estadísticamente significativa con forme a la prueba de Tukey ($p<0,05$) respecto a la localidad y variedad respectivamente.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

El contenido de sólidos solubles (SS) presente en las batatas evaluadas se muestra en la Tabla 9, se evidencia que existen diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$) entre las variedades (Anexo 16). Las batatas del genotipo Chinú registraron la mayor concentración de SS para las diferentes localidades con valores promedios de 16,134°Brix, mientras que la variedad 199064-1 arrojó los valores más bajos, cerca de 10,3°Brix, esta diferencia puede atribuirse a que el contenido de sólidos solubles puede variar por efecto de las características genéticas (Techeira *et al.*, 2014), de modo que, la operación de modificación realizada al genotipo Chinú consiguió conferirle entre sus nuevas propiedades, un mayor desarrollo y

acumulación de los SS, característica que naturalmente no existe en el testigo Criolla, y que además no se logró para las otras dos modificaciones. Por otra parte, también se encontraron diferencias significativas ($p<0,05$) entre las localidades (Anexo 16), Corozal registró los valores más altos de SS, cerca de 13,7%, mientras que Cerete obtuvo los menores valores, aproximadamente 10°Brix, este comportamiento pudo deberse a la adaptabilidad de las batatas a las condiciones edafo-climáticas (suelo, lluvias, temperatura, humedad) de las zonas donde se cultivaron las muestras (Barnes y Sanders, 2012; Ferreira *et al.,* 2012; Techeira *et al.,* 2014).

Estos resultados fueron consistentes con estudios previos realizados por Vizzotto *et al.* (2017) que reportaron un rango de 7,30-14,57°Brix en 12 variedades con diferente coloración de pulpa, por García *et al.* (2016) quienes lograron determinar valores alrededor de 14,83 °Brix para batatas de la variedad Topera y por Techeira *et al.* (2014) quien obtuvo un valor de aproximadamente 11,66°Brix para harinas crudas obtenidas a partir de diferentes variedades de batata.

La importancia del contenido de los sólidos solubles en las batatas radica en que un mayor porcentaje de estos tiene una relación directa con la acumulación de azucares, los cuales son sustancias de gran interés para diversas aplicaciones en la industria, como es el caso de la utilización de las raíces en procesos de fermentación,, como vino, butanol, ácido láctico, acetona y etanol (Andrade *et al.,* 2009; Martí *et al.,* 2011), el último de los cuales tiene creciente uso como sustituto de combustibles fósiles, todo esto gracias a su contenido en azucares fermentables (Bermúdez, 2006; Chacón y Reyes, 2009). Es importante mencionar, que esta raíz tuberosa presenta entre su contenido de materia seca una proporción importante de carbohidratos como fructooligosacáridos (Madrigal y Sangronis, 2007; Hernández y Jiménez, 2010; Jiménez y Sammán, 2014) especialmente del tipo inulina (compuesto de bajo valor calórico (1-3 kcal/g), de relevante interés tecnológico (alto poder edulcorante), que poseen propiedades funcionales beneficiosas para la salud, por lo cual la harina extraída de la raíz se podría implementar para la alimentación de personas que padecen de diabetes (Roquel, 2008) y en la disminución de los niveles de colesterol y triglicéridos en la sangre de personas de mediana edad (Madrigal y Sangronis, 2007; Martí *et al.,* 2014).

4.1.4. Caracterización tecno-funcional de las harinas de batata.

Tabla 10. Capacidad de absorción de agua (CAA) de las harinas de batata.

Parámetro	***Variedad***	***Localidad***		
		Corozal	**Cerete**	**Carmen de Bolívar**
Capacidad absorción de agua (CAA) (%)	Chinú	$264,07 \pm 1,26^{Ca}$	$309,66 \pm 1,98^{Aa}$	$290,90 \pm 1,17^{Ba}$
	440224	$191,96 \pm 1,22^{Bc}$	$203,53 \pm 2,12^{Ac}$	$185,60 \pm 2,48^{Cd}$
	199064-1	$175,05 \pm 1,47^{Bd}$	$192,15 \pm 1,56^{Ad}$	$192,83 \pm 0,70^{Ac}$
	Criolla	$218,47 \pm 1,79^{Ab}$	$211,61 \pm 0,96^{Bb}$	$215,69 \pm 1,36^{Ab}$

Medias con letras minúsculas diferentes en columnas y con letras mayúsculas diferentes en filas indican diferencia estadísticamente significativa con forme a la prueba de Tukey ($p<0,05$) respecto a la localidad y variedad respectivamente.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

La capacidad de absorción de agua (CAA) de la harina de batatas (Tabla 10), indica que existen diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$) entre las localidades, las variedades y entre la interacción de variedades y localidades (Anexo 17 y 18). Cereté registró los mayores valores, aproximadamente de 229,24%, mientras la localidad de Corozal presentó los valores más bajos con un promedio de 212,39%. A su vez, la CAA en batatas fue dependiente de cada genotipo, la variedad Chinú mostró promedios de 288,21%, mientras que la variedad 199064-1 obtuvo los valores más bajos, alrededor de 186,68%. Los resultados obtenidos se relacionan directamente con el contenido de fibra, a mayor presencia de esta, aumenta la CAA e inversamente con el contenido de proteína como se muestra en la tabla 6, esto coincide con Henao & Aristizábal (2009) quienes afirmaron que la fibra aumenta la absorción de agua de las harinas y también disminuye el porcentaje de proteínas, debido a la presencia de un mayor contenido de proteínas solubles en agua. Por su parte, los valores obtenidos de CAA coincidieron con los expuestos en estudios previos realizados por Salcedo *et al.* (2016) de 227% para harinas extraídas de diversos cultivares de batata.

La capacidad de absorción de agua es la capacidad de la harina para absorber el agua e hincharse para mejorar la consistencia en los alimentos, dicha propiedad explica la

hidratación de las harinas hasta formar una masa visco elástica, esto puede atribuirse a la relajación progresiva de las fuerzas de los enlaces intragranulares, permitiendo el ingreso de las moléculas de agua al interior de los gránulos de almidón presentes en las batatas, posibilitando el aumento de tamaño que se traduce en un mayor poder de hinchamiento (Techeira *et al.,* 2014; Sacón *et al.,* 2016). Por consiguiente, los altos valores de esta propiedad son ideales para la producción de harinas (Sacón *et al.,* 2016), que se emplean como sustituto parcial de la harina de trigo en la elaboración de masa para panadería, debido que se ha demostrado "que cuanta más agua absorba una harina, más cantidad de pan se podrá elaborar con el mismo peso de ella" (Henao & Aristizábal, 2009).

4.1.4.1. Perfil viscoamilográfico de las harinas de batata evaluadas.

En la Figura 6 y Tabla 11, se presentan los resultados obtenidos para el comportamiento de la viscosidad en suspensiones evaluadas en las batatas de las diferentes variedades y localidades durante ciclos de calentamiento-enfriamiento, y específicamente para los parámetros de viscosidad máxima, temperatura de gelatinización y los procesos de breakdown (estabilidad) y setback (retrogradación).

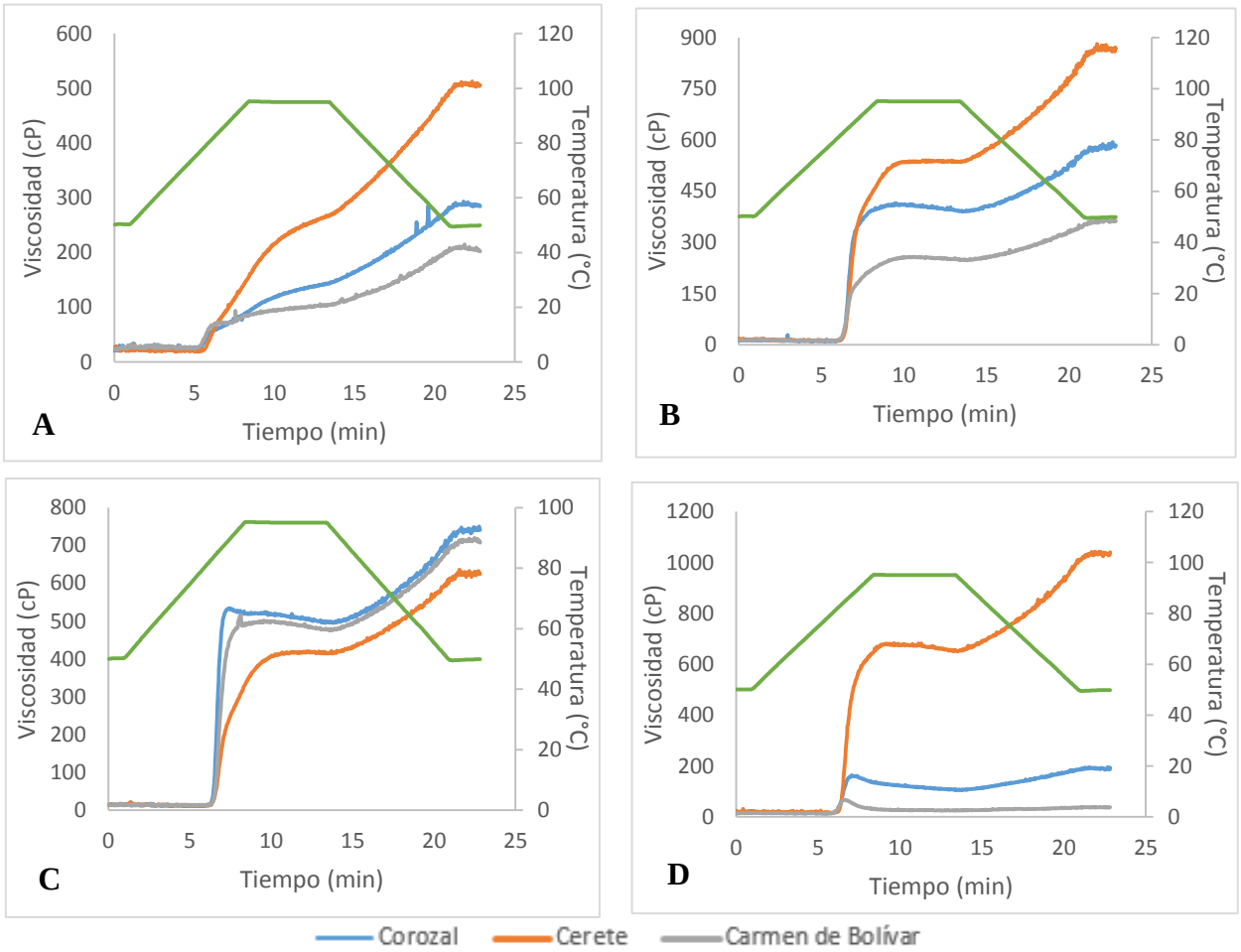


Figura 6. Viscoamilograma de harinas de batata en las diferentes variedades (A) Chinú, (B) 440224, (C) 199064-1 y (D) Criolla, en cada una de las localidades evaluadas.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

Tabla 11. Comportamiento de la viscosidad en suspensión de las harinas de batata durante ciclos de calentamiento-enfriamiento

Propiedad	***Variedad***	***Localidad***		
		Corozal	**Cerete**	**Carmen de Bolívar**
Viscosidad máxima (cP)	Chinú	$92{,}27\pm10{,}73^{Ab}$	$153{,}00\pm31{,}60^{Ac}$	$86{,}44\pm1{,}12^{Ab}$
	440224	$401{,}00\pm77{,}20^{Aba}$	$465{,}10\pm78{,}30^{Aab}$	$227{,}70\pm14{,}90^{Bb}$
	199064-1	$537{,}35\pm40{,}15^{Aa}$	$327{,}65\pm55{,}85^{Bbc}$	$516{,}95\pm75{,}45^{ABa}$
	criolla	$164{,}75\pm23{,}45^{Bb}$	$644{,}60\pm61{,}00^{Aa}$	$68{,}78\pm10{,}14^{Bb}$
Temperatura de gelatinización (°C)	Chinú	$74{,}30\pm0{,}10^{Bb}$	$77{,}83\pm0{,}15^{Ab}$	$79{,}60\pm0{,}10^{Aa}$
	440224	$79{,}70\pm0{,}20^{Aa}$	$80{,}40\pm0{,}10^{Aa}$	$79{,}40\pm0{,}20^{Aa}$
	199064-1	$76{,}07\pm1{,}97^{Bb}$	$78{,}90\pm1{,}04^{Aab}$	$79{,}60\pm0{,}20^{Aa}$
	criolla	$79{,}47\pm0{,}25^{Aa}$	$79{,}43\pm0{,}25^{Aab}$	$79{,}50\pm0{,}10^{Aa}$
Breakdown (cP)	Chinú	$-50{,}23\pm15{,}53^{Ab}$	$-113{,}80\pm15{,}00^{Bb}$	$-17{,}64\pm6{,}46^{Ab}$
	440224	$7{,}80\pm29{,}60^{Aa}$	$-71{,}07\pm13{,}05^{Bb}$	$-23{,}64\pm0{,}15^{ABb}$
	199064-1	$38{,}58\pm7{,}20^{Aa}$	$-87{,}88\pm16{,}90^{Bb}$	$39{,}32\pm0{,}80^{Aa}$
	criolla	$56{,}53\pm10{,}29^{Aa}$	$-8{,}70\pm61{,}40^{Ba}$	$43{,}06\pm8{,}34^{Aa}$
Setback (cP)	Chinu	$141{,}97\pm70{,}10^{Abab}$	$262{,}97\pm74{,}99^{Aab}$	$98{,}33\pm11{,}96^{Bab}$
	440224	$170{,}77\pm61{,}40^{Abab}$	$305{,}20\pm77{,}20^{Aab}$	$110{,}68\pm9{,}10^{Bab}$
	199064-1	$241{,}30\pm16{,}77^{Aa}$	$210{,}83\pm7{,}96^{Ab}$	$229{,}92\pm32{,}20^{Aa}$
	criolla	$87{,}19\pm19{,}21^{Bb}$	$369{,}13\pm84{,}16^{Aa}$	$11{,}53\pm0{,}69^{Bb}$

Medias con letras minúsculas diferentes en columnas y con letras mayúsculas diferentes en filas indican diferencia estadísticamente significativa con forme a la prueba de Tukey ($p<0{,}05$) respecto a la localidad y variedad respectivamente.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

La propiedad de viscosidad máxima se observa en la Tabla 11, donde se evidencia que existen diferencias estadísticamente significativas ($p<0{,}05$) entre variedades y entre la interacción de variedades y localidades (Anexo 19 y 20). Las batatas evaluadas en esta propiedad arrojaron para el municipio de Cereté los mayores promedios de 397,59 cP, mientras que Corozal

presentó los promedios más bajos, de 224,97 cP. A su vez, para las distintas variedades, la 199064-1 adquirió los mayores valores, de 460,65 cP y la especie Chinú los menores (110,57 cP). Este fenómeno en la harina de batata se presenta cuando los gránulos de almidón se calientan en exceso de agua, sufriendo un cambio irreversible conocido como gelatinización, que es el resultado del colapso del orden molecular que incluye la perdida de la cristalinidad del gránulo de almidón (Freitas *et al.,* 2004). Sin embargo, durante el proceso de pastificación, aquellas harinas que presentaron mayor aumento en la viscosidad, debido a su contenido en almidón, podrían ser empleados en la elaboración de productos que requiera espesamiento en procesos de cocción (Hernández *et al.,* 2008). Por su parte, la disminución en los valores de viscosidad máxima "se explica por la degradación por fricción de las moléculas que componen el contenido almidón, es decir de las moléculas de amilosa y amilopectina, que disminuyen su capacidad de retención de agua" (Techeira, 2008, p.18).

Los valores de viscosidad máxima de las harinas de batatas evaluadas fueron inferiores a los reportados por Julianti *et al.* (2015), que obtuvieron un promedio de 1831 cP para harina de batata y superior a los registrados por Aprianita *et al.* (2013) de 41,2 cP para harina de batata, 31 cP para harina de ñame y 20,21 cP para harina de yuca.

La aplicabilidad de esta propiedad, consiste principalmente en la producción de harinas y almidones a partir de la pulpa comestible de la batata, los cuales son productos de posible interés para la industria alimenticia, que puede incentivar la sustitución de algún otro ingrediente (Pérez & Pacheco, 2005), en la fabricación de productos que requieran mantener una alta viscosidad durante una fase de calentamiento constante, como mezclas de sopas y pudines instantáneos (Pacheco *et al.,* 2008). A su vez, altos valores de Vm en las harinas de batata se han presentado como una alternativa para extracción de almidones para la industria no alimentaria donde se utiliza como adhesivo, aglomerante o pegante (Hernández & Vergara, 2008).

La temperatura de la pasta es un indicativo de la temperatura mínima requerida para cocinar o gelatinizar la harina (Kaur & Singh, 2005) y es la que mide el primer aumento detectable de la viscosidad (Julianti *et al.,* 2015). La temperatura a la cual se dio inicio el proceso de gelatinización (Tg) de las harinas en estudio fue entre 74,3 y 80,4°C, presentando diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$) entre la interacción de las variedades y localidades

(Anexo 21 y 22). Los mayores valores fueron registrados para el Carmen de Bolivar y el genotipo 440224 (79,5 y 79,8°C respectivamente), mientras que la localidad de Corozal presento una Tg de 77,4°C y la variedad Chinú de 77,2°C. Las fluctuaciones existentes entre los valores de Tg obtenidos, indicando la posible existencia de diferencias en cuanto al grado de asociación, composición y estructura molecular que posee cada granulo, ya que según Rached *et al.* (2006) y Paternina *et al.* (2016) la temperatura de gelatinización es considerada como índice del orden intragranular, por lo que entre menor sea su valor, menor será el grado de ordenamiento en el interior de los gránulos. Las temperaturas de gelatinización obtenidas para las batatas en estudio, fueron similares a las reportadas en la literatura, donde la Tg de harinas de batata oscila desde 76,5°C hasta 80°C (Pérez & Pacheco, 2005; Rached *et al*., 2006; Osundahunsi *et al.,* 2003) y superiores para harina de ñame con 73,9 °C y harina de yuca con 71,4 °C (Aprianita *et al.,* 2013)

La determinación de la temperatura inicial de gelatinización es una característica importante que debe ser considerada al momento de elaborar un producto alimenticio, ya que las harinas de batata que mostraron los mayores valores de Tg, requerirán mayor temperatura para iniciar el proceso de absorción de agua, hinchamiento y gelificación y necesitarían de un mayor tiempo de cocción (Techeira, 2008; Paternina *et al.,* 2016). Por su parte, la baja temperatura de gelatinización proporciona una mayor disponibilidad de almidón a las enzimas amilolíticas durante el proceso de cocción que es deseable en la fabricación de pan (Julianti *et al.*, 2015).

“El término estabilidad o “breakdown” se entiende como la diferencia entre la viscosidad máxima y la viscosidad obtenida después del período de calentamiento constante. Es un índice que permite evaluar la fragilidad de los gránulos de la harina de batata frente al calentamiento continuo y bajo estrés mecánico” (Techeira, 2008, p.85). En la Tabla 11, se puede observar que en términos generales las harinas de batata evaluadas arrojaron una buena estabilidad ante los procesos de calentamiento, registrando valores que oscilan entre -113 y 56 cP, donde las localidades y variedades de batata (Anexo 23 y 24) presentaron un efecto significativo ($p<0,05$). La variedad 440224 cultivada en Corozal presentó un valor de 7,8 cP, mostrando una mayor estabilidad a los procesos de calentamiento, por su parte, el genotipo

Chinú cultivado en el municipio de Cereté con -113,8 cP, también reflejo una buena estabilidad ante esfuerzos mecánicos, tal como lo indican Hernández *et al.* (2008).

Los resultados obtenidos son inferiores a los registrados por Julianti *et al.* (2015) con un valor de 829 cP para harinas de batata, a su vez algunas de las variedades de batatas evaluadas mantuvieron una tendencia similar a la reportada por Aprianita *et al.* (2013) con un breakdown de 17,9 cP para harinas de batata y para harinas extraídas de otras raíces tuberosas como el ñame con 12,9 cP y yuca con 8,9 cP. En este sentido, las suspensiones de harinas presentaron buena estabilidad, en valores cercanos a cero, indican la presencia de gránulos de harina que son más resistentes al estrés térmico y mecánico (Ortega & Eliasson, 2001; Lawal, 2004); mientras que, con valores negativos de breakdown, puede suponerse que los gránulos hinchados resisten el proceso de agitación y calentamiento; en cambio, los valores mayores de 38 cP son estables, pero tienden a fluir según el esfuerzo que se le aplique (Hernández *et al.*, 2008). Por lo tanto, esta propiedad es crucial para la formulación de productos alimenticios que requieran mantener su viscosidad estable durante períodos de calentamiento prolongado y en condiciones de agitación mecánica constante (Lee *et al.*, 2012; Paternina *et al.*, 2016).

El asentamiento o "Setback" es la diferencia entre la viscosidad alcanzada luego de un proceso de enfriamiento y la viscosidad obtenida después del período de calentamiento constante, "permitiendo evaluar la diferencia de viscosidad del gel durante la fase de enfriamiento" (Morales *et al.*, 2013), es un índice de retrogradación de los gránulos de harina por enfriamiento e indica que a menores valores de setback "hay una menor retrogradación (García, 2015). En los gránulos de la harina de batata, se produce como resultado de la recristalización de las moléculas del almidón, a través de la formación de enlaces de hidrógeno nuevos, que resultan en la formación de geles" (Lindeboom *et al.*, 2004, p.15). Para las harinas de las batatas en estudio esta propiedad arrojó diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$) entre localidad y entre la interacción de variedades y localidades (Anexo 25 y 26). Siendo en la localidad de Cereté donde se obtuvieron los mayores valores, en promedio de 287,03 cP, mientras que para el Carmen de Bolívar se registraron los valores más bajos aproximadamente de 112,62 cP; esta propiedad de retrogradación también fue dependiente de cada genotipo, la variedad 199064-1 presentó promedios de

aproximadamente 227,35 cP, mientras que la Criolla arrojó valores en promedio de 155,95 cP. El aumento progresivo de la viscosidad durante el periodo de enfriamiento es debido al establecimiento de los puentes de hidrógeno entre las moléculas de amilosa y amilopectina, dando lugar a la consistencia de tipo gel, por la pérdida de calor en el sistema y al proceso de reorganización que se genera. Este acrecentamiento de la viscosidad indica la tendencia de varios constituyentes presentes en la pasta caliente (gránulos hinchados, fragmentos de gránulos hinchados, moléculas de almidón coloidal y dispersas) para asociarse o retrogradar mientras la temperatura de la pasta disminuye (Rincón *et al.,* 2007; García, 2015).

Los resultados obtenidos son inferiores a lo demostrado por Julianti *et al.* (2015), con un valor de 563 cP en harina de batata y 1311 cP para harina de trigo, y superior a lo reportado por Aprianita *et al.* (2013) en harina de ñame con 10,3 cP, en harina de batata con 7,4 cP y en harina de yuca con 5,4 cP. En el período de enfriamiento en las harinas de batata con respecto al índice de retrogradación, puede estar relacionado con componentes como gránulos hinchados y moléculas de almidón dispersas, presentes en la pasta. El contenido de almidón representa en las harinas mayor tendencia a la retrogradación, y por tanto menos estable serán a procesos de enfriamiento (Lucas *et al.,* 2013).

Estos resultados demuestran el potencial de la batata, si presentan alta estabilidad durante la reorganización de las moléculas de almidón como consecuencia de la refrigeración (García *et al.,* 2012), pueden ser empleados en productos como rellenos de pasteles, alimentos infantiles y sopas. “En cuanto, una baja estabilidad a la refrigeración o congelación pueden ser utilizados en alimentos que requieren ser almacenados en refrigeración y necesitan cierta exudación de humedad para proporcionar una apariencia fresca, como los flanes o salsas” (Hernández *et al.,* 2008), puesto que estos son productos alimenticios se desean geles firmes mas no claros (Palomino *et al.,* 2010).

4.1.5. Caracterización estructural de las harinas de batatas evaluadas.

4.1.5.1. Espectroscopia de infrarrojo (FT-IR) de las variedades de batatas evaluadas en las diferentes localidades.

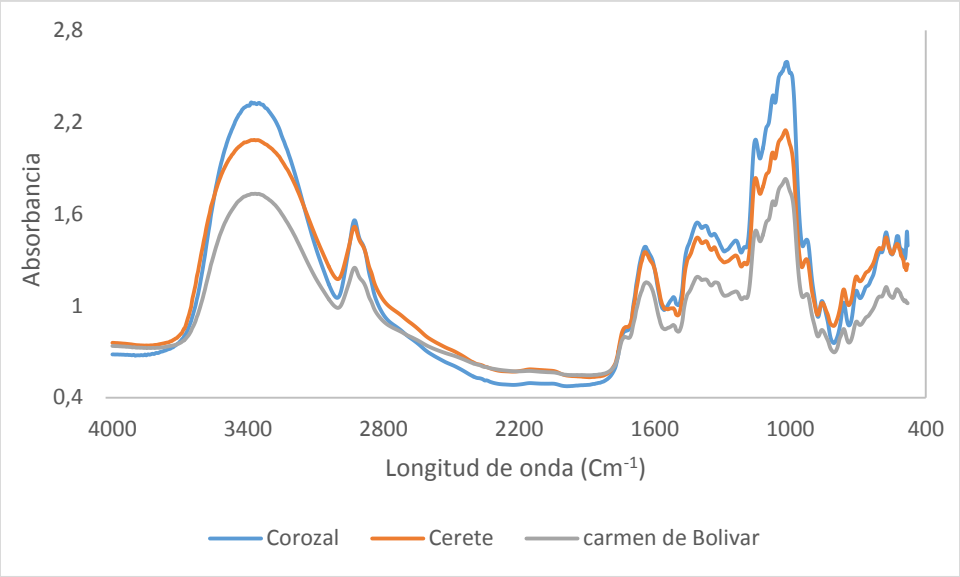


Figura 7. Espectroscopia de infrarrojo de harina para la variedad Chinú en las localidades evaluadas.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

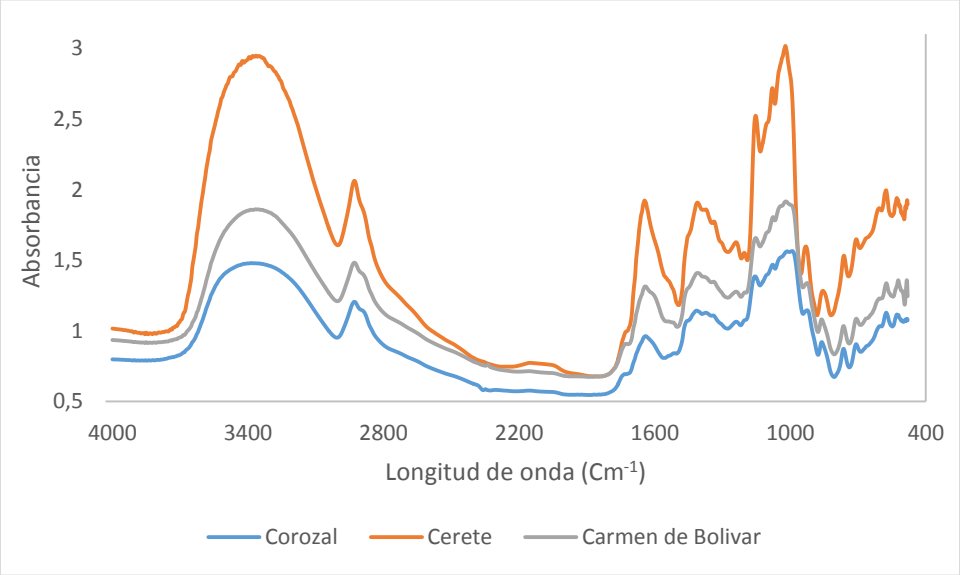


Figura 8. Espectroscopia de infrarrojo de harina para la variedad 440224 en las localidades evaluadas.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

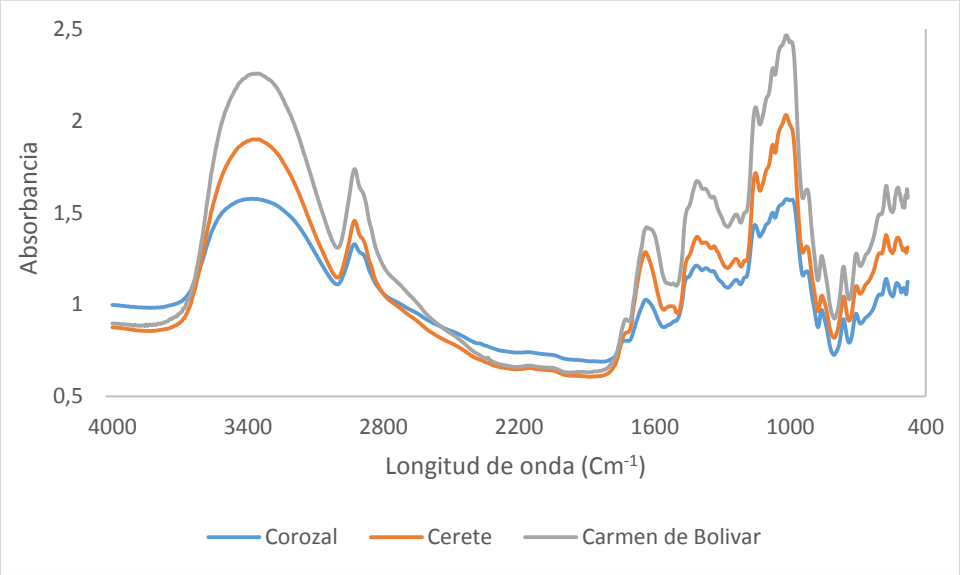


Figura 9. Espectroscopia de infrarrojo de harina para la variedad 199064-1 en las localidades evaluadas.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

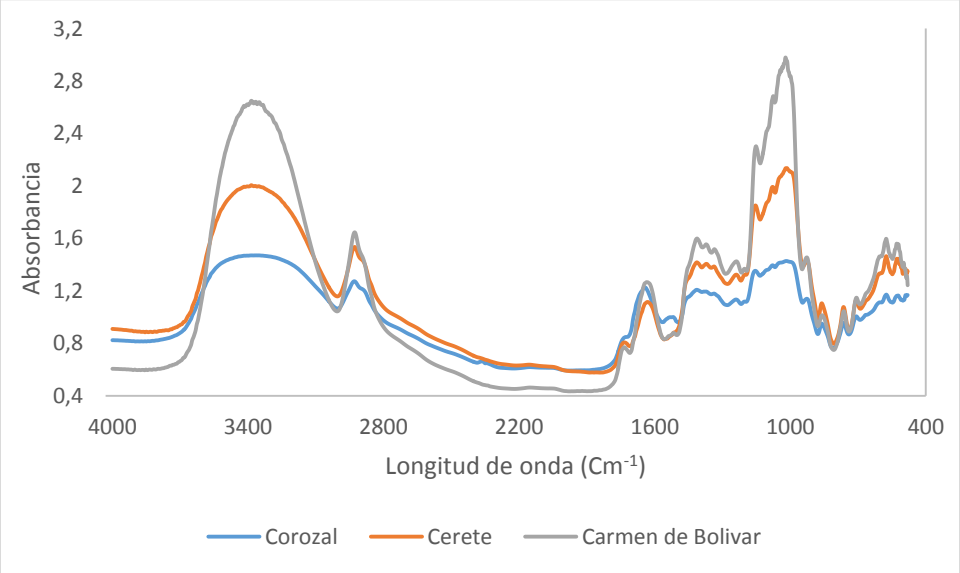


Figura 10. Espectroscopia de infrarrojo de harina para el testigo Criolla en las localidades evaluadas.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

La espectroscopia de infrarrojo tanto para harinas como almidones es un estudio importante debido a que representa un método cualitativo para la determinación de los componentes

principales asociados a las estructuras de los gránulos (Flores *et al.,* 2014). Las Figuras 7, 8, 9 y 10 muestran los espectros de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR) de las harinas extraída de las distintas variedades de batata evaluadas en las 3 localidades del caribe. En términos generales se observó un comportamiento similar en las señales de absorbancia de las harinas desde 400 hasta 4000 cm^{-1}, donde se muestran algunas bandas de absorción características de la estructura del almidón y la presencia de otros materiales, lo cual corroboró que se trata de una muestra de harina con un porcentaje de almidón significativo. El intervalo de absorción entre 3381 y 3363 cm^{-1} corresponden al alargamiento vibracional de los grupos de los enlaces OH, esta región tiene una base amplia y un pico redondo, lo que indica una importante contribución de las moléculas de agua (Yaacob *et al*., 2011). El segundo pico observado oscila alrededor de los 2928 cm^{-1} y se atribuye al estiramiento de los enlaces CH (asimétrico CH_2) (Tapia *et al.,* 2010).

La absorción débil entre 1636-1643 cm^{-1} son debidas al estiramiento vibracional de los enlaces CO e identifica el compuesto amida I. Esta banda proporciona información sobre la estructura secundaria de las proteínas. Los contornos de la banda de amida (proteínas o polipéptidos) consisten en componentes que se solapan, que representan α-hélices, β-hojas, giros y estructuras aleatorias y la frecuencia exacta de esta banda depende de la naturaleza del enlace de hidrógeno que involucra a los grupos CO y NH (Andrade *et al.,* 2012) y a los rasgos del agua fuertemente ligadas que están presentes en las moléculas de almidón (Flores *et al.,* 2014). Otra banda importante concerniente a las proteínas es la relativa a la amida III, que absorbe entre 1200-1350 cm^{-1} y surge del estiramiento y doblado del enlace CN del grupo amida de las proteínas. Asimismo, se presentaron bandas alrededor de 1410 cm^{-1}; debida a la deformación asimétrica del enlace CH_3 (Rojas *et al.,* 2016).

La señal encontrada en el intervalo de 1240-990 cm^{-1} son características del estiramiento CO del grupo éster en la estructura COC y en COH del anillo glicosídico de los gránulos de almidón presentes en la harina (Flores *et al.,* 2014), identificando las vibraciones típicas de los hidratos de carbono. En este intervalo, las bandas entre 1155 y 1151 cm^{-1} corresponden al estiramiento de los enlaces de carbono de los carbohidratos presentes, y se observan en los espectros de todas las harinas evaluadas. Las bandas a 1082 y 1078 cm^{-1} corresponden a

vibraciones del enlace COH de las moléculas de almidón y la banda a 994 cm^{-1}, está relacionada con el enlace de hidrógeno intramolecular del grupo hidroxilo, y es sensible al agua, por lo tanto, las pequeñas diferencias en la intensidad de esta banda pueden deberse a diferentes contenidos de agua. (Andrade *et al.*, 2012). Adicionalmente, las bandas amplias y las débiles encontradas en el intervalo de 930-710 cm^{-1}, son probables incrementos de las frecuencias en la deformación del enlace OH y CH (Flores *et al.*, 2014).

4.2.Propiedades de los almidones de batata evaluadas en las diferentes localidades

4.2.1. Caracterización proximal de los almidones de las batatas evaluadas.

El contenido de humedad de los almidones de batata se muestra en el anexo 28. De acuerdo a los parámetros establecidos se considera que el contenido de humedad debe ser menor al 10%, porque resulta conveniente para evitar el deterioro de los almidones durante su almacenamiento, lo cual repercute en las propiedades que sea desean evaluar (Sriroth *et al.*, 2000), en este sentido los valores de humedad de los almidones de batata evaluados se ubican dentro del rango aceptado para lograr un mayor y estable período de almacenamiento, en virtud que existe menos posibilidad de ataque microbiano (Moorthy, 2002) y "además proporciona un nivel reducido de actividad de agua y en consecuencia un mayor tiempo de vida útil" (Njintang y Mbofung, 2003).

4.2.2. Caracterización tecno-funcional de los almidones de las batatas evaluadas.

Tabla 12. CAA de los almidones de batata.

Propiedad	***Variedad***	***Localidad***		
		Corozal	**Cerete**	**Carmen de Bolívar**
Capacidad absorción de agua (CAA) (%)	Chinú	$73,21\pm1,04^{Bb}$	$75,22\pm1,03^{Cbc}$	$93,37\pm0,82^{Ab}$
	440224	$72,77\pm0,65^{Bb}$	$76,94\pm1,23^{Cc}$	$91,82\pm0,81^{Ac}$
	199064-1	$74,69\pm0,89^{Ba}$	$68,02\pm0,63^{Ca}$	$96,32\pm0,60^{Ac}$
	criolla	$80,33\pm0,66^{Cc}$	$84,75\pm0,43^{Bb}$	$88,71\pm0,77^{Aa}$

Medias con letras minúsculas diferentes en columnas y con letras mayúsculas diferentes en filas indican diferencia estadísticamente significativa con forme a la prueba de Tukey ($p<0,05$) respecto a la localidad y variedad respectivamente.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

De acuerdo a la Tabla 12, la interacción de variedades y localidades, influyeron significativamente ($p<0,05$) sobre la capacidad de absorción de agua (CAA) de los almidones de batata evaluados (Anexo 29 y 30). Las batatas cultivadas en la localidad de Carmen de Bolívar registraron los mayores valores para los diferentes genotipos, siendo este en promedio de 92,5%, mientras que para Corozal se obtuvieron los valores más bajos (alrededor de 75,2%); el porcentaje de CAA de los almidones también fue dependiente de cada variedad, el testigo Criolla registró promedios de aproximadamente 84,6%, seguido por el genotipo Chinú (80,6%), mientras que la 199064-1 arrojó valores de alrededor de 79,7%, según valores de referencia reportados por Das *et al.* (2010) la capacidad de absorción de agua oscila en 77,38% aproximadamente, según Salcedo *et al.* (2016) alrededor de 91,15% y según Pramodrao & Riar (2014) de 85% para almidones de batata y 89% para almidones de papa, a su vez se ha demostrado que el almidón extraído de otros tubérculos como la yuca, mantienen una CAA mayor que los almidones evaluados, siendo este de 228% según Granados *et al.* (2014). En general, la CAA de los almidones permite establecer la cantidad de agua que puede absorber el almidón insoluble, determinado a partir de la diferencia de peso (Tester & Debon, 2000), por lo tanto, los valores obtenidos indican que los gránulos de

los almidones evaluados poseen una buena capacidad para hincharse por una absorción progresiva e irreversible de agua aumentando su tamaño (García *et al.,* 2012).

La capacidad de absorción de agua que tienen los gránulos de almidón durante el proceso de hinchamiento puede definirse como el máximo incremento en volumen y peso que el almidón sufre cuando se le permite hincharse en agua, depende de la fuerza y naturaleza de las asociaciones dentro de la red del gránulo de almidón. Sobre las propiedades que afectan las fuerzas asociativas y por ende la capacidad de absorción de agua, influyen factores como: la proporción de amilosa/amilopectina, grado de ramificación, tamaño y cristalinidad del gránulo, el contenido de amilosa y el complejo que produce con los lípidos (Tester & Qi, 2004; Techeira, 2008), adicionalmente, "se ha observado que la capacidad de absorción de agua es mayor en almidones en donde la amilosa y amilopectina están apenas asociadas" (Das *et al.,* 2010). En este sentido, la diferencia de CAA de los almidones evaluados fue dependiente del contenido de amilosa, el cual arrojó los mayores valores para la localidad del Carmen de Bolívar y el testigo Criolla, que a su vez fueron uno de los almidones que lograron la mayor absorción de agua, indicando así la relación que mantiene la CAA con el contenido de amilosa de los almidones.

"Esta propiedad de retener agua es deseable, ya que indica la capacidad del polímero para interactuar con el agua de solvatación y es una medida indirecta de las características físicas (consistencia) de la dispersión formada" (Crosbie, 1991, p.32). A su vez, "la capacidad de los productos alimenticios que contienen almidón para formar pastas o geles está determinada por la capacidad de retención de agua, el poder de hinchamiento, la solubilidad en agua y la viscosidad, propiedades funcionales que determinan la textura y la calidad de los mismos" (Techeira, 2008), de modo que, los almidones que poseen una alta capacidad de retención de agua son destinados principalmente como aditivos alimentarios dada su contribución a la textura en los sistemas alimentarios, siendo su utilización como agente espesante, su aplicación alimentaría más importante (Contreras *et al.,* 2015).

4.2.2.1. Perfil viscoamilográfico de los almidones de batata evaluados.

La Figura 11 muestra el comportamiento de la viscosidad en suspensiones de almidones de batata de las diferentes variedades y localidades durante ciclos de calentamiento-enfriamiento. Los parámetros evaluados para caracterizar los perfiles de viscosidad de almidones son la viscosidad máxima, la temperatura de gelatinización y los procesos de breakdown y setback. La Tabla 13 contiene los datos obtenidos de las propiedades estructurales del almidón extraído de los diferentes genotipos de batata evaluadas en las 3 localidades.

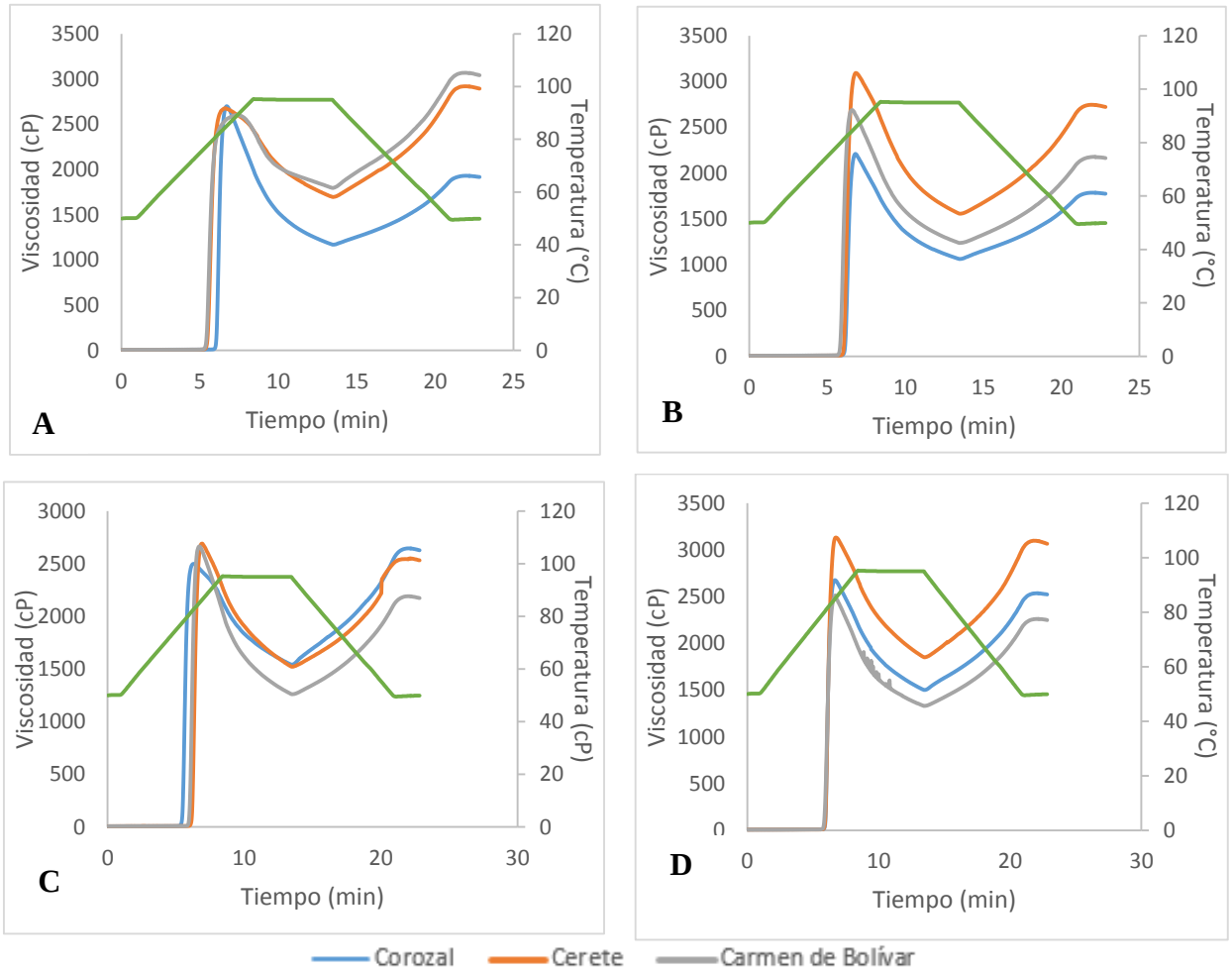


Figura 11. Viscoamilograma de los almidones de batatas en las diferentes variedades (A) Chinú, (B) 440224, (C) 199064-1 y (D) Criolla, en cada una de las localidades evaluadas.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

Tabla 13. Comportamiento de la viscosidad en suspensión de los almidones de batata durante ciclos de calentamiento-enfriamiento.

Propiedad	***Variedad***	***Localidad***		
		Corozal	**Cerete**	**Carmen de Bolívar**
Viscosidad máxima (Vm) (cP)	Chinú	$2703{,}00\pm22{,}74^{Aa}$	$2751{,}67\pm5{,}76^{Aa}$	$2601{,}67\pm11{,}00^{Aa}$
	440224	$2211{,}33\pm1{,}54^{Bb}$	$3095{,}00\pm2{,}03^{Aa}$	$2689{,}67\pm14{,}30^{Aa}$
	199064-1	$2410{,}67\pm5{,}54^{Aab}$	$2694{,}00\pm17{,}01^{Aa}$	$2671{,}00\pm8{,}19^{Aa}$
	Criolla	$2677{,}67\pm12{,}14^{Bab}$	$3134{,}33\pm5{,}59^{Aa}$	$2472{,}33\pm5{,}59^{Ba}$
Temperatura de gelatinización (°C)	Chinú	$80{,}1\pm0{,}00^{Aa}$	$74{,}533\pm0{,}65^{Bb}$	$73{,}4\pm0{,}50^{Cc}$
	440224	$79{,}433\pm0{,}15^{Bb}$	$80{,}133\pm0{,}06^{Aa}$	$78{,}833\pm0{,}12^{Cb}$
	199064-1	$74{,}3\pm0{,}00^{Bc}$	$79{,}733\pm0{,}12^{Aa}$	$79{,}933\pm0{,}12^{Aa}$
	Criolla	$80\pm0{,}00^{Aa}$	$79{,}733\pm0{,}06^{Aa}$	$79{,}667\pm0{,}06^{Aa}$
Breakdown (cP)	Chinú	$1527\pm25{,}36^{Aa}$	$1045\pm78{,}06^{Bb}$	$801\pm28{,}62^{Bb}$
	440224	$1137{,}33\pm11{,}85^{Bb}$	$1527{,}33\pm41{,}53^{Aa}$	$1445{,}67\pm20{,}60^{Aba}$
	199064-1	$867{,}667\pm77{,}02^{Bb}$	$1169{,}33\pm29{,}14^{ABab}$	$1401{,}67\pm36{,}61^{Aa}$
	Criolla	$1169\pm9{,}85^{Aab}$	$1272\pm59{,}00^{Aab}$	$1148\pm77{,}97^{Aab}$
Setback (cP)	Chinú	$720{,}00\pm3{,}65^{Bb}$	$1189{,}50\pm1{,}85^{Bab}$	$1239{,}00\pm4{,}22^{Ba}$
	440224	$698{,}00\pm7{,}51^{Bb}$	$1155{,}00\pm2{,}19^{Bbc}$	$919{,}00\pm6{,}08^{Bb}$
	199064-1	$1037{,}00\pm9{,}25^{Ba}$	$908{,}00\pm12{,}53^{Bc}$	$904{,}00\pm6{,}65^{Bb}$
	Criolla	$1014{,}00\pm13{,}20^{Ba}$	$1204{,}50\pm4{,}47^{Ba}$	$912{,}00\pm5{,}87^{Bb}$

Medias con letras minúsculas diferentes en columnas y con letras mayúsculas diferentes en filas indican diferencia estadísticamente significativa con forme a la prueba de Tukey ($p<0{,}05$) respecto a la localidad y variedad respectivamente.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

La viscosidad máxima (Vm) de los almidones evaluados osciló entre 2200 y 3100 cP, arrojando diferencias significativas ($p<0{,}05$) entre la interacción de variedades y localidades (Anexo 31 y 32). Los menores valores se presentaron para Corozal con una Vm de 2500 cP y para el genotipo 199064-1 con un aproximado de 2591 cP, , mientras que los almidones de

la localidad de Cereté y el testigo Criolla desarrollaron los datos de Vm más elevadas durante el proceso de pastificación (en promedio 2918,7 y 2761,4 cP respectivamente), este comportamiento posiblemente se deba a que los gránulos de dichos almidones tienen mayor tendencia a absorber agua en el proceso de calentamiento y presentan mayor tamaño, lo que los lleva a ocupar un mayor volumen y otorgar una mayor viscosidad (Beleia *et al.*, 2006). Por su parte, al ser el testigo Criolla el material nativo de la región indica que posiblemente, el proceso de modificación de los genotipos disminuyó significativamente el pico de viscosidad de la pasta durante el calentamiento (Figura 11). Este patrón también fue observado por Salcedo *et al.* (2016) en almidones de diferentes cultivares de batata, donde la variedad criolla (material nativo de la costa caribe) desarrolló la mayor viscosidad máxima (Vm) durante el calentamiento, en comparación con las variedades que fueron modificadas genéticamente.

Los valores de viscosidad máxima de los almidones evaluados fueron consistentes con estudios realizados por Zhou *et al.* (2014) que reportaron un valor de 2109 cP para almidón de batatas transgénicas, por Barragán *et al.* (2016) con 2470 cP para almidón nativo de yuca y por Paternina *et al.* (2016) que registraron un rango de 1900 a 3200 cP para almidones de yuca, ñame y batata; a su vez fueron inferiores a los reportados por Kaur *et al.* (2011), que obtuvieron un promedio de 5964 cP y superiores a los registrados por Zhou *et al.* (2017) de 745 cP para almidón de batata y por Aprianita *et al.* (2013) de 18,3 cP y 16,2 cP para almidones de ñame y yuca respectivamente.

Conocer las propiedades funcionales de los alimentos en general es importante porque, en cuanto al tema de raíces como ñame y yuca, aún están en una etapa inicial, ya que se han investigado en los almidones y harinas de forma aislada, pero han sido pocos los estudios aplicados a los alimentos. Además, "en la actualidad, no son ampliamente utilizados en la industria de alimentos, debido a sus propiedades funcionales limitadas por condiciones térmicas, estabilidad al esfuerzo térmico, exposición en medios ácidos, rápida tendencia a la retrogradación y alta viscosidad" (Chung *et al.*, 2008). La viscosidad en los alimentos está relacionada con su composición química y estructura del alimento. Al avanzar el proceso de la gelificación, cambia la composición, estructura y viscosidad del mismo (Vargas & Hernández, 2012). En este sentido, los almidones que presentaron alta viscosidad de pasta

durante el calentamiento podrían ser excelentes espesantes para la elaboración de alimentos para niños y para la industria de confitería (Salcedo *et al.*, 2016), y se sugiere su posible utilización en la elaboración de productos como salsas sometidas a calentamiento, aderezos para ensalada, sopas instantáneas, colados y pudines, entre otros (Techeira, 2008). Por su parte, almidones de batata con bajas viscosidades, son beneficiosos para algunas aplicaciones alimenticias, incluyendo dulces y gomas, alimentos de destete y otros alimentos líquidos, "para lo cual, se recomendaría implementar procesos de modificación, que permitan mejorar las propiedades funcionales de los almidones de batata, como es el caso de reducir su viscosidad y conseguir una mayor estabilidad a los procesos de calentamiento y enfriamiento" (Aprianita *et al.*, 2013).

La temperatura de gelatinización de los almidones evaluados se muestra en la Tabla 13, que evidencian el efecto significativo ($p<0,05$) presentado por la interacción de variedades y localidades (Anexo 33 y 34), donde el testigo Criolla con un valor de 79,80°C y la localidad del Cereté con 78,53 °C registraron los mayores promedios, mientras que la especie Chinú y la localidad del Carmen de Bolívar arrojaron los menores valores (76,01 y 77,96 °C respectivamente). Esta diferencia puede atribuirse a que la temperatura de gelatinización de los almidones puede variar por efectos a la composición y estructura molecular que posee cada gránulo. Se ha informado que entre más amilosa posea un almidón, este requerirá de una mayor temperatura para dar inicio al proceso de pastificación, debido a que el alto grado de orden intragranular dificulta el ingreso de agua al gránulo (Beleia *et al.*, 2006), siendo consistente con los resultados de amilosa observados en la Tabla 14.

"La temperatura de gelatinización es una característica específica de cada almidón en particular y depende de diversos factores, tales como el tamaño de los gránulos, la relación amilosa/amilopectina y las fuerzas intra e intermoleculares, entre otras. La temperatura de gelatinización es un índice de ordenamiento intragranular y entre mayor sea este valor, mayor será el grado de asociación de las moléculas en el interior del gránulo de almidón" (Vargas & Hernández, 2012, p.36). Al romperse los gránulos de almidón se genera una curva de reducción de viscosidad y, posteriormente, ocurre un fenómeno en el cual las moléculas solubilizadas de amilosa y las fracciones lineales de amilopectina forman reasociaciones por enlaces de hidrogeno, expresado como un aumento de la viscosidad progresivo. Este proceso

es utilizado para describir los cambios producidos al almidón después de la gelatinización, la temperatura requerida para la gelatinización de almidones es importante, porque define la proporción de energía necesaria para cocinar, y a escala industrial requiere mucha importancia en el aspecto del gasto energético (Da Rosa & Guerra, 2011). Los valores registrados para la temperatura de gelatinización de los almidones evaluados fueron consistentes con los reportados en estudios previos, donde la temperatura de gelatinización del almidón nativo de batata oscila desde 74 cP hasta 80 cP (Charles *et al.*, 2015; Zhou *et al.*, 2014). A su vez, se ha demostrado que otras fuentes como el ñame con 66,8 °C y la yuca de 61,4 °C presentan una menor temperatura de gelatinización (Aprianita *et al.*, 2013).

La batata (*Ipomoea batatas L.*) es un tubérculo que se ha destacado porque sus almidones poseen propiedades fisicoquímicas y funcionales muy particulares, su contenido en amilosa les imparte características definitivas confiriéndole mayor viscosidad y alta temperatura de gelatinización, lo que les permite atraer moléculas de agua y formar puentes de hidrógeno entre ellas, favoreciendo el aumento de la viscosidad al final del proceso de enfriamiento e incremento de otras propiedades funcionales como la absorción de agua e hinchamiento del gránulo (Osundahunsi *et al.*, 2003; Das *et al.*, 2010; Sívoli *et al.*, 2012), lo cual fue consistente con los resultados de amilosa y de CAA del almidón obtenidos, debido a que la localidad de Cereté y el testigo Criolla arrojaron las mayores viscosidades máximas y temperaturas de gelatinización y a su vez fueron uno de los almidones que presentaron mayor contenido de amilosa y mayor capacidad de absorción de agua. Destacando su aplicación en productos que requieren altas temperaturas, tales como enlatados (González, 2012).

Se observaron diferencias significativas entre la máxima viscosidad y la viscosidad alcanzada después del periodo de calentamiento ($p<0,05$), evidenciando que la interacción de localidades y variedades ejercieron un efecto sobre la estabilidad de los almidones (Anexo 35 y 36), lo cual indica que dichos almidones presentan diferentes susceptibilidades a la degradación, causada por calentamiento bajo estrés mecánico como ocurre en la cocción (Salcedo *et al.*, 2016). La variedad 440224 presenta una menor resistencia a este tipo de procesos mecánicos con promedio aproximadamente 1370,11 cP, y la variedad 199064-1 con un promedio de 1146,22 cP ofrece la mayor resistencia. En lo que corresponde a las zonas evaluadas, se presentó los mayores promedios para la localidad de Cereté con 1253,42 cP,

mientras que la localidad del Corozal arrojó los menores promedios de 1175,25 cP. Este comportamiento indica que no son resistentes al estrés mecánico y térmico, y por ende presentan menor estabilidad, que puede estar asociada a la presencia de una estructura intragranular más débil, lo que origina que sean más frágiles y susceptibles a la ruptura por fuerzas térmicas y mecánicas (Paternina *et al.,* 2016).

> "Este parámetro es un índice que da idea de la fragilidad de los gránulos de almidón durante el calentamiento y frente a determinadas fuerzas de corte. Los gránulos muy frágiles producen un pico de viscosidad seguido por una caída bien definida de esta, ya que se destruyen fácilmente con la pérdida de viscosidad. En este sentido, un valor elevado del índice Breakdown indica menor estabilidad frente a las fuerzas de corte durante el periodo de calentamiento" (Rincón *et al,* 2007, p.27).

Los valores de breakdown de los almidones evaluados fueron consistentes con estudios realizados por Salcedo *et al.* (2016) que reportó un rango entre 812 y 1588,4 para 8 variedades de batatas, superiores a los registrados por Zhou *et al.* (2014) de 717 cP y por Paternina *et al.,* (2016) de 496 cP e inferiores a lo demostrado por Kaur *et al.* (2011) de 3005 cP. Sin embargo, según Aprianita *et al.* (2013) el almidón de ñame y yuca indicaron mejor estabilidad ante este parámetro con valores de 8,5 cP y 5,8 cP, respetivamente. Por lo tanto, para los almidones de batata evaluados se recomienda realizar modificaciones y así desarrollar valores bajos de breakdown, porque esta propiedad es crucial para la producción de alimentos que involucren calor y tratamientos mecánicos en comidas enlatadas.

De modo que la variedad criolla que es la nativa de la región por ser la que presento mayor viscosidad, una temperatura de gelatinización relativamente alta y buena estabilidad con respecto a las demás variedades puede ser utilizada en la preparación de alimentos que requieren altas temperaturas, que sean resistentes al calor y que produzcan alta viscosidad como confitería dura y en la elaboración de alimentos para niños (Salcedo *et al.,* 2016).

"Los almidones nativos de las diferentes especies de vegetales tienen como característica fundamental que sus propiedades fisicoquímicas y funcionales estarán influenciadas por sus estructuras granular y molecular. Las propiedades más importantes a considerar para determinar la utilización del almidón en la elaboración de alimentos y otras aplicaciones industriales

incluye la retrogradación" (Lawal *et al.,* 2015). Los valores de viscosidad de retroceso representaron las diferencias entre la viscosidad mínima y la viscosidad final, y resultaron principalmente de los reordenamientos entre la amilosa y la amilopectina en el sistema cuando la temperatura disminuyó de 95 a 50ºC (Chen *et al.,* 2015). Como se muestra en la Tabla 15, las variedades, localidades y la interacción entre los genotipos de batata y las condiciones de la localidad en que se cultivaron (Anexo 37 y 38) influyeron significativamente en los valores de retrogradación ($p<0,05$), indicando que los almidones exhibieron tendencia a reasociarse en una estructura ordenada cuando fueron sometidos a enfriamiento, los almidones de las batatas cultivados en la localidad de Cereté obtuvieron una mayor tendencia a la retrogradación o una menor resistencia a la misma, registrando así los mayores valores, en promedio de 1129,7 cP, mientras que para Corozal se obtuvieron los valores más bajos (alrededor de 883,7 cP); la viscosidad de retrogradación de los almidones también fue dependiente de cada variedad de batata, el genotipo Chinú registró promedios de aproximadamente 1056 cP, mientras que el 440224 arrojó valores de alrededor de 924 cP. Los resultados obtenidos son consistentes con valores de referencia reportados por Zhou *et al.* (2014), que plantean que la viscosidad de retrogradación oscila entre 911-1839 cP para almidones de batatas transgénicas con alto contenido de amilosa, por Barragán *et al.* (2016) con un valor alrededor de 966 cP para almidón nativo de yuca y para otras raíces tuberosas, de 900 a 2000 cP (Paternina *et al.,* 2016).

Durante el ciclo de enfriamiento, la viscosidad final de todas las pastas de almidón aumentó rápidamente (Figura 11), debido a la formación de un gran número de enlaces intermoleculares de hidrógeno, lo que conduce a la formación de gel a baja temperatura. La viscosidad final indica la capacidad del almidón para formar una pasta después del enfriamiento y el aumento de la estabilidad de la pasta se acompaña con bajos valores de ruptura. La viscosidad final, el aumento secundario durante la fase de enfriamiento, se asocia con el fenómeno de retrogradación y se refiere al contenido de amilosa (Mishra & Rai, 2006). Según BeMiller y Whistler (2009) la proporción de amilosa-amilopectina de almidón afecta sus propiedades y usos. El almidón con alto contenido de amilosa y cadenas más largas de amilosa-amilopectina se describen generalmente como de alta tendencia a la retrogradación; en contraste, el almidón con menor contenido de amilosa es lo opuesto. Por lo cual las diferencias en los valores de retrogradación de los almidones evaluados se deben

posiblemente a la presencia de la amilosa, la baja capacidad de retrogradación de la amilopectina (Gomand *et al.*, 2010) y a una mayor asociación intermolecular entre la amilosa y la amilopectina Hoover (2001), debido a que los almidones de las batatas cultivadas en la localidad de Cereté y la variedad Chinú presentaron un alto contenido en amilosa, y a su vez arrojaron los mayores incrementos en la viscosidad cuando la pasta se enfría, es signo de que no es estable a los procesos de enfriamiento, por tanto debe tenerse en cuenta al momento de pensar en incorporar el almidón a algún producto que necesite enfriamiento durante su preparación y se recomienda su empleo "como aditivos en la industria de confitería en el desarrollo de caramelos" (Figueroa *et al.*, 2016). Por su parte, los almidones de batata cultivados en Corozal y de la variedad 199064-1, con bajo contenido de amilosa, indicaron una mayor estabilidad a los procesos de enfriamiento, por lo cual podrían ser usados en alimentos congelados o que necesiten enfriamiento durante su preparación como los flanes y pudines (Aprianita *et al.*, 2013; Paternina *et al.*, 2016). No obstante, en términos generales los almidones de batata evaluados mostraron una alta tendencia hacia la retrogradación, por lo que es necesario implementar estrategias de modificación para ampliar sus aplicaciones.

4.2.3. Caracterización estructural de los almidones de las batatas evaluadas.

4.2.3.1. Contenido de amilosa de los almidones de batata evaluados

Tabla 14. Amilosa de los almidones de batata

Parámetro (%)	***Variedad***	***Localidad***		
		Corozal	**Cerete**	**Carmen de Bolívar**
Amilosa	Chinú	$21{,}96 \pm 0{,}09^{Ba}$	$21{,}33 \pm 0{,}08^{Ca}$	$23{,}56 \pm 0{,}02^{Ac}$
	440224	$17{,}12 \pm 0{,}05^{Cd}$	$20{,}45 \pm 0{,}09^{Bc}$	$24{,}88 \pm 0{,}05^{Aa}$
	199064-1	$19{,}29 \pm 0{,}23^{Cc}$	$20{,}92 \pm 0{,}02^{Bb}$	$22{,}56 \pm 0{,}11^{Ad}$
	Criolla	$21{,}26 \pm 0{,}03^{Bb}$	$20{,}31 \pm 0{,}02^{Cc}$	$24{,}53 \pm 0{,}11^{Ab}$

Medias con letras minúsculas diferentes en columnas y con letras mayúsculas diferentes en filas indican diferencia estadísticamente significativa con forme a la prueba de Tukey ($p<0{,}05$) respecto a la localidad y variedad respectivamente.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

En cuanto al contenido de amilosa, su determinación es realmente importante, ya que permite predecir el comportamiento de la viscosidad en suspensión de almidón, al igual que "determinar las condiciones de procesamiento más idóneas de acuerdo al tipo de almidón empleado y evaluar la calidad de diferentes productos alimenticios. La fracción de amilosa, imparte características definitivas al almidón, y, por lo tanto, su concentración es considerada un criterio de calidad importante" (Techeira, 2008).

En la Tabla 14, el porcentaje de amilosa de los almidones de batata evidencian que existen diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$) entre la interacción de variedades y localidades (Anexo 40 y 41). Este parámetro muestra que, en la localidad del Carmen de Bolívar, donde se obtuvieron los mayores valores (alrededor de 23,88%) y con menores promedios acumulado la localidad de Corozal (cerca de 19,91%), por otro lado, la variedad Chinú y el testigo-Criolla presentaron promedios alrededor de 22%, mientras la especie 440224 obtuvo los valores más bajos (aproximadamente de 20,87%). Moorthy (2004) indica que las diferencias en los porcentajes de amilosa de almidones de tubérculos pueden corresponder a que las condiciones de cultivo (siembra) de las raíces afectan las propiedades físicas de los almidones. A su vez, las variaciones en el contenido de amilosa en los almidones, "ha sido atribuida a la actividad de enzimas involucradas en el proceso de síntesis y degradación del almidón, el método de aislamiento del almidón y el método analítico empleado para cuantificación de dicha fracción" (Shujun *et al.,* 2008). Así mismo, este incremento se debe a que los gránulos hinchados del almidón permiten la exudación de amilosa (Gujska *et al.,* 1994).

Los valores obtenidos de amilosa de los almidones de batatas coincidieron con los expuestos por Tecson (2007) que reportó un rango de 12,90% a 29,70%, por Hernández *et al.* (2008) con 19,6% y por Medina (2013) de 19,25% de contenido de amilosa. Los valores encontrados para los almidones en estudio son similares al contenido de amilosa en almidones de otras raíces tuberosas como lo reporta Hernández *et al.* (2008) en almidón de yuca que presentó 17%, de makal con 23,6% y de sagú con 22,69%; por Figueroa *et al.* (2016) en almidones de ñame y yuca con 22,66% y 17,93% de amilosa respectivamente.

El contenido de amilosa se considera según Riley *et al.* (2006) importante en la digestibilidad de los alimentos, ya que algunos estudios han determinado que los almidones con un bajo

contenido de amilosa son de más fácil digestión que aquellos con un alto contenido. "Industrialmente el rango amilosa/amilopectina se puede manipular genética, física y químicamente para modificar las características propias como viscosidad, gelatinización, textura, solubilidad, estabilidad del gel y retrogradación, para darle propiedades industriales estables" (Vargas & Hernández, 2012, p.19).

Los almidones ricos en amilosa son preferidos comercialmente, por los geles que se adquieren con ellos, presentan mejores propiedades mecánicas, son menos solubles y muestran mayor resistencia a la degradación química o enzimática (Pomeranz, 1991). No obstante, el contenido de amilosa posee otra consecuencia en el almidón, esta cadena es la responsable del fenómeno de retrogradación, siendo para cada almidón una tendencia distinta, a causa que la amilopectina es difícil que la desarrolle, ya que sus ramificaciones impiden la formación de puentes de hidrogeno con moléculas adyacentes (Badui, 2006).

4.2.3.2. Espectroscopia de infrarrojo (FT-IR) del almidón de las variedades de batatas evaluadas en las diferentes localidades.

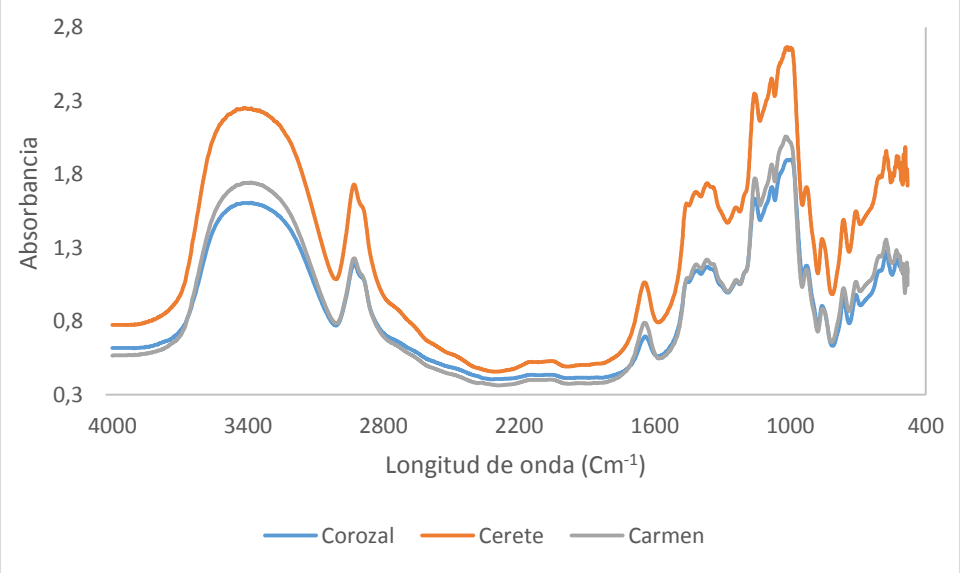


Figura 12. Espectroscopia de infrarrojo del almidón de la variedad Chinú en las localidades evaluadas.
Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

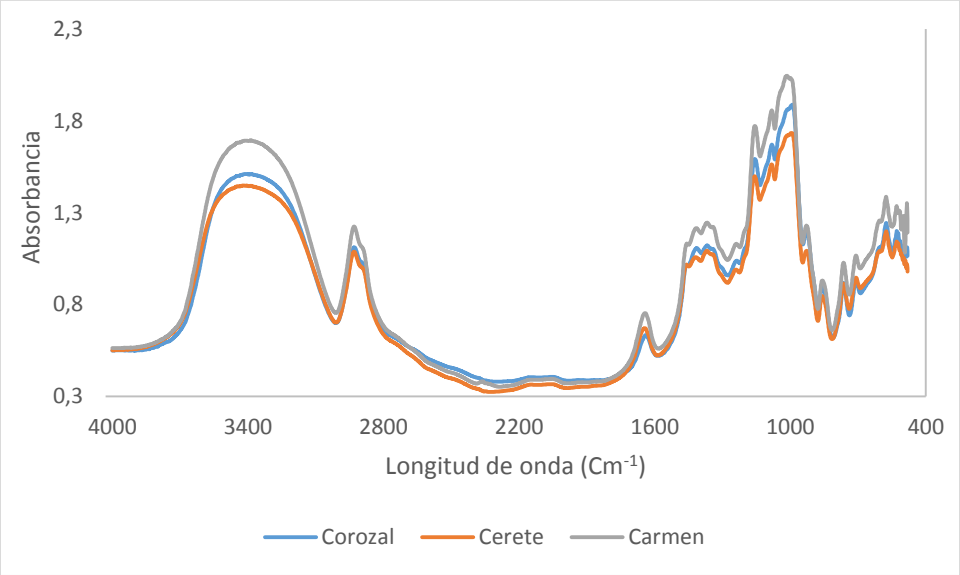


Figura 13. Espectroscopia de infrarrojo del almidón de la variedad 440224 en las localidades evaluadas.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

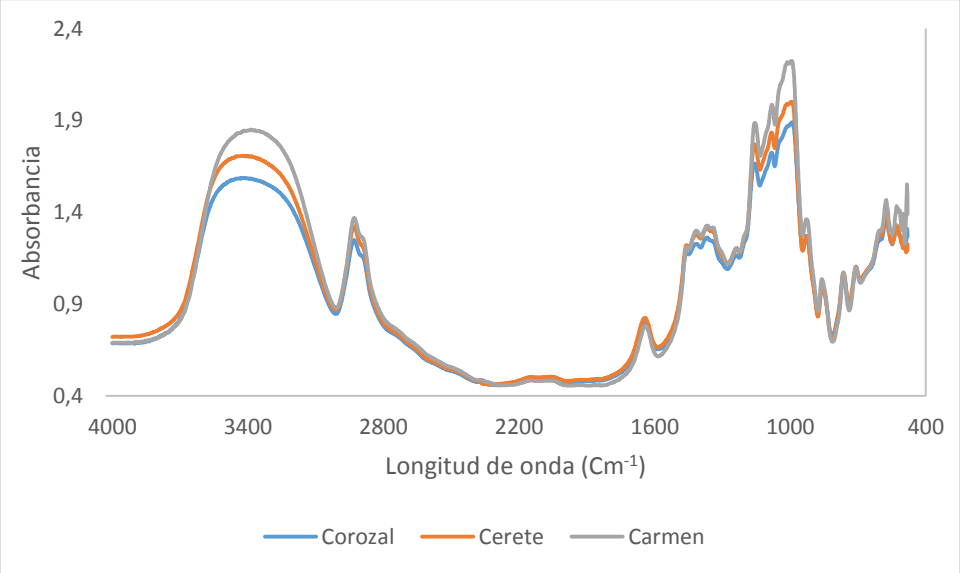


Figura 14. Espectroscopia de infrarrojo del almidón de la variedad 199064-1 en las localidades evaluadas.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

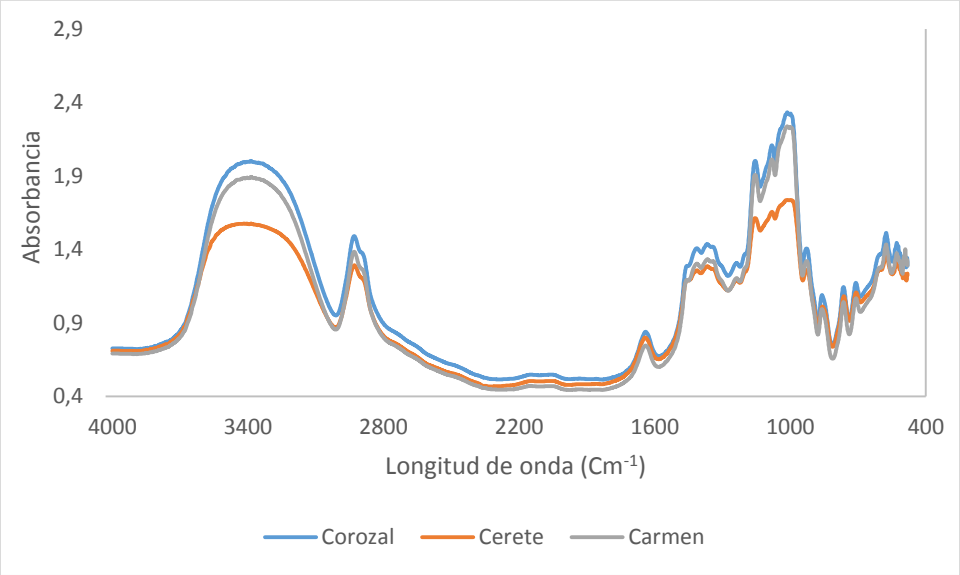


Figura 15. Espectroscopia de infrarrojo del almidón del testigo Criolla en las localidades evaluadas.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

La "información obtenida con esta técnica está relacionada con el ordenamiento de corto rango en la molécula de almidón" (Agama *et al.*, 2005). Las figuras 12, 13, 14 y 15 muestran un comportamiento similar en las señales de absorbancia de los almidones de las distintas variedades de batata desde 400 hasta 4000 cm^{-1}, donde se presentó un intervalo de absorción de una banda ancha y fuerte entre 3385 y 3423 cm^{-1}; estas bandas corresponden a alargamientos de los grupos OH (Xu *et al.*, 2004; Ruiz, 2006) de los grupos hidroxilo libres enlazados intra e intermolecularmente presentes en las unidades de anhidroglucosa de la amilosa y la amilopectina (Athawale & Lele, 2000; Guo *et al.*, 2014). Longitudes de onda entre 2850 - 3000 cm^{-1}, se asocian a la tensión CH de la unidad de anhidro glucosa de las moléculas de almidón (Xu *et al.*, 2004), indicando la presencia de grupos metilenos (CH_2) (Enríquez *et al.*, 2013), los cambios de intensidad en este rango pueden atribuirse a las variaciones en la cantidad de amilosa y amilopectina presentes en los almidones (Andrade *et al.*, 2012). Se observaron otros enlaces de absorción característicos entre 1639 cm^{-1} y 1645 cm^{-1}, correspondientes al agua estrechamente ligada (H_2O) en las moléculas del almidón, y entre 1158 cm^{-1} y 990 cm^{-1}, que se atribuyeron a la extensión del enlace CO (Khalili *et al.*, 2011). Los picos cercanos a 990 cm^{-1} se asocian al enlace CO de COC, y los picos alrededor de 1081 y 1158 cm^{-1} se atribuyen principalmente al anillo anhidroglucosa CO tramo de COH

en almidón (Guo *et al.,* 2014). Por su parte, las bandas 1158 y 1081 cm^{-1} se encuentran asociadas a las estructuras ordenadas del almidón, mientras que la banda a 990 cm^{-1} está asociada estructuras amorfas del almidón (Sevenou *et al.,* 2002; Khatoon *et al.,* 2009).

El comportamiento observado para los espectros I.R evaluados coinciden con la identificación molecular de almidones nativos presentada por Salcedo *et al.* (2016), en el cual se analiza cualitativa y cuantitativamente almidones de diferentes cultivares de batata, presentándose los picos más relevantes en una franja comprendida entre 3900 y 1087 cm^{-1}, indicando la presencia de grupos OH, CH y CO, a su vez mantuvo similitud con almidones nativos de yuca y ñame, donde se presentan rangos de longitud de onda entre 500 cm^{-1} y 4000 cm^{-1} y picos característicos en 3000-3900 cm^{-1} y 1087 cm^{-1} (Figueroa *et al.,* 2016; Salcedo *et al.* 2016)

5. CONCLUSIONES

Las variedades de *Ipomea Batata (L.) Lam* evaluadas en la costa Caribe Colombiana, presentaron un gran potencial en sus distintas propiedades, la variedad Chinú cultivada en Cereté mostró su aplicabilidad como un excelente insumo para la producción de alimentos nutritivos, bien sea para consumo fresco o para la elaboración de productos agroindustriales debido a sus altos contenidos en fibra, ceniza, sólidos solubles y su alta capacidad de retención de agua. La variedad 440224 cultivada en Cereté con los mayores rendimientos de MS por ha, se identificó como de doble propósito, tanto para la producción de harinas y almidones por sus altos rendimientos. Por su parte, las harinas evaluadas presentaron buena estabilidad a procesos de calentamiento, indicando que son resistentes al estrés térmico y mecánico para la formulación de productos alimenticios que requieran viscosidades estables como pastas, además teniendo en cuenta los valores de setback en las harinas se pueden considerar como posible potencial para elaboración de productos de panadería.

El almidón extraído de la variedad criolla que es la nativa de la región, al presentar una buena estabilidad, una alta viscosidad máxima y una temperatura de gelatinización relativamente alta, presenta un gran potencial hacia la preparación de alimentos resistentes al calor y que produzcan alta viscosidad como confitería dura y en la elaboración de alimentos para niños. A su vez, por su alto contenido en amilosa presentaron una tendencia hacia la retrogradación, por lo que es necesario implementar estrategias de modificación para ampliar sus aplicaciones.

A través, de un análisis de espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier (FT-IR), se corrobora la presencia de los componentes principales asociados a las estructuras de los gránulos de harina y almidón. En términos generales se observó un comportamiento similar en las señales de absorbancia de las harinas y almidones evaluados, indicando la presencia de grupos OH, CH, CO, H_2O entre otros enlaces característicos tanto de la harina como del almidón de batata.

6. RECOMENDACIÓNES

- En vista de todos los beneficios que brinda el cultivo de la batata y el alto potencial de rendimiento y adaptación a diferentes zonas agroecológicas y las potencialidades que puede llegar a tener en generación de empleo, se recomienda a las autoridades agrícolas de las zonas evaluadas incentivar y promover la siembra de este tubérculo como opción agrícola real y como una alternativa de rentabilidad y competitividad tanto para el mercado interno de la región como a nivel internacional, con la finalidad de fortalecer el concepto y la aplicación de un modelo sostenible de desarrolló agroindustrial del cultivo de batata, en el cual se le dé prioridad a la recuperación de este tubérculo como recurso genético, para la generación de alternativas viables y provechosas de la industria alimentaria y no alimentaria, y a su vez con ello, contribuir a la reducción de las importaciones de granos, especialmente de maíz, que en 1998 superaron las 2 millones de toneladas con un costo de 2,5 millones de dólares.

- Desarrollar un estudio sobre los suelos y las condiciones climáticas (clima, humedad, temperatura, precipitación, tipo de suelo, minerales presentes en el suelo, etc.), con la finalidad de conocer con exactitud cuáles son los parámetros que repercuten en las propiedades de las batatas, y por ende, favorecen las características fisicoquímicas, proximales, tecno-funcionales y estructurales de este tubérculo.

- Las variedades de batata que arrojaron los mayores contenidos de materia seca, proteína y almidón, presentaron bajos rendimientos en cuanto a la producción del cultivo, por lo cual, se sugiere principalmente para las localidades del Carmen de Bolívar y Corozal mejorar las condiciones de siembra y de los suelos de cultivo, con la finalidad de aumentar la producción de raíces/ha, que, junto a los altos contenido de materia seca, proteína y almidón, representarían excelentes rendimientos para la aplicabilidad industrial de la batata.

- Los almidones nativos de las batatas evaluadas mostraron limitaciones por su baja resistencia al corte, descomposición térmica y alto nivel de retrogradación, para lo cual se recomienda procesos de modificación de la estructura nativa por métodos físicos, químicos y enzimáticos dando lugar a derivados de almidón con aplicaciones potenciales en la agroindustria.

- Se recomienda además continuar con el desarrollo de investigaciones de esta índole, con productos agrícolas que sean cultivados en la región y que no han tenido la oportunidad de conocer otros valores además de los alimenticios, es decir, determinar si desde el punto de vista agroindustrial es posible conocer sus ventajas y beneficios, al igual que las posibilidades de convertirse en una fuente generadora de bienestar y economía.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Acuña, P. 2012. Extracción, caracterización y aplicación de almidón de ñame variedad blanco (Dioscorea trífida) originario de la región amazónica colombiana para la elaboración de productos horneados. Doctoral dissertation, Tesis de Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Bogotá, DC. p33-34.

Adebajo, M. O. & Frost, R. L. 2004. Acetylation of raw cotton for oil spill cleanup application: an FTIR and 13 C MAS NMR spectroscopic investigation. Spectrochimica Acta Part A: *Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 60(10), 2315-2321. Doi: 10.1016/j.saa.2003.12.005

Agama, E., Ottenhof, M., Farhat, I., Paredes, O., Ortiz, J., & Bello, L. A. 2005. Aislamiento y caracterización del almidón de maíces pigmentados. Agrociencia, 39(4), 419-429.

Agronet: Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario de Colombia. 2008. Estadística de producción del cultivo de batata en Colombia. Tomado de: www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx

Agronet: Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario de Colombia. 2014. Estadística de producción del cultivo de yuca y ñame en Colombia. Tomado de: www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx

Aguilera, M. 2012. La yuca en el Caribe colombiano: De cultivo ancestral a agroindustrial. Banco de la República-Economía Regional.

American Association of Cereal Chemists (AACC) 2012. Approved methods. 11 ed. Saint Paul, Minnesota: AACC.

Cereal Laboratory Methods. The American Association of Cereal Chemists (AACC) 2000. Inc. St. Paul, USA. Vols. I y II, Methods: 44-15A

Andrade, M. M., Tapia, D. R., & Menegalli, F. C. 2012. Physical–chemical, thermal, and functional properties of achira (Canna indica L.) flour and starch from different geographical origin. *Starch-Stärke*, 64(5), 348-358. Doi: 10.1002/star.201100149

Andrade, R. D., Torres, R., Montes, E. J., Pérez, O. A., Acuña, C. A., & Narváez, G. J. 2009. Obtención de Aguardiente a partir de Batata (Ipomea batatas). *Temas Agrarios*, 14(1), 39-45.

Aprianita, A., Vasiljevic, T., Bannikova, A. & Kasapis, S. 2013. Physicochemical properties of flours and starches derived from traditional Indonesian tubers and roots. *Journal of food science and technology*, 51(12), 3669-3679. Doi: 10.1007/s13197-012-0915-5

Aristizábal, J., Sánchez, T. & Lorío, D. M. 2007. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.Association of Official Analytical Chemists (AOAC) 2004. Official Method of Analysis, 12th ed., International, Washington D.C.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC) 2005. Official Methods 925.10 (32.1.03) – Solids (total) and Moisture in Flour – Air Oven Methods: Official Methods of Analysis of AOAC International.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC) 2016. Official Methods of Analysis. 20th ed. Washington D.C: Association of Official Analytical Chemists. Cap 4. Page 1-77.

Argenti, P., & Espinosa, F. 2000. Alimentación alternativa para cerdos. *Fonaiap Divulga* (Venezuela). (61), 32-35.

Athawale, V. D., & Lele, V. 2000. Thermal studies on granular maize starch and its graft copolymers with vinyl monomers. *Starch-Stärke*, 52(6-7), 205-213. Doi: 10.1002/1521-379X(200007)52:6/7<205::AID-STAR205>3.0.CO;2-3

Austin, D. 1987. Taxonomy, evolution and genetic diversity of sweet potatoes and related wild species. pp. 27-60. En: Exploration, maintenance and utilization of sweet potato genetic resources. Proc. Planning Conf. 1987. Centro Internacional de la Papa, Lima.

Badui, S. 2006. Química de los alimentos. 4ta Ed. Pearson Education. México D.F. p 94-104.

Barragán, K., Salcedo, J., & Figueroa, J. 2016. Propiedades tecno-funcionales de almidón modificado de yuca (Manihot esculenta C.) por pregelatinización tipo batch.

Agronomía Colombiana, 34(1Supl), S317-S320. Doi: 10.15446/agron.colomb.v34n1supl.58034.

Barnes, S., & Sanders, S. 2012. Avances en el uso funcional de la batata [Ipomoea batatas (L.) Lam]. Recent Pat. *Food Nutr. Agric*, 4, 148-54.

Beleia, A., Butarelo, S. S., & Silva, R. S. 2006. Modeling of starch gelatinization during cooking of cassava (Manihot esculenta Crantz). *LWT-Food Science and Technology*, 39(4), 400-405. Doi: 10.1016/j.lwt.2005.02.021

BeMiller, J. N., & Whistler, R. L. 2009. Starch: chemistry and technology. Third Eds. Academic Press.

Bermúdez, S. 2006. Defienden el boniato para la elaboración de alcohol. Diario El Observador. Enero 12 de 2006. Uruguay.

Bou, L., De Vizcarrondo, C., Rincón, A. & Padilla, F. 2006. Evaluación de harinas y almidones de mapuey (Dioscorea trifida), variedades blanco y morado. *Arch. Latinoam. Nutr*. 56(4), 375-383.

Brabet, C., Reynoso, D., Dufour, D., Mestres, C., Arredondo, J., & Scott, G. 2013. Starch content and properties of 106 sweetpotato clones from the world germplasm collection held at CIP, Peru. Korea, 2(1), 1.

Burga, J. L. 1987. Situación del cultivo de la batata o camote en el Perú. Mejoramiento de la batata (Ipomoea batatas) en Latinoamérica: memorias del Seminario sobre Mejoramiento de la Batata (Ipomoea batatas) en Latinoamérica que tuvo lugar en el CIP, Lima, del 9 al 12 de junio de 1987, 99.

Canene-Adams, K., Campbell, J. K., Zaripheh, S., Jeffery, E. H., & Erdman, J. W. 2005. The tomato as a functional food. *The Journal of nutrition*, 135(5), 1226-1230.

Castaño, H., Cardona, M., Mejía, C., & Acosta, A. 2011. Producción de etanol a partir de harina de yuca en un sistema de hidrólisis enzimática y fermentación simultánea. *Dyna*, 78(169), 158-166.

Castillo, R., Brenes, A., Esker, P., & Gómez, L. 2014. Evaluación agronómica de trece genotipos de camote (Ipomoea batatas L.). *Agronomía Costarricense*, 38(2).

Chacón, A. & Reyes, Y. 2009. Efecto del Empaque Sobre la Textura y el Color del Camote (Ipomoea batatas L.) Durante el Proceso de Curado. *Agronomía Mesoamericana*, 20(1), 47-57

Charles, A. L., Cato, K., Huang, T. C., Chang, Y. H., Ciou, J. Y., Chang, J. S., & Lin, H. H. 2015. Functional properties of arrowroot starch in cassava and sweet potato composite starches. *Food Hydrocolloids*, 53, 187-191. Doi: 10.1016/j.foodhyd.2015.01.024.

Chen, H. M., Fu, X., & Luo, Z. G. 2015. Effect of gum arabic on freeze-thaw stability, pasting and rheological properties of tapioca starch and its derivatives. *Food Hydrocolloids*, 51, 355-360. Doi: 10.1016/j.foodhyd.2015.05.034

Chen, Z., Schols, H., & Voragen, G. 2003. Physicochemical Properties of starches obtained of three varieties of Chinese sweet potatoes. *Journal Food Science*, 68(2), 431-437. Doi: 10.1111/j.1365-2621.2003.tb05690.x

Chung, J. H., Han, J. A., Yoo, B., Seib, P. A., & Lim, S. T. 2008. Effects of molecular size and chain profile of waxy cereal amylopectins on paste rheology during retrogradation. *Carbohydrate polymers*, 71(3), 365-371. Doi: 10.1016/j.carbpol.2007.05.018

Colussi, R., Mello, S., Zanella, V., Bartz, J., Gutkoski, L., Zavareze, E., & Guerra, A. 2015. Acetylation of rice starch in an aqueous medium for use in food. *LWT-Food Science and Technology*, 62(2), 1076- 1082. Doi: 10.1016/j.lwt.2015.01.053.

Contreras, M., Martínez, G., Zavaleta, M., & Maccha, V. 2015. Gelatinización y gelificación de almidones. Universidad Nacional de Callao, Facultad de ingeniería química.

Cosumano, C., & Zamudio, N. 2013. Manual técnico para el cultivo de batata (camote o boniato) en la provincia de Tucumán (Argentina). Ediciones INTA. p48.

Crosbie, G. B. 1991. The relationship between starch swelling properties, paste viscosity and boiled noodle quality in wheat flours. *Journal of cereal science*, 13(2), 145-150. Doi: 10.1016/S0733-5210(09)80031-3.

Da Rosa, E. & Guerra, A. 2011. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A review. *Carbohydrate Polymers*, 83(2), 317-328. Doi: 10.1016/j.carbpol.2010.08.064

Das, A. B., Singh, G., Singh, S., & Riar, C. S. 2010. Effect of acetylation and dual modification on physico-chemical, rheological and morphological characteristics of sweet potato (Ipomoea batatas) starch. *Carbohydrate Polymers*, 80(3), 725-732. Doi: 10.1016/j.carbpol.2009.12.018

Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE). Resultados de la encuesta nacional agropecuaria (ENA), 2013. Disponible en: http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/Estad%C3%ADsticas.aspx

Dini, I., Tenore, G. & Dini, A. 2009. Saponins in Ipomoea batatas Tubers: Isolation, Characterization, Quantification and Antioxidant Properties. *Food Chemistry*, 113(2), 411-419. Doi: 10.1016/j.foodchem.2008.07.053

Durán, N. P. & Rojas, M. A. 2013. Propuesta metodológica para la evaluación de las características fisicoquímicas de dos variedades de yuca (Manihot esculenta Crantz), utilizadas como materia prima para la preparación de hojuelas fritas. *Scientia ettechnica*, 18(3), 553-560.

Eguchi, T. 2000. Sweetpotato studies for understanding tuberous root growth hidden below ground. *Biotronics*, 29, 97-107.

Enríquez, M., Velasco, R. & Fernández, A. 2013. Caracterización de almidones de yuca nativos y modificados para la elaboración de empaques biodegradables. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(2), 21-30.

Espinosa, S. V. 2008. Estudios estructurales de almidón de fuentes no convencionales: mango (Mangifera indica L.) y plátano (Musa paradisiaca L.) (Doctoral dissertation, Tesis para obtener el grado de Maestría. CEPROBI-IPN. Yautepec, Morelos).

Ferreira, J., De Oliveira, A., & Sossela, R. 2012. Caracterización de las variedades de batata y las indicaciones para el uso doméstico y tecnológico. *Bras. Tec. Agroind*, 6, 730-738.

Figueroa, J., Salcedo, J., & Rodríguez, M. 2016. Almidones acetilados de yuca y ñame para uso alimentario. *Agronomía Colombiana*, 34(1), S785-S788.

Flórez, D.H., Contreras, C.A., & Uribe, C.P. 2016. Perspectivas tecnológicas y comerciales para el cultivo de la batata en Colombia. Mosquera: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). Obtenido de http://digitool.gsl.com.mx:1801/webclient/StreamGate?folder_id=0&dvs=1497110508028~909

Flores, F. F., Lozano, F. Y., Ramos, A., Salgado, R., Guerrero, V. M., Ramírez, S., Bello, L.A. & Zamudio, P. B. 2014. Caracterización fisicoquímica, reológica y funcional de harina de avena (Avena sativa L. cv Bachíniva) cultivada en la región de Cuauhtémoc, Chihuahua. *Tecnociencias*, 8(3), 152-162.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO-STAT) 2014. Reporte Producción de cultivos. Recuperado de: http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC

Freitas, A., Paula, C., Feitosa, A., Rocha, S. & Sierakowski, R. 2004. Amylose contents, rheological properties and gelatinization kinetics of yam (Dioscorea alata) and cassava (Manihot utilissima) starches. *Carbohydrate polymers*, 55(1), 3-8. Doi: 10.1016/S0144-8617(03)00142-5

García, A. D., Pérez, M. Y., García, A. A. & Madriz, P. M. 2016. Caracterización postcosecha y composición química de la batata (Ipomoea batatas (L.) Lamb.) variedad Topera. *Agronomía Mesoamericana*, 27(2), 287-300. Doi: 10.15517/am.v27i2.21426

García, A., Pérez, E. & Dávila, R. 2012. Características físicas, químicas y funcionales de las harinas obtenidas por secano del ñame, ocumo y mapuey. *Agronomía Tropical*, 62(1-4), 051-068.

García, J. 2015. Efecto del tratamiento con altas presiones sobre la pre-gelatinización de arroz en grano y harina de arroz. Tesis de grado, Universidad Pública de Navarra.

García, O. R., Pinzón, M. I. & Sánchez, L. T. 2012. Extracción y propiedades funcionales del almidón de yuca, Manihot esculenta, variedad ICA, como materia prima para la elaboración de películas comestibles. @ limentech, *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 11(1), 13-21.

Gichuhi, P., Kpomblekou, K. & Bovell, A. 2014. Nutritional and physical properties of organic Beauregard sweet potato [Ipomoea batatas (L.)] as influenced by broiler litter application rate. *Food Sci Nutr,* 2(4), 332–340. Doi: 10.1002/fsn3.108.

Gomand, S. V., Lamberts, L., Visser, R. G. F., & Delcour, J. A. 2010. Physicochemical properties of potato and cassava starches and their mutants in relation to their structural properties. *Food Hydrocolloids*, 24(4), 424-433. Doi: 10.1016/j.foodhyd.2009.11.009

González, A., Alvis, A. & Arrázola, G. 2015. Efecto del recubrimiento comestible en las propiedades de trozos de batata (Ipomoea Batatas Lam) fritos por inmersión. Parte 1: Textura. *Información Tecnológica*, 26(1), 95-102. Doi: 10.4067/S0718-07642015000100011

González, A., Romero, M., & Basilio, V. 1997. Utilización de la harina de raíz de batata (Ipomoea batatas (L) lam) como fuente energética en dietas para pollos de engorda. Universidad central de Venezuela. *Arch. Latinoam. Prod. Animal*, 5(Supl 1), 313-315.

González, G. 2012. Desarrollo de productos con alto contenido de almidón para la industria de alimentos. 1era Ed. UNIAGRARIA. Colombia.

González, J., Royano, L., Parralejo, A., & Cabanillas, J. 2015. Cultivos energéticos. Biocombustibles y bioproductos. La agricultura y la ganadería extremeñas en 2015. Obtenido de https://www.unex.es/conoce-la-uex/centros/eia/archivos/iag/2015/2015-11-la-energia-del-campo-biocombustibles-y.pdf.

Granados, C., Guzman, L. E., Acevedo, D., Díaz, M., & Herrera, A. 2014. Propiedades funcionales del almidón de sagu (Maranta arundinacea). *Biotecnología en el Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 12(2), 90-96.

Guigou, M. 2011. Producción de bioetanol combustible a partir de Boniato. Universidad de la Republica. Uruguay: Facultad de ciencias (Biotecnología). Obtenido de http://www.bib.fcien.edu.uy/files/etd/biotec/uy24-16069.pdf

Gujska, E., Reinhard, W. D., & Khan, K. 1994. Physicochemical Properties of Field Pea, Pinto and Navy Bean Starches. *Journal of Food Sciencie*, 59(3), 634-636. Doi: 10.1111/j.1365-2621.1994.tb05580.x

Guo, J., Liu, L., Lian, X., Li, L., & Wu, H. 2014. The properties of different cultivars of Jinhai sweet potato starches in China. *International journal of biological macromolecules*, 67, 1-6. Doi: 10.1016/j.ijbiomac.2014.03.002

Hernández, M. & Vergara, A. 2008. Elaboración y evaluación de un adhesivo a partir del almidon de yuca nativo (Manihot sculenta crantz), variedad M-TAI, utilizando hidroxido de sodio como agente hidrolizante (Doctoral dissertation). Transformación y conservación de materias primas de origen vegetal.

Hernández, M., Montes, A. I., Rodríguez, B., Hernández, L., Medina, C. E., Ríos, D., Rodríguez, E.M., & Diaz, C. 2016. Application of multidimensional scaling technique to differentiate sweet potato (Ipomoea batatas (L.) Lam) cultivars according to their chemical composition. *Journal of Food Composition and Analysis*, 46, 43-49. Doi: 10.1016/j.jfca.2015.10.008

Hernández, M.; Torruco J. G.; Chel, L., & Betancur, D. 2008. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciênc. Tecnol. Aliment. Campinas*, 28(3), 718-726. Doi: 10.1590/S0101-20612008000300031

Hernández, P. & Jiménez, M. T. 2010. Propiedades funcionales y aplicaciones industriales de los fructo-oligosacáridos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 4(1), 1-8.

Henao, S. & Aristizábal, J. 2009. Influencia de la variedad de yuca y nivel de sustitución de harinas compuestas sobre el comportamiento reológico en panificación. *Ingeniería e investigación*, 29(1), 39-46.

Hoover, R. 2001. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. *Carbohydrate polymers*, 45(3), 253-267. Doi: 10.1016/S0144-8617(00)00260-5

Hoseney C. R. 1991. Principios de ciencia y tecnología de cereales. Edit. Acribia. Zaragoza, España. p159.

Huang, C., Chiang, Y., Chen, Y. & Wang, R. 2007. Chemical compositions and enzyme activity changes occurring in yam (Dioscorea alata) tubers during growth. *Food science and technology*, 40(9), 1498-1506. Doi: 10.1016/j.lwt.2006.12.006

Huang, J., Schols, H. A., Klaver, R., Jin, Z., & Voragen, A. G. 2007. Acetyl substitution patterns of amylose and amylopectin populations in cowpea starch modified with acetic anhydride and vinyl acetate. *Carbohydrate Polymers*, 67(4), 542-550. Doi: 10.1016/j.carbpol.2006.06.027

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) 2002. Alimentos para animales. Yuca integral seca para consumo animal. NTC 3528. Bogotá.

International Organization for Standarization (ISO) 2015. Determination de la teneur en amylose. 6647:1987. Switzerland.

Jiménez, M. E., & Sammán, N. 2014. Caracterización química y cuantificación de fructooligosacáridos, compuestos fenólicos y actividad antirradical de tubérculos y raíces andinos cultivados en el noroeste de Argentina. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 64(2), 131-138.

Julianti, E., Rusmarilin, H., & Yusraini, E. 2015. Functional and rheological properties of composite flour from sweet potato, maize, soybean and xanthan gum. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 2(16), 171-177. Doi: 10.1016/j.jssas.2015.05.005.

Karim, A. A., Nadiha, M. Z., Chen, F. K., Phuah, Y. P., Chui, Y. M., & Fazilah, A. 2008. Pasting and retrogradation properties of alkali-treated sago (Metroxylon sagu) starch. *Food Hydrocolloids*, 22(6), 1044-1053. Doi: 10.1016/j.foodhyd.2007.05.011

Kathabwalika, D.M., Chilembwe, H.C., & Mwale, V.M. 2016. Evaluation of dry matter, starch and beta-carotene content in orange-fleshed sweet potato (Ipomoea batatas L.) genotypes tested in three agro-ecological zones of Malawi. *African Journal of Food Science*, 10(11), 320-326. Doi: 10.5897/AJFS2016.1471.

Kathabwalika, D. M., Chilembwe, H. C., Mwale, V. M., Kambewa, D. & Njoloma, J. P. 2013. Plant growth and yield stability of orange fleshed sweet potato (Ipomoea batatas) genotypes in three agro-ecological zones of Malawi. *Int. Res. J. Agric. Sci. Soil Sci*, 3(11), 383-392.

Khatoon, S., Sreerama, Y. N., Raghavendra, D., Bhattacharya, S., & Bhat, K. K. 2009. Properties of enzyme modified corn, rice and tapioca starches. *Food research international*, 42(10), 1426-1433. Doi: 10.1016/j.foodres.2009.07.025

Kaur, M., Oberoi, D. P. S., Sogi, D. S., & Gill, B. S. 2011. Physicochemical, morphological and pasting properties of acid treated starches from different botanical sources. *Journal of food science and technology*, 48(4), 460-465. Doi: 10.1007/s13197-010-0126-x

Kaur, M., & Singh, N. 2005. Studies on functional, thermal and pasting properties of flours from different chickpea (Cicer arietinum L.) cultivars. *Food Chemistry*, 91(3), 403-411. Doi: 10.1016/j.foodchem.2004.06.015

Khalili, C. I., Long, H., Jun, B. & Shi, J. 2011. Effects of acetic acid/acetic anhydride ratios on the properties of corn starch acetates. *Food chemistry*, 126(4), 1662-1669. Doi: 10.1016/j.foodchem.2010.12.050

Kunyanga, C., Imungi, J., Okoth, M., Vadivel, V. & Biesalski, H. K. 2012. Development, acceptability, and nutritional characteristics of a low-cost, shelf-stable supplementary food product for vulnerable groups in Kenya. *Food and nutrition bulletin*, 33(1), 43-52.

Lago, L. 2011. El cultivo de la batata: una oportunidad agroalimentaria para pequeños productores de clima calido. Convenio entre SENA-SAC. Luisa Santiago. Obtenido de http://www.sac.org.co/images/contenidos/Cartillas/Cartilla%20Batata.pdf.

Lai, Y. C., Wang, S. Y., Gao, H. Y., Nguyen, K. M., Nguyen, C. H., Shih, M. C., & Lin, K. H. 2015. Physicochemical properties of starches and expression and activity of starch biosynthesis-related genes in sweet potatoes. *Food chemistry*, 199, 556-564. Doi: 10.1016/j.foodchem.2015.12.053

Lawal, M. V., Odeniyi, M. A., & Itiola, O. A. 2015. Material and rheological properties of native, acetylated, and pregelatinized forms of corn, cassava, and sweet potato starches. *Starch-Stärke*, 67(11-12), 964-975. Doi: 10.1002/star.201500044.

Lawal, O. S. 2004. Composition, physicochemical properties and retrogradation characteristics of native, oxidised, acetylated and acid-thinned new cocoyam (Xanthosoma sagittifolium) starch. *Food chemistry*, 87(2), 205-218. Doi: 10.1016/j.foodchem.2003.11.013

Lebot, V. 2009. Tropical root and tuber crops: cassava, sweet potato, yams and aroids (No. 17). Cabi.

Lee, H. L. & Yoo, B. 2011. Effect of hydroxypropylation on physical and rheological properties of sweet potato starch. *LWT-Food Science and Technology*, 44(3), 765-770. doi: 10.1016/j.lwt.2010.09.012

Lee, J. H., Cho, A. R., Hong, J. Y., Park, D. J., & Lim, S. T. 2012. Physical properties of wheat flour composites dry-coated with microparticulated soybean hulls and rice flour and their use for low-fat doughnut preparation. *Journal of cereal science*, 56(3), 636-643. Doi: 10.1016/j.jcs.2012.08.011

Li, Q., Li, D., Wang, L., Özkan, N., & Mao, Z. 2010. Dynamic Viscoelastic Properties of Sweet Potato Studied y Dynamic Mechanical Analyzer. *Carbohydrate Polymers*, 79(3), 520-525. Doi: 10.1016/j.carbpol.2009.08.035

Lindeboom, N., Chang, R., & Tyler, T. 2004. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review. *Starch-Stärke*, 56(3-4), 89-99. Doi: 10.1002/star.200300218

López, E. Ñ., Castellanos, M. S., & Abril, M. S. 2009. Acumulación y distribución de materia seca de cuatro variedades de papa (Solanum tuberosum L.) en Zipaquirá, Cundinamarca (Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 62(1), 4823-4834.

Lu, T., Duh, C., Lin, J. & Chang, Y. 2007. Effect of granular characteristics on the viscoelastic properties of composites of amylose and waxy starches. *Food hydrocolloids*, 22(1), 164-173. Doi: 10.1016/j.foodhyd.2007.04.001

Lucas, J., Quintero, V. & Cárdenas, C. 2013. Caracterización de harina y almidón obtenidos a partir de plátano guineo AAAea (Musa sapientum L.). *Acta Agronómica*, 62(2), 83-96.

Madrigal, L., & Sangronis, E. 2007. La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 57(4), 387-392

Maloney, K. P., Truong, V.-D., & Allen, J. C. 2014. Susceptibility of sweet potato (Ipomoea batatas) peel proteins to digestive enzymes. *Food Science & Nutrition*, 2(4), 351–360. Doi: 10.1002/fsn3.110

Martí, H. R. 2008. La batata: oportunidades para una hortaliza subutilizada. *Boletín Hortícola*, 13, 14-17.

Martí, H. R., D'Chudil, H., & Corbino, G. 2011. La batata: el redescubrimiento de un cultivo. *Ciencia hoy*, 21(121), 17-23.

Martí, H., Chiandussi, M., & Filippi, M. 2014. Producción agroecológica de batata para el gran cultivo y la huerta. Instituto Nacional de Tecnología agropecuaria-INTA.

Medina, L. 2013. Obtención de Maltodextrinas por vía enzimática a partir del almidón de camote (Ipomoea batatas). Instituto Politecnico Nacional. Centro Interdisciplinario de investigación para el desarrollo integral regional. CIIDIR-IPN-Michoacan.

Mendoza, H.A., Espinoza, J.A. & Vallejo, R.L. 1987. Centro internacional de la papa. Mejoramiento de la Batata (Ipomoea batatas) en Latinoamérica. Memorias del seminario sobre Mejoramiento de la Batata (Ipomoea batatas) en Latinoamérica. CIP, Lima, junio 9-12, 1987. p201

Métodos de análisis de la asociación oficial (AOAC). 2003. Química analítica para determinar humedad., Washington, U.S.A., Chapter 32: 1, 2, 5 y 14.

Miller, G.L. 1959. Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Anal Chem*, 31(3), 426–428. Doi: 10.1021/ac60147a030.31.

Mirabelli, E. 2008. El compostaje proyectado a la lombricultura. Buenos Aires, Editorial Hemisferio Sur. p 40-41.

Mishra, S., & Rai, T. 2006. Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. *Food hydrocolloids*, 20(5), 557-566. Doi: 10.1016/j.foodhyd.2005.01.001

Molina Montes, M. E., & Martín Islán, Á. P. 2007. La fibra dietética procesada como alimento funcional: fomento de su consumo desde la oficina de farmacia. Offarm: *Farmacia y Sociedad*, 26(1), 70-77.

Mondragón, M. 2004. Estudio comparativo de cambios estructurales funcionales en almidones de maíz nixtamalizado (Doctoral dissertation). Instituto Politécnico Nacional, México.

Montes, A.I., Oropeza, R.A., Díaz, C., Rodríguez, E.M. & Arias, J.J. 2010. Composición mineral y comparación de raíces reservantes de variedades de batatas (Ipomoea batatas (L.) Lam.) cultivadas en la isla de La Palma, España. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1), 001-019.

Moorthy, S. 2004. Starch in food: structure, function and applications. Cambridge: Publishing Limited Woodhead.

Moorthy, S. N. 2002. Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: a review. *Starch-Stärke*, 54(12), 559-592. Doi: 10.1002/1521-379X(200212)54:12<559::AID-STAR2222559>3.0.CO;2-F

Morales, M., Rodríguez, E. & Cortes, M. 2013. Efecto de los emulsificantes sobre las características físicas y texturales del buñuelo. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 16(2), 417-425.

Moreiras, O., Carbajal, Á., Cabrera, L., & Cuadrado, C. 2013. Tablas de Composición de Alimentos (Batata). Ed Pirámide.

Morrison, W. R.; Laignelet, B. 1983. An improved colorimetric procedure for determining apparent and total amylose in cereal and other Starches. *Journal of Cereal Science*, 1, 9-20. Doi: 10.1016/S0733-5210(83)80004-6

Nasrin, T., y Anal, A. 2014. Resistant starch III from culled banana and its functional properties in fish oil emulsion. *Food Hydrocolloids*, 35(1), 403-409. Doi: 10.1016/j.foodhyd.2013.06.019

Neto, C. G., Maluf, W. R., Gomes, A. A., de Sousa Gonçalves, R. J., de Fátima Silva, V., & Lasmar, A. 2012. Aptidões de genótipos de batata-doce para consumo humano, produção de etanol e alimentação animal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46(11), 1513-1520.

Ngailo, S., Shimelis, H., Sibiya, J. & Mtunda, K. 2013. Sweet potato breeding for resistance to sweet potato virus disease and improved yield: progress and challenges. *African Journal of Agricultural Research*, 8(25), 3202-3215. Doi: 10.5897/AJAR12.1991

Njintang, Y. N. & Mbofung, C. M. F. 2003. Development of taro (Colocasia esculenta (L.) Schott) flour as an ingredient for food processing: effect of gelatinisation and drying temperature on the dehydration kinetics and colour of flour. *Journal of Food Engineering*, 58(3), 259-265. Doi: 10.1016/S0260-8774(02)00384-9

Novozymes. 2008. Ficha de aplicación Liquozyme Supra 2.2X. Licuefacción eficiente del Almidón. 1-10. www.novozymes.com [06-23-10]

Official methods of analysis of AOAC International 2000. Rockville, USA. AOAC International.

Official Methods of Analysis of AOAC International 2002. 17th Edition, Current Through Revision # 1. Gaithersburg, USA.

Ortega, F.E. & Eliasson, A.C. 2001. Gelatinisation and retrogradation behaviour of some starch mixtures. *Starch/Stärke,* 53, 520-529.

Osundahunsi, O. F., Fagbemi, T. N., Kesselman, E., & Shimoni, E. 2003. Comparison of the physicochemical properties and pasting characteristics of flour and starch from red and white sweet potato cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(8), 2232-2236. Doi: 10.1021/jf0260139

Pacheco, E., Techeira, N. & García, D. 2008. Elaboración y evaluación de polvos para bebidas instantáneas a base de harina extrudida de ñame (Dioscorea alata). *Revista chilena de nutrición,* 35(4), 452-459. Doi: 10.4067/S0717-75182008000500008

Páez, F. 2014. Espectrometría infrarroja por transformada de Fourier. Noria Corporation. Recuperado de: http://noria.mx/lublearn/espectrometria-infrarroja-por-transformadas-de-fourier.

Palomino, C., Molina, Y. & Pérez, E. 2010. Atributos físicos y composición química de harinas y almidones de los tubérculos de Colocasia esculenta (L.) Schott y Xanthosoma sagittifolium (L.) *Schott. Rev. Fac. Agron.(UCV)*, 36(2), 58-66.

Panda, S. K., Panda, S. H., Swain, M. R., Ray, R. C., & Kayitesi, E. 2015. Anthocyanin-Rich Sweet Potato (Ipomoea batatas L.) Beer: Technology, Biochemical and Sensory Evaluation. *Journal of Food Processing and Preservation,* 39(6), 3040-3049. Doi: 10.1111/jfpp.12569.

Paternina, A., Figueroa, J., Salcedo, J. & Cervera, M. 2016. Propiedades de empastamiento en almidones nativos de yuca, ñame y batata. *Agronomía Colombiana*, 34(1Supl), S402-S404.

Pérez, E., Gibert, O., Rolland, A., Jiménez, Y., Sánchez, T., Giraldo, A., Pontoire, B., Guilois, S., Lahon, M., Reynes, M. & Dufour, D. 2011. Physicochemical, Functional, and Macromolecular Properties of Waxy Yam Starches Discovered from Mapuey (Dioscorea trifida) Genotypes in the Venezuelan Amazon. *Journal of agricultural and food chemistry*, 59(1), 263-273. Doi: 10.1021/jf100418r

Pérez, J., Simosa, P., & Sánchez, H. 2004. La batata (Ipomoea batatas) basamento agroenergético para los sistemas de alimentación animal. Escuela de zotecnia. Núcleo de Monagas.

Pérez, T. & Fabián, H. 2013. Plan de comercio exterior y negociación internacional para la exportación de pulpa de camote producido en la provincia de Manabí desde Guayaquíl-Ecuador hacia Toronto-Canadá vía marítima (Bachelor's thesis) Carrera de Ingeniería en Comercio Exterior y Negociación Internacional. ESPE. Matriz Sangolquí.

Pérez, E. & Pacheco, E. 2005. Características químicas, físicas y reológicas de la harina y el almidón nativo aislado de Ipomoea batatas Lam. *Acta Científica Venezolana*, 56(1),9-15.

Pérez, J., Fernández, A., & Salcedo, J. 2016. Evaluación de un proceso contínuo de burbujeo para recuperación de almidón y mucilago de ñame. *Temas Agrarios*, 20(1), 71-80.

Pomeranz Y. 1991. Functional properties of food componets. 2a ed. Academic press. Estados Unidos. P. 24-78.

Pramodrao, K. S. & Riar, C. S. 2014. Comparative study of effect of modification with ionic gums and dry heating on the physicochemical characteristic of potato, sweet potato and taro starches. *Food Hydrocolloids*, 35, 613-619. Doi: 10.1016/j.foodhyd.2013.08.006

Puerta, J. 2012. Desarrollo de una mezcla base para chips de batata. Doctoral dissertation, Tesis de grado, Universidad Simón Bolívar, Caracas, VEN.

Rached, L. B., de Vizcarrondo, C. A., Rincón, A. M., & Padilla, F. 2006. Evaluación de harinas y almidones de mapuey (Dioscorea trifida), variedades blanco y morado. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 56(4), 375.

Rangel J., Abraham, M.R., Martínez, O.A., Ozuna, C. & Gómez, J.A. 2017. Determinación de la vida de anaquel de camote (Ipomoea batata L.) entero en conserva dulce evaluando empaque y temperatura. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2, 570-574

Riley, C., Wheatley, A. & Asemota, H. 2006. Physicochemical characterization of starches from jamaican yams (Dioscorea spp.): Potential for pharmaceutical exploitations. *European Journal of Scientific Research*, 15(2), 207-219.

Rincón, A., Araujo, C., Carrillo, F. & Martin, E. 2000. Evaluación del posible uso tecnológico de algunos tubérculos de las dioscoreas: ñame congo (Dioscorea bulbífera) y mapuey (Dioscorea trifida*). Arch. Latinoam. Nutr*, 50(3), 286-290.

Rincón, M., Rached, B., Aragoza, E. & Padilla, F. 2007. Efecto de la acetilación y oxidación sobre algunas propiedades del almidón de semillas de Fruto de pan (Artocarpus altilis). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 57(3), 287.

Rivas, M. 2012. Almidón acetilado de plátano: caracterización fisicoquímica y molecular. Tesis Doctoral en Ciencia de Alimentos. Facultad de Química. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro (México). p118.

Rodríguez, G. 2008. Caracterización de variedades de batata (Ipomonea batata) con el fin de desarrollar un puré que sea fuente para la elaboración de productos preformados en MCCAIN Colombia. Universidad de La Salle. Bogotá, Colombia. [http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/15876/T43.08%20R618c.pdf?sequence=1].

Rojas, E., Hoyos, J. L. & Mosquera, S. A. 2016. Producción de polihidroxialcanoatos (PHAS) a partir de ralstonia eutropha en un medio con harina de yuca como fuente de carbono. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial,* 14(1), 19-26. Doi: 10.18684/BSAA(14)19-26

Roquel, M. 2008. Diseño de una línea de producción para la elaboración de harina de camote (Ipomoea batata). Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala, GUA. Facultad de ingeniería.

Ruiz, G. 2006. Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Ingeniería y Ciencia*, 2(4), 5-28

Ruiz, R., & Vásquez, J. P. 2001. Hidrólisis enzimática de desechos del umarí (Poraqueiba sericea tulasne) y de la yuca (Manihot esculenta crantz). *Alimentaria*, 1(1), 22-29.

Sacón, E., Bernal, I., Dueñas, A., Cobeña, G. & López, N. 2016. Reología de mezclas de harinas de camote y trigo para elaborar pan. *Tecnología Química*, 35(3), 457-467.

Salcedo, J., Hernández, E., Cervera, M. & Buelvas, J. 2016. Evaluación de ocho clones de batata (Ipomoea batatas L.) para determinar su uso agroindustrial. *Proceedings of the International Agroindustrial Engineering Conference*, 1, 9-24.

Scott, G., Rosegrant, M. & Ringler, C. 2000. Raíces y Tubérculos para el Siglo XXI. Tendencias, Proyecciones y Opciones de Políticas. Instituto Internacional de Investigaciones sobre Políticas Alimentarias. Lima, Perú. p60

Scott, G., Herrera, J., Espínola, N., Daza, M., Fonseca, C., Fano, H. & Benavides, M. 1992. Desarrollo de productos de raíces y tubérculos. *América Latina. Volumen II*. CIP, Lima, Perú.

Sívoli, L., Pérez, E. & Rodríguez, P. 2012. Análisis estructural del almidón nativo de yuca (Manihot esculenta C.) empleando técnicas morfométricas, químicas, térmicas y reológicas. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 29(2), 293-313.

Seidu, J., Bobobee, E., Kwenin, W., Tevor, K., Mahama, A., & Agbeven, J. 2012. Secado de la batata (Ipomoea batatas) (picadas y rallado) para harina de calidad elaborada a nivel local con secadores solares. *JABS*, 7, 466-473.

Senanayake, S. A., Ranaweera, K. K. D. S., Gunaratne, A., & Bamunuarachchi, A. 2013. Comparative analysis of nutritional quality of five different cultivars of sweet potatoes (Ipomea batatas (L) Lam) in Sri Lanka. *Food science & nutrition*, 1(4), 284-291. Doi: 10.1002/fsn3.38.

Serrano, A. D. C., Vílchez, E. Y., Sandino, C. M., Carrillo, P., & Pachón, H. 2011. Evaluación sensorial de tortas de camote (Ipomoea batatas), elaboradas con o sin hojas de camote, con niños en edad escolar en Nicaragua. *Perspectivas en Nutricion Humana*, 13(2), 191-202.

Sevenou, O., Hill, S. E., Farhat, I. A., & Mitchell, J. R. 2002. Organisation of the external region of the starch granule as determined by infrared spectroscopy. *International*

Journal of Biological Macromolecules, 31(1), 79-85. Doi: 10.1016/S0141-8130(02)00067-3

Shujun W., Jinlin Y., Jiugau Y., Haixia C., Jiping P., Hongyan L. 2008. Partial characterization of starches from Dioscorea opposite thumb. Cultivars. *Journal of food engineering*, 88, 287-293. Doi: 10.1016/j.jfoodeng.2006.11.016

Sriroth, K., Piyachomkwan, K., Wanlapatit, S., & Oates, C. G. 2000. Cassava starch technology: the Thai experience. *Starch-Stärke*, 52(12), 439-449. Doi: 10.1002/1521-379X(200012).

Srichuwong, S., & Jane, J. L. 2007. Physicochemical properties of starch affected by molecular composition and structures: a review. *Food Science and Biotechnology*, 16(5), 663-674.

Stuart, B. H. 2004. Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications, Chichester: John Wiley & Sons.

Sun, H., Mu, T., Xi, L., Zhang, M., & Chen, J. 2014. Sweet potato (Ipomoea batatas L.) leaves as nutritional and functional foods. *Food chemistry*, 156, 380-389. Doi: 10.1016/j.foodchem.2014.01.079.

Tan, H. Z., Li, Z. G. & Tan, B. 2009. Starch noodles: history, classification, materials, processing, structure, nutrition, quality evaluating and improving. *Food Research International*, 42(5), 551-576.

Tapia, D. R., Sobral, P. J., & Menegalli, F. C. 2010. Potential of Amaranthus cruentus BRS Alegria in the production of flour, starch and protein concentrate: chemical, thermal and rheological characterization. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(7), 1185-1193. Doi: 10.1002/jsfa.3946

Techeira, N. 2008. Formulación y Evaluación de Productos Alimenticios Dirigidos al Adulto Mayor a Base de Almidones Modificados y Harina de Ñame (Dioscorea alata) (Doctoral dissertation, Tesis. Universidad Central de Venezuela).

Techeira, N., Sívoli, L., Perdomo, B., Ramírez, A. & Sosa, F. 2014. Caracterización fisicoquímica, funcional y nutricional de harinas crudas obtenidas a partir de

diferentes variedades de yuca (Manihot esculenta Crantz), batata (Ipomoea batatas Lam) y ñame (Dioscorea alata), cultivadas en Venezuela. *Interciencia*, 39(3), 191-197.

Tecson, E. 2007. Development of functional foods in the Philippines. *Food Science and Technology Research*, 13(3), 179-186.

Tester, R. F. & Debon, S. J. 2000. Annealing of starch—a review. *International journal of biological macromolecules*, 27(1), 1-12.

Tester, R. F. & Qi, X. 2004. Molecular basis of the gelatinisation and swelling characteristics of waxy barley starches grown in the same location during the same season. Part I. Composition and alpha-glucan fine structure. *Journal of cereal science*, 39(1), 47-56. Doi: 10.1016/S0733-5210(03)00065-1.

Tique, J., Chaves, B., & Zurita, J. H. 2009. Evaluación agronómica de diez clones promisorios CIP y dos materiales nativos de Ipomoea batatas L. *Agronomía Colombiana*, 27(2), 151.

Tomlins, K., Owori, C., Bechoff, A., Menya, G., & Westby, A. 2012. Relationship among the carotenoid content, dry matter content and sensory attributes of sweet potato. *Food Chemistry*, 131(1), 14-21.

Van de Fliert, E. & Braun, A. R. 2001. Escuela de campo de agricultores para el manejo integrado del cultivo de camote: Guía de campo y manual técnico. International Potato Center.

Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Daiyr Sci*, 74, 3583-3597.

Vargas, P. & Hernández, D. 2012. Harinas y almidones de yuca, ñame, camote y ñampí: propiedades funcionales y posibles aplicaciones en la industria alimentaria. *Revista Tecnología en Marcha*, 26(1), 37-45. Doi: 10.18845/tm.v26i1.1120

Vázquez, M. G., Santiago-Ramos, D., Ybarra-Moncada, M. C., Rubio-Covarrubias, O. Á. & Cadena-Hinojosa, M. A. 2013. Variables fisicoquímicas y calidad de fritura de clones de papa desarrollados para los Valles Altos de México. *Agrociencia*, 47(1), 47-59.

Vizzotto, M., Pereira, E., Rocha, J., Munhoz, C., Lettnin, N., Castro, L., & Richter, A. 2017. Physicochemical and antioxidant capacity analysis of colored sweet potato genotypes: in natura and thermally processed. *Ciência Rural*, 47(4), 1-8. Doi: 10.1590/0103-8478cr20151385.

Waluyo, B., Roosda, A. A., Istifadah, N., Ruswandi, D., & Karuniawan, A. 2015. Identification of fifty sweetpotato (Ipomoea batatas (L.) Lam.) promising clones for bioethanol raw materials. *Energy Procedia*, 65, 22-28.

Xu, Y., Miladinov, V., & Hanna, M. A. 2004. Synthesis and Characterization of Starch Acetates with High Substitution. *Cereal Chemistry*, 81(6), 735-740. Doi: 10.1094/CCHEM.2004.81.6.735.

Yaacob, B., Amin, M. C. I. M., Hashim, K., & Bakar, B. A. 2011. Optimization of reaction conditions for carboxymethylated sago starch. *Iranian Polymer Journal*, 20(3), 195-204.

Yañez, V., & Orlando, V. 2002. Aislamiento y caracterización de marcadores moleculares microsatélites a partir de la construcción de librerías genómicas enriquecidas de camote. (Ipomoea batatas (L.) Lam.). Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Yencho, G. C., Pecota, K. V., Schultheis, J. R., VanEsbroeck, Z. P., Holmes, G. J., Little, B. E. & Truong, V. D. 2008. 'Covington'sweetpotato. *HortScience*, 43(6), 1911-1914.

Yépez, L., y N. Estévez. 2014. Determinación de las características físicas y químicas del camote (Ipomea batata) de la variedad de pulpa morada. Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte, ECU.

Zaccari, F., Galietta, G., Soto, B., & Las, R. 2012. Color y contenido de B-carotenos en boniatos, crudos y cocidos, durante su almacenamiento en Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 16(1), 24-32.

Zárate, L., Otálora, N., Ramírez, L., Garnica, A., Prieto, L., Cerón, M., & Argüelles, J. H. 2012. Extracción y caracterización de almidón nativo de clones promisorios de papa criolla (Solanum tuberosum Grupo phureja). In XXV Congreso de la Asociación Latinoamericana de la Papa. *Revista latinoamericana de la papa*, 18(1), 1-24.

Zhang, K., Wu, Z., Tang, D., Lv, C., Luo, K., Zhao, Y., Lv, C., Luo, K., Zhao, Y., Liu, X., Huang, Y. & Wang, J. 2016. Development and identification of SSR markers associated with starch properties and β-carotene content in the storage root of sweet potato (Ipomoea batatas L.). *Frontiers in plant science*, 7, 1-21. Doi: 10.3389/fpls.2016.00223

Zhou, D. N., Zhang, B., Chen, B., & Chen, H. Q. 2017. Effects of oligosaccharides on pasting, thermal and rheological properties of sweet potato starch. *Food Chemistry*, 230, 516-523. Doi: 10.1016/j.foodchem.2017.03.088.

Zhou, W., Yang, J., Hong, Y., Liu, G., Zheng, J., Gu, Z., & Zhang, P. 2014. Impact of amylose content on starch physicochemical properties in transgenic sweet potato. *Carbohydrate polymers*, 122, 417-427. Doi: 10.1016/j.carbpol.2014.11.003.

8. ANEXOS

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Localidad	164,589	2	82,2944	6,72	0,0048
B: Variedad	66,0219	3	22,0073	1,80	0,1748
INTERACCIONES					
AB	123,61	6	20,6017	1,68	0,1688
RESIDUOS	293,995	24	12,2498		
TOTAL	648,216	35			

Anexo 1. Análisis de Varianza de la materia seca (MS) de las batatas - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Localidad	164,589	2	82,2944	6,72	0,0048
B: Variedad	66,0219	3	22,0073	1,80	0,1748
INTERACCIONES					
AB	123,61	6	20,6017	1,68	0,1688
RESIDUOS	293,995	24	12,2498		
TOTAL	648,216	35			

Anexo 2. Análisis de Varianza de la humedad de las batatas - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Localidad	5,21165	2	2,60583	2,61	0,0940
B: Variedad	10,9485	3	3,6495	3,66	0,0265
INTERACCIONES					
AB	13,6721	6	2,27869	2,29	0,0692
RESIDUOS	23,9326	24	0,997192		
TOTAL	53,7649	35			

Anexo 3. Análisis de Varianza del contenido de fibra de las batatas - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Localidad	7,49674	2	3,74837	38,17	0,0000
B: Variedad	1,31157	3	0,437189	4,45	0,0127
INTERACCIONES					
AB	1,38975	6	0,231625	2,36	0,0621
RESIDUOS	2,35667	24	0,0981944		
TOTAL	12,5547	35			

Anexo 4. Análisis de Varianza del contenido de ceniza de las batatas - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Localidad	32,793	2	16,3965	8,28	0,0018
B:Variedad	15,978	3	5,326	2,69	0,0690
INTERACCIONES					
AB	24,4609	6	4,07682	2,06	0,0966
RESIDUOS	47,5346	24	1,98061		
TOTAL	120,767	35			

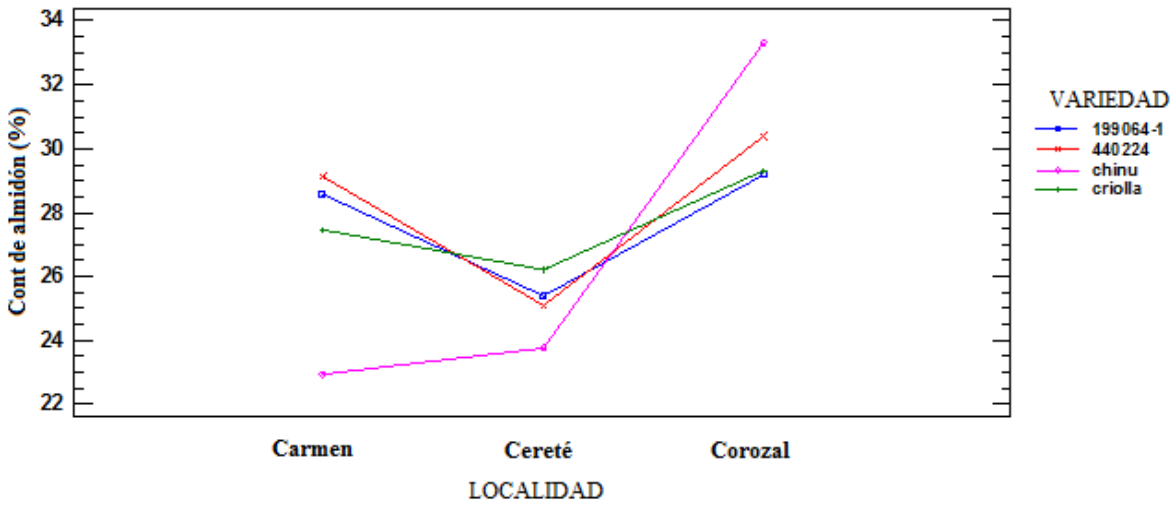
Anexo 5. Análisis de Varianza del contenido de proteína de las batatas - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Localidad	181,177	2	90,5883	16,27	0,0000
B: Variedad	11,2161	3	3,7387	0,67	0,5779
INTERACCIONES					
AB	102,526	6	17,0876	3,07	0,0225
RESIDUOS	133,633	24	5,56805		
TOTAL	428,552	35			

Anexo 6. Análisis de Varianza para el contenido de almidón de las batatas - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)



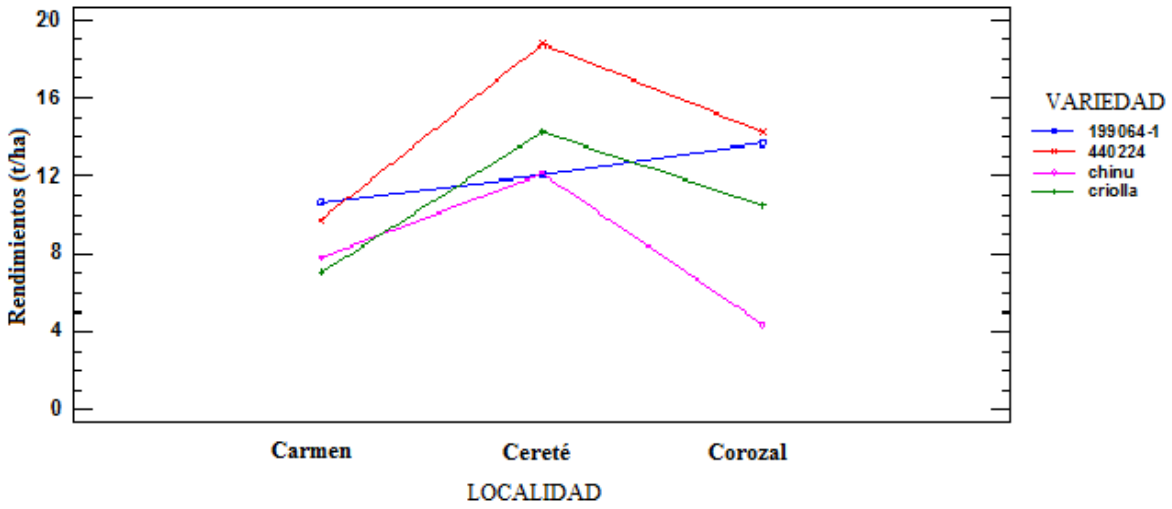
Anexo 7. Gráfico de interacción del contenido de almidón de las batatas.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Localidad	185,566	2	92,7831	267,34	0,0000
B: Variedad	181,881	3	60,627	174,69	0,0000
INTERACCIONES					
AB	117,983	6	19,6639	56,66	0,0000
RESIDUOS	8,32947	24	0,347061		
TOTAL	493,76	35			

Anexo 8. Análisis de Varianza para los rendimientos en toneladas por hectáreas de raíces totales- Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)



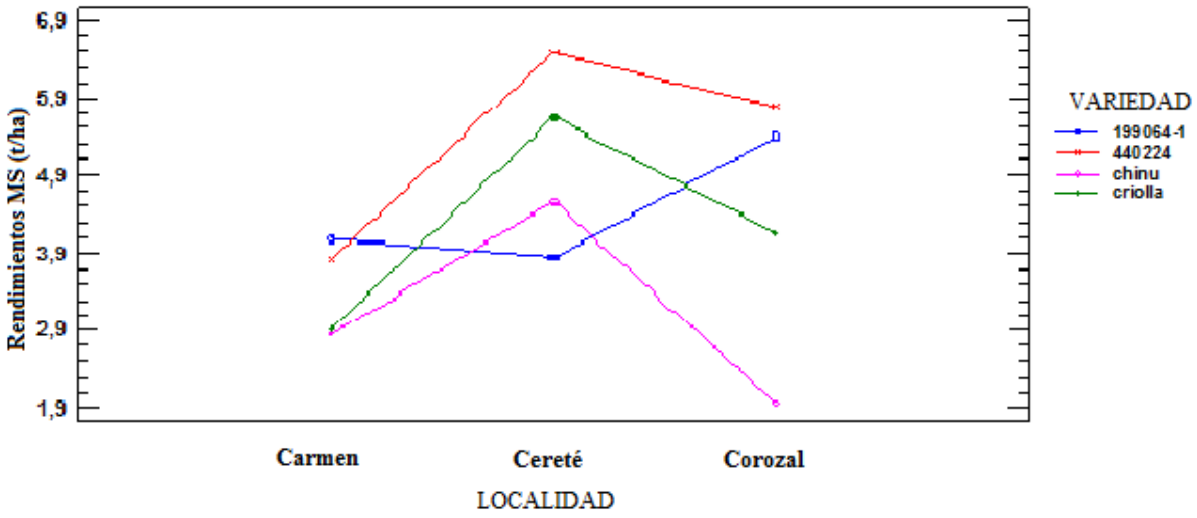
Anexo 9. Gráfico de interacción de los rendimientos (toneladas por hectáreas) de raíces totales.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Localidad	17,5132	2	8,7566	51,29	0,0000
B: Variedad	23,1245	3	7,70816	45,15	0,0000
INTERACCIONES					
AB	19,4722	6	3,24537	19,01	0,0000
RESIDUOS	4,09772	24	0,170738		
TOTAL	64,2076	35			

Anexo 10. Análisis de Varianza para los rendimientos de toneladas de materia seca por hectárea - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)



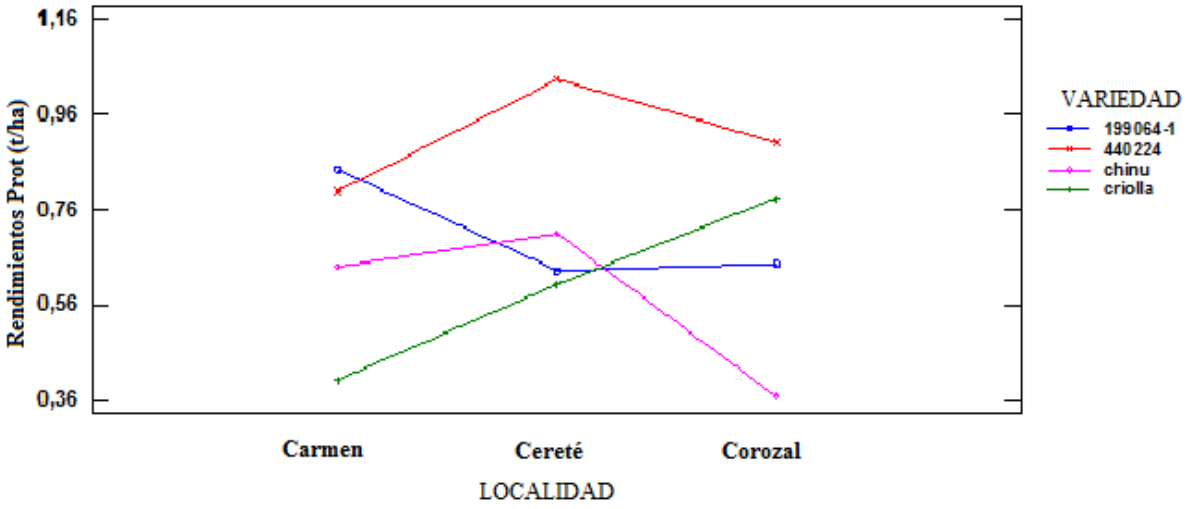
Anexo 11. Gráfico de interacción de los rendimientos de toneladas de materia seca por hectárea.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Localidad	0,0407559	2	0,020378	0,66	0,5276
B: Variedad	0,638928	3	0,212976	6,86	0,0017
INTERACCIONES					
AB	0,538502	6	0,0897503	2,89	0,0288
RESIDUOS	0,744619	24	0,0310258		
TOTAL	1,9628	35			

Anexo 12. Análisis de Varianza para los rendimientos de toneladas de proteína por hectárea - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)



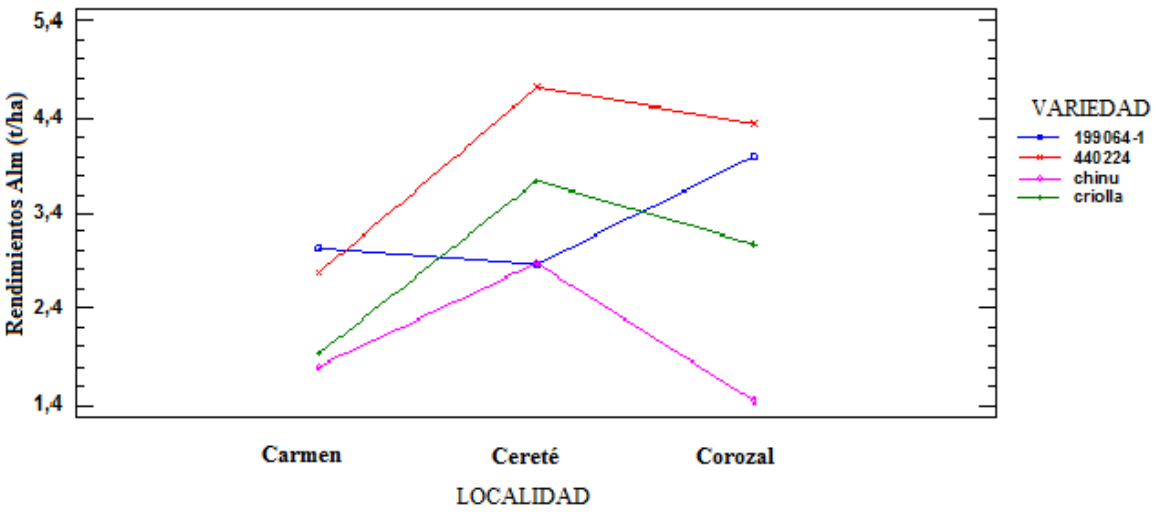
Anexo 13. Gráfico de interacción de los rendimientos de toneladas de proteína por hectárea.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Localidad	8,53779	2	4,26889	47,91	0,0000
B: Variedad	17,0132	3	5,67107	63,65	0,0000
INTERACCIONES					
AB	8,24051	6	1,37342	15,41	0,0000
RESIDUOS	2,13841	24	0,0891005		
TOTAL	35,9299	35			

Anexo 14. Análisis de Varianza para los rendimientos de toneladas de almidón por hectáreas - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)



Anexo 15. Gráfico de interacción de los rendimientos de toneladas de almidón por hectáreas.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Localidad	85,8433	2	42,9217	11,57	0,0003
B: Variedad	199,688	3	66,5628	17,94	0,0000
INTERACCIONES					
AB	26,1214	6	4,35357	1,17	0,3530
RESIDUOS	89,0412	24	3,71005		
TOTAL	400,694	35			

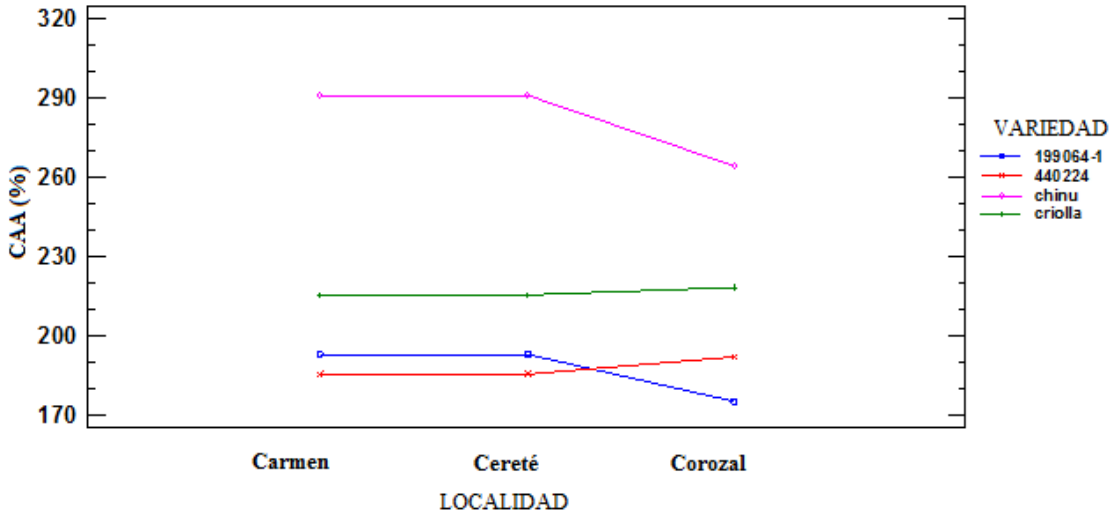
Anexo 16. Análisis de Varianza para los sólidos solubles (SS) de las batatas - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Localidad	1705,26	2	852,628	341,41	0,0000
B: Variedad	58266,7	3	19422,2	7777,08	0,0000
INTERACCIONES					
AB	2620,86	6	436,81	174,91	0,0000
RESIDUOS	59,9368	24	2,49737		
TOTAL	62652,7	35			

Anexo 17. Análisis de Varianza para la capacidad de absorción de agua de las harinas de batatas - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)



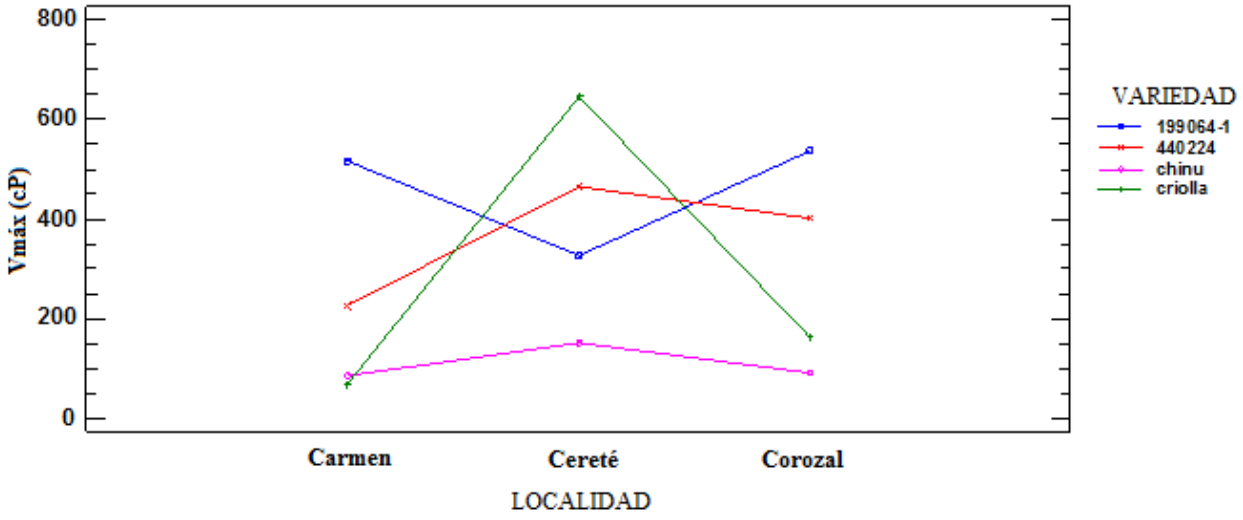
Anexo 18. Gráfico de interacción de la capacidad de absorción de agua de las harinas de batatas.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Localidad	180026	2	90013,2	8,63	0,0015
B: Variedad	591439	3	197146	18,91	0,0000
INTERACCIONES					
AB	569891	6	94981,9	9,11	0,0000
RESIDUOS	250220	24	10425,8		
TOTAL	1,59158E6	35			

Anexo 19. Análisis de Varianza para la viscosidad máxima de las harinas de batata - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)



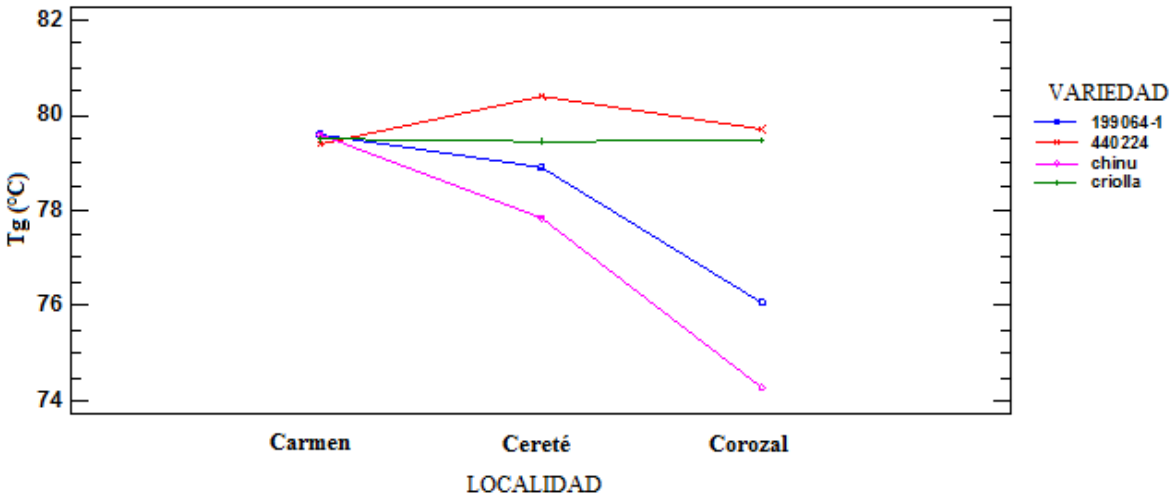
Anexo 20. Gráfico de interacción de la viscosidad máxima de las harinas de batata.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Localidad	31,3017	2	15,6508	18,33	0,0000
B: Variedad	38,2589	3	12,753	14,94	0,0000
INTERACCIONES					
AB	34,9828	6	5,83046	6,83	0,0003
RESIDUOS	20,4867	24	0,853611		
TOTAL	125,03	35			

Anexo 21. Análisis de Varianza para la temperatura de gelatinización de las harinas de batata - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)



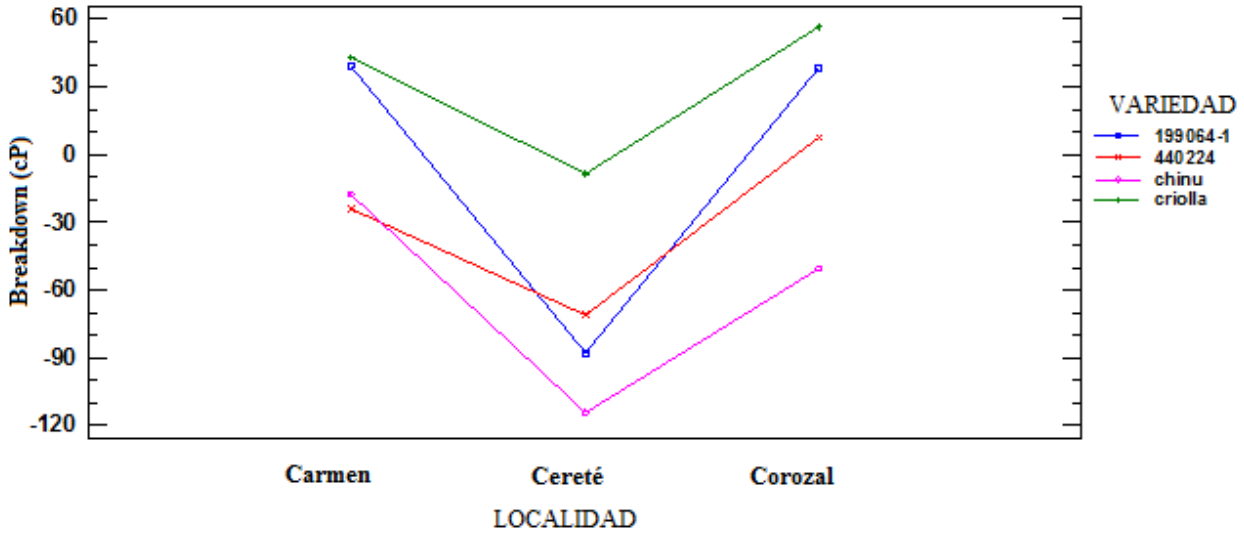
Anexo 22. Gráfico de interacción de la temperatura de gelatinización de las harinas de batata.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Localidad	53903,1	2	26951,6	47,94	0,0000
B: Variedad	40136,8	3	13378,9	23,80	0,0000
INTERACCIONES					
AB	9184,38	6	1530,73	2,72	0,0367
RESIDUOS	13492,4	24	562,184		
TOTAL	116717,	35			

Anexo 23. Análisis de Varianza para el breakdown de las harinas de batata - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)



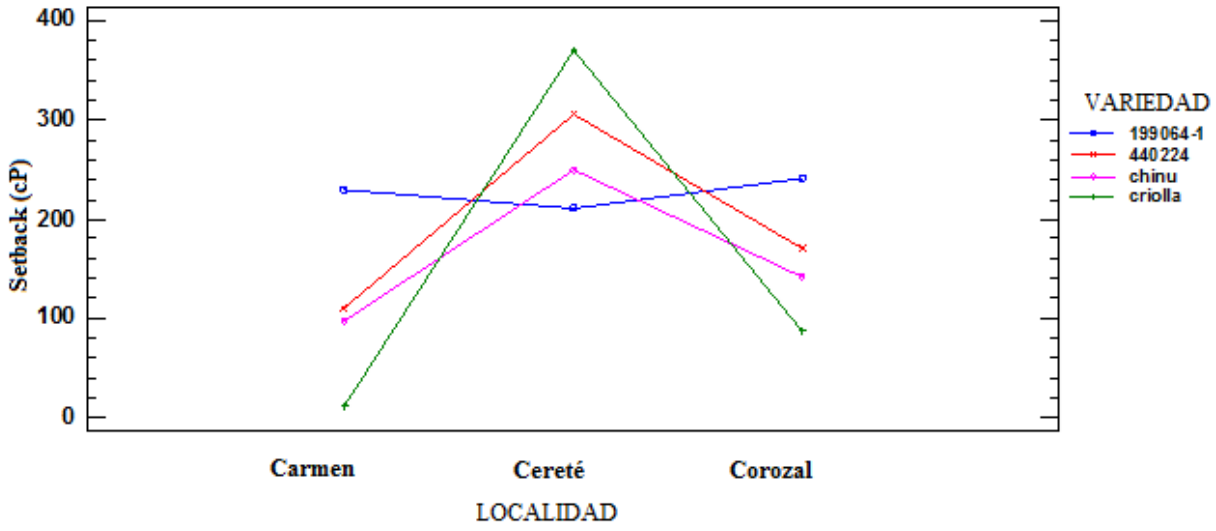
Anexo 24. Gráfico de interacción del breakdown de las harinas de batata.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Localidad	186810,	2	93404,9	20,62	0,0000
B:Variedad	29026,2	3	9675,4	2,14	0,1221
INTERACCIONES					
AB	123380,	6	20563,3	4,54	0,0033
RESIDUOS	108727,	24	4530,3		
TOTAL	447943,	35			

Anexo 25. Análisis de Varianza para el setback de las harinas de batata - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)



Anexo 26. Gráfico de interacción del setback de las harinas de batata.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

Propiedad	*Variedad*	*Localidad*		
		Corozal	**Cerete**	**Carmen de Bolívar**
Viscosidad mínima (cP)	Chinú	142,50±26,25	266,80±46,60	104,07±5,34
	440224	393,20±71,60	536,17±78,25	251,67±15,05
	199064-1	498,77±32,95	415,53±38,95	477,63±76,25
	criolla	108,22±13,17	653,30±71,60	25,72±1,80
Viscosidad final (cP)	Chinú	284,47±8,85	498,40±29,16	202,40±17,30
	440224	563,97±55,06	841,37±61,32	362,35±24,15
	199064-1	740,07±49,64	626,37±46,52	707,55±8,45
	criolla	195,40±32,30	1022,43±51,45	37,25±1,11

Anexo 27. Valores de viscosidad mínima y final de las harinas de batatas.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

Parámetro	*Variedad*	*Localidad*		
		Corozal	**Cerete**	**Carmen de Bolívar**
Humedad (%)	Chinú	8,11±0,02	7,65±0,04	6,07±0,02
	440224	8,27±0,03	10,44±0,02	6,24±0,03
	199064-1	8,32±0,02	7,05±0,03	5,45±0,02
	criolla	7,86±0,05	10,62±0,07	5,95±0,05

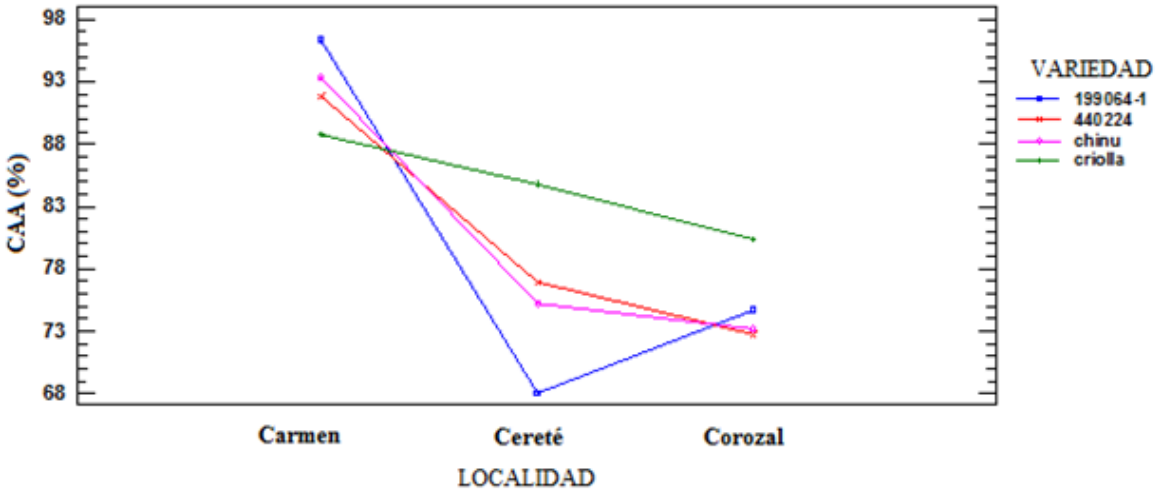
Anexo 28. Contenido de humedad de los almidones de batata.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Localidad	2267,86	2	1133,93	1661,35	0,0000
B: Variedad	131,445	3	43,815	64,19	0,0000
INTERACCIONES					
AB	492,952	6	82,1586	120,37	0,0000
RESIDUOS	16,3809	24	0,682536		
TOTAL	2908,64	35			

Anexo 29. Análisis de Varianza para la capacidad de absorción de agua de los almidones de batata - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)



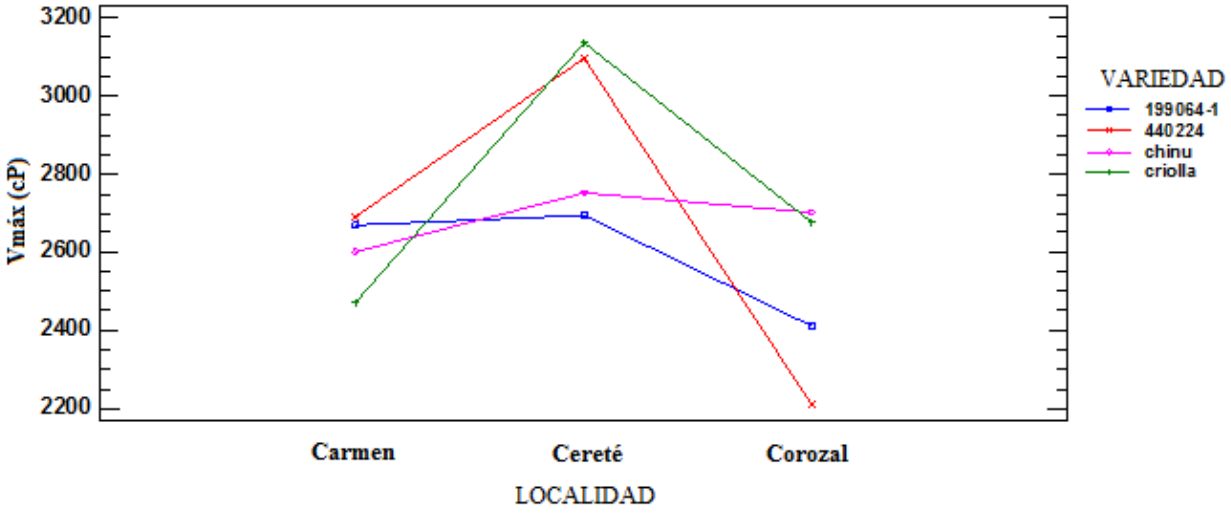
Anexo 30. Gráfico de interacción de la capacidad de la absorción de agua de los almidones de batata.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Localidad	1,13044E6	2	565219	12,87	0,0002
B:Variedad	131206	3	43735,2	1,00	0,4118
INTERACCIONES					
AB	916195	6	152699	3,48	0,0129
RESIDUOS	1,05434E6	24	43930,6		
TOTAL	3,23217E6	35			

Anexo 31. Análisis de Varianza para la viscosidad máxima de los almidones - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)



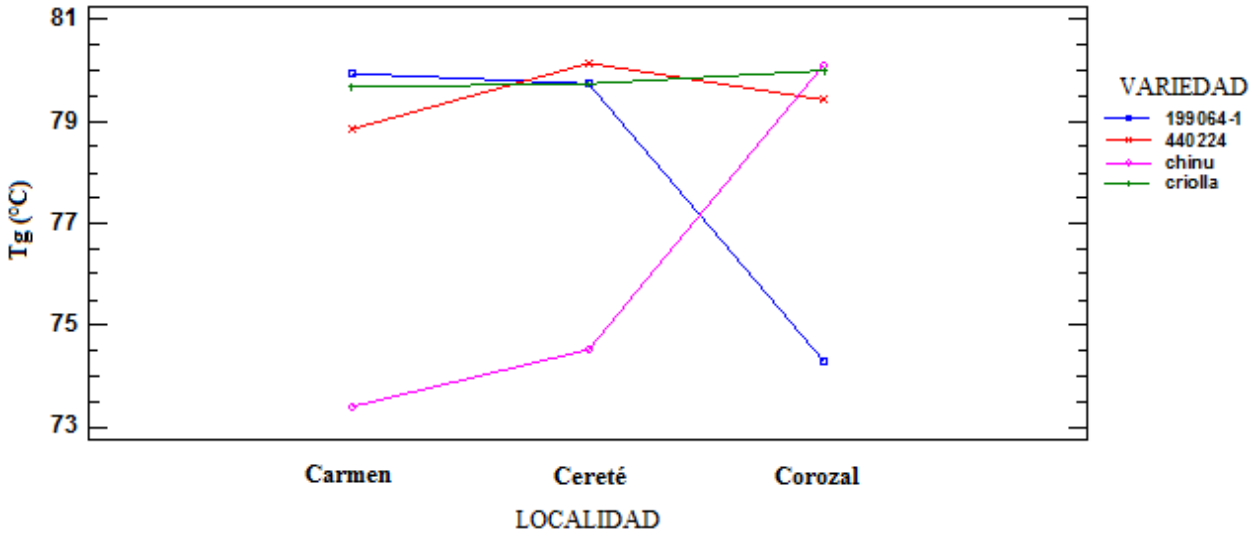
Anexo 32. Gráfico de interacción la viscosidad máxima de los almidones de batata.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Localidad	2,345	2	1,1725	19,10	0,0000
B:Variedad	80,5122	3	26,8374	437,17	0,0000
INTERACCIONES					
AB	138,839	6	23,1399	376,94	0,0000
RESIDUOS	1,47333	24	0,0613889		
TOTAL	223,17	35			

Anexo 33. Análisis de Varianza para la temperatura de gelatinización de los almidones - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)



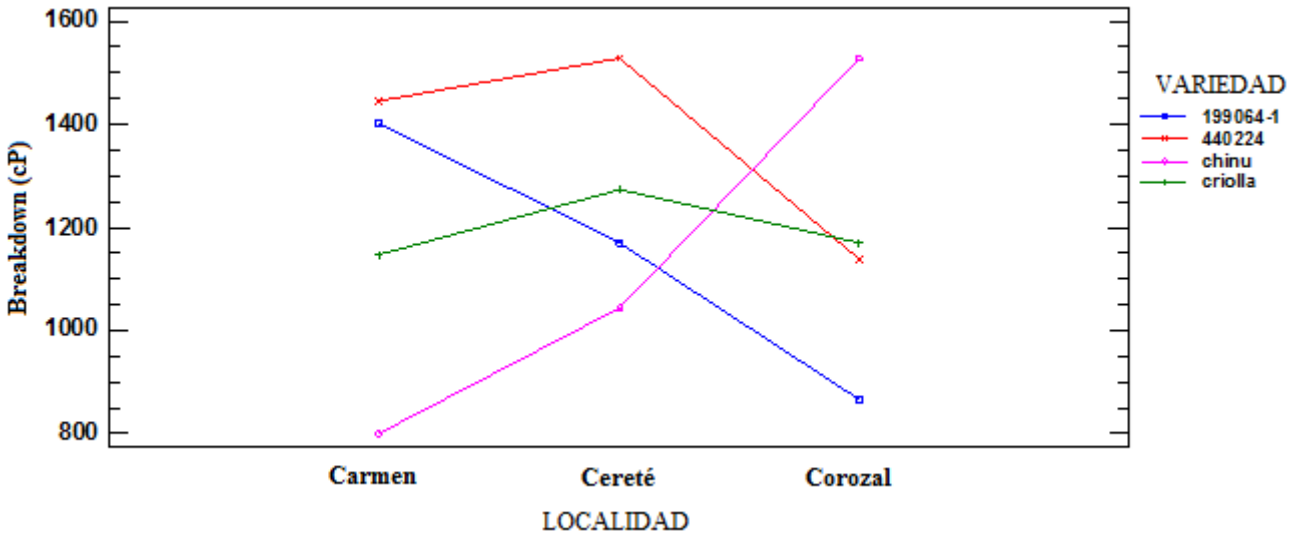
Anexo 34. Gráfico de interacción de la temperatura de gelatinización de los almidones de batata.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Localidad	38520,7	2	19260,3	0,70	0,5068
B:Variedad	335038	3	111679	4,05	0,0183
INTERACCIONES					
AB	1,49082E6	6	248470	9,02	0,0000
RESIDUOS	661064	24	27544,3		
TOTAL	2,52544E6	35			

Anexo 35. Análisis de Varianza para el breakdown de los almidones - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)



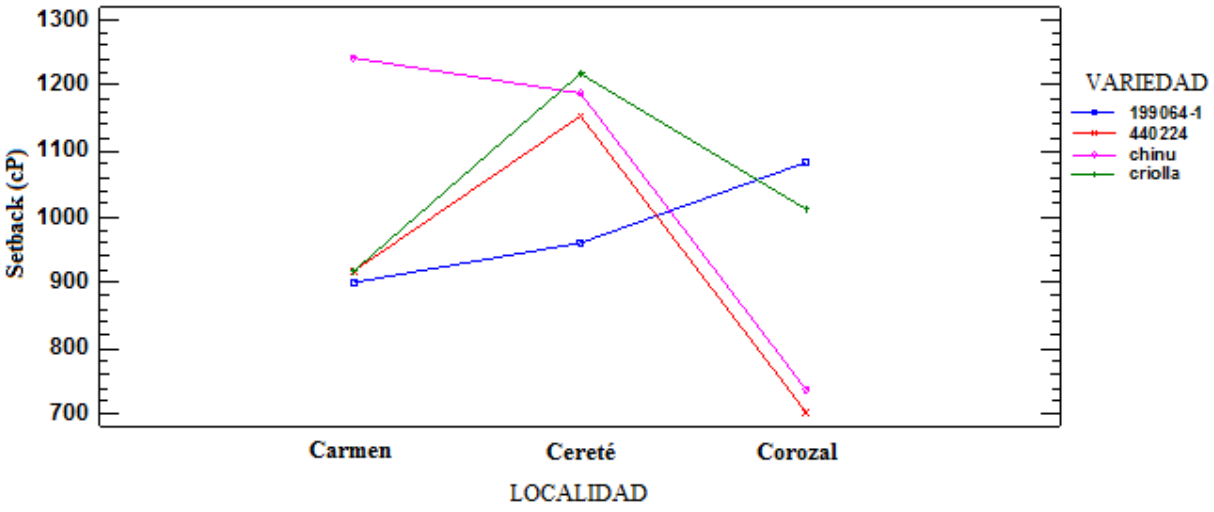
Anexo 36. Gráfico de interacción del breakdown de los almidones de batata.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Localidad	364313	2	182156	38,43	0,0000
B:Variedad	105171	3	35057,1	7,40	0,0011
INTERACCIONES					
AB	595196	6	99199,3	20,93	0,0000
RESIDUOS	113745	24	4739,36		
TOTAL	1,17842E6	35			

Anexo 37. Análisis de Varianza para el setback de los almidones - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)



Anexo 38. Gráfico de interacción del setback de los almidones de batata.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

Propiedad	*Variedad*	*Localidad*		
		Corozal	**Cerete**	**Carmen de Bolívar**
Viscosidad mínima (cP)	Chinú	1176,00±8,88	1706,67±8,05	1800,67±22,72
	440224	1074,00±11,36	1567,67±0,57	1244,00±13,74
	199064-1	1543,00±8,06	1524,67±5,35	1269,33±2,52
	criolla	1508,67±12,50	1862,33±10,96	1324,33±7,96
Viscosidad final (cP)	Chinú	1913,67±12,39	2894,67±8,50	3043,00±35,59
	440224	1775,67±5,51	2721,00±21,65	2161,00±19,46
	199064-1	2626,00±26,51	2484,67±22,08	2169,67±8,02
	criolla	2521,33±25,57	3080,00±7,24	2242,33±5,74

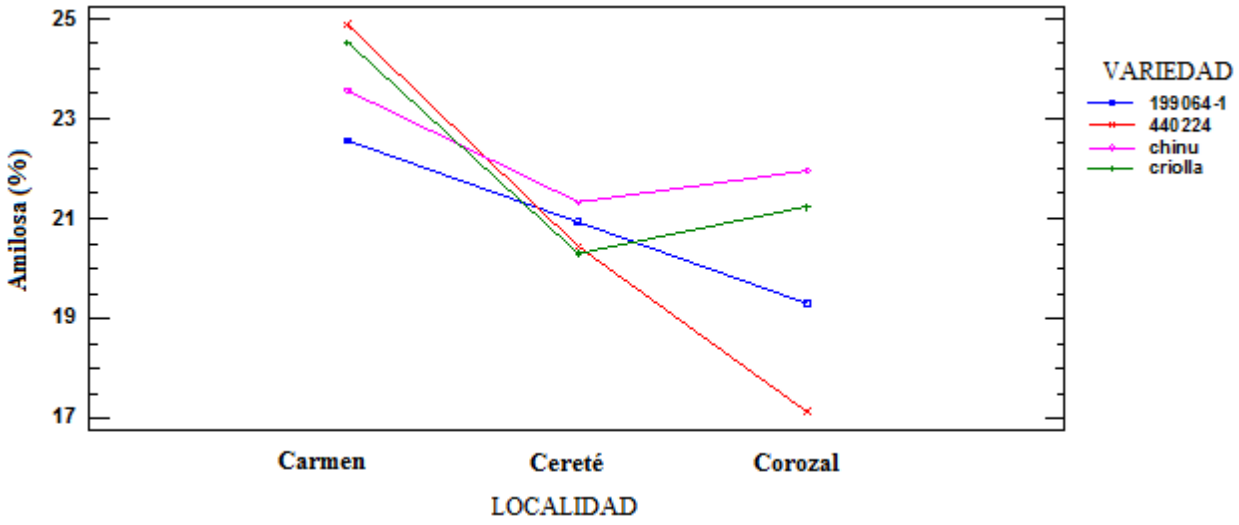
Anexo 39. Valores de viscosidad mínima y final de los almidones.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)

Fuente	**Suma de Cuadrados**	**Gl**	**Cuadrado Medio**	**Razón-F**	**Valor-P**
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Localidad	105,388	2	52,6942	5991,76	0,0000
B: Variedad	15,2589	3	5,08629	578,35	0,0000
INTERACCIONES					
AB	38,9859	6	6,49765	738,84	0,0000
RESIDUOS	0,211067	24	0,00879444		
TOTAL	159,844	35			

Anexo 40. Análisis de Varianza para el contenido de amilosa de los almidones de batata - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)



Anexo 41. Gráfico de interacción del contenido de amilosa de los almidones de batata.

Fuente: Arrieta & Jiménez (2017)