

Evaluación del impacto ambiental del proceso de modificación química de almidones nativos como potenciales excipientes en la industria cosmética

Melissa Soledad Caro Soto^{1*}, Miladys Esther Torrenegra Alarcón^{2*}, María del Rosario Osorio Fortich^{1**}, Glicerio León Méndez^{2**}, Nerlis Paola Pajaro³

¹ Grupo de Investigación en Tecnología Farmacéutica, Cosmética y de Alimentos (GITFCA), Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Universidad de Cartagena, Bolívar, Colombia.

*Correo electrónico: mescas19@hotmail.com.

**Correo electrónico: mosoriof@unicartagena.edu.co.

² Grupo de Investigación de Biotecnología e Innovación (GIBEI), Centro de Comercio y Servicios, regional Bolívar (SENA), Ternera Km. 1 vía Turbaco CTG, Cartagena, Bolívar, Colombia.

*Correo electrónico: mtorrenegraa@sena.edu.co.

**Correo electrónico: gleonm1@unicartagena.edu.co.

³ Grupo de Ciencias Médicas y Farmacéuticas, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad de Sucre, calle 16B No. 13B-80, barrio La Pajuela, sede Puerta Blanca, Sincelejo, Sucre, Colombia. Correo electrónico: nerlis.pajaro@unisucra.edu.co.

Recibido para evaluación: 23 de agosto de 2017

Aceptado para publicación: 8 de marzo de 2018

RESUMEN

El almidón por ser un polímero natural biodegradable es utilizado en la industria cosmética, gracias a que posee un bajo impacto ambiental. Para mejorar las propiedades anfifílicas de este polímero, se introduce una cadena alifática en la estructura, que permita interactuar con las cadenas apolares del almidón, generando así un aumento de su capacidad lipofílica. Por tanto, en este trabajo se usaron almidones de ñame, yuca, batata y maíz USP, este último como referencia, y fueron sometidos a tres metodologías de modificación: 1. Esterificación directa, 2. Hidrólisis y posterior esterificación y 3. Esterificación mediante microondas, empleando anhídrido dodecenil succínico (DDSA). En todos los casos, se incrementó significativamente la capacidad captadora de aceite y la emulsificante (tensoactiva) de los almidones; sin embargo, el “método en microondas”

presentó algunas ventajas en comparación con otros métodos, de las cuales destacamos: aumento de la eficiencia de esterificación, disminución del tiempo de reacción de esterificación y menor impacto ambiental.

Palabras clave: huella de carbono, cosmética, almidón, impacto ambiental.

SUMMARY

Evaluation of the environmental impact of the process of chemical modification of native starches as potential excipients in the cosmetic industry

Starch, as a biodegradable natural polymer, is used in the cosmetic industry, exhibiting a low environmental impact. To improve the amphiphilic properties of this polymer, an aliphatic chain is introduced in the structure, which allows interacting with the polar chains of the starch, generating an increase of its lipophilic capacity. Therefore, in this paper we evaluated starches of yam, cassava, sweet potato and corn USP (as reference), which were subjected to three chemical modification methodologies: 1. Direct esterification; 2. Hydrolysis and esterification; 3. Esterification by microwaves, by using dodecyl succinic anhydride (DDSA). In all cases significant increasing of the oil capturing capacities and emulsifier (active) of the starches. However, the “microwave method” presented some advantages compared to other methods, in particular, an increase in esterification efficiency, a decrease in the esterification reaction time and a lower environmental impact.

Key words: Carbon footprint, cosmetics, starch, environmental impact.

INTRODUCCIÓN

Existe gran variedad de almidones nativos extraídos de diferentes fuentes naturales, tal es el caso de los tubérculos como la batata, yuca y ñame, que presentan gran importancia socioeconómica en la región Caribe colombiana [1], especialmente en el departamento de Sucre [2, 3]. Los almidones nativos son utilizados en diferentes industrias, por ejemplo, para recubrimientos, textiles, aglutinantes, absorbentes, entre otros. Sin embargo, el uso del almidón sin modificar es limitado debido a su fragilidad, deterioro de sus propiedades mecánicas a condiciones ambientales por la exposición con la humedad, la reducida procesabilidad por su alta viscosidad, así como su incompatibilidad con algunos solventes y polímeros [4-7]. Gracias a las distintas limitaciones que pueden presentar los almidones en cuanto a sus propiedades mecánicas, químicas y a su alta degradabilidad,

se pueden efectuar varias modificaciones fundamentalmente en tres categorías: físicas, químicas y enzimáticas; se cuenta también con la posibilidad de combinarlas para mejorar su comportamiento y luego ser evaluadas por metodologías apropiadas con el fin de determinar su aplicabilidad en el campo industrial, dando valor agregado a un producto nativo utilizable en aplicaciones específicas industriales [7-10]. Existe poca información respecto a las propiedades físicas, químicas y reológicas de los almidones nativos y modificados colombianos, por lo cual es necesario estudios para generar tal información, y proponer alternativas de uso para estos recursos. La extracción y caracterización del almidón nativo proveniente de diferentes fuentes no convencionales (almidones nativos latinoamericanos), y sus posteriores modificaciones químicas, pueden proveer materias primas con propiedades especiales para su uso en la industria cosmética; por tal motivo, se habla de modificación de almidones nativos como un valor agregado para su posible uso como excipientes, donde su competencia estaría basada en las características funcionales que ofrecen estos almidones modificados [10-12]. No obstante, todos estos procesos químicos han contribuido al aumento en las concentraciones de CO₂ en la atmósfera, transformándose en el principal factor responsable de la intensificación del efecto invernadero y el cambio climático resultante. Sin embargo, para disminuir esta problemática mundial, se han establecido parámetros como la “huella de carbono”, que es una medida de las cantidades de emisiones generadas de carbono equivalente [13]. Estas emisiones son generadas a partir de las materias primas, consumo eléctrico, consumo de combustible y el proceso productivo del producto. Es de gran importancia crear herramientas para obtener estos indicadores, ya que a partir del cálculo de las emisiones las industrias podrán ser conscientes de su impacto ambiental, siendo una alternativa para un control acerca de los procesos y procedimientos de la organización, además permite analizar la línea productiva, conocer qué puntos son los mayores generadores y plantear posibles soluciones al respecto [13]. Por lo anterior, este trabajo se basó en evaluar el impacto ambiental del proceso de modificación química de almidones nativos como potenciales excipientes en la industria cosmética.

METODOLOGÍA

El almidón se obtuvo de los tubérculos de ñame (*Dioscorea rotundata* P.), batata (*Ipomoea batatas*) y yuca (*Manihot esculenta*). Para el caso del ñame y la batata, estos se compraron en el municipio de San Juan Nepomuceno, ubicado en el norte del departamento de Bolívar (9° 37' latitud norte y 74° 15' longitud oeste) y en cuanto a la yuca se obtuvo en el municipio de Corozal, ubicado en el noreste del departamento de Sucre (09° 19' latitud norte y 75° 18' longitud este). Se adquirieron en una parcela particular 20 kilogramos de material vegetal fresco, entero, sin señales de deterioro y en estado de madurez para consumo humano.

Etapla 1. Obtención del almidón

El proceso de extracción del almidón corresponde al método convencional: inicia con el descortezado; luego se realizó un troceado y licuado con agua potable para obtener una lechada, esta se filtró a través de una tela para eliminar las fibras de celulosa. El filtrado se dejó en reposo y después se decantó, el sobrenadante se eliminó y el sedimento se lavó con agua desionizada y se filtró al vacío, se secó a 50 °C por 24 horas, luego se molió y, finalmente, se empacó en recipientes herméticos. Aproximadamente, el 10% de almidón seco se obtuvo a partir del material vegetal [4-6].

Etapla 2. Modificación química del almidón

Método 1. Método de esterificación directa (E-10)

Una suspensión de almidón nativo a 25 °C (40 g de almidón en 100 mL de agua desionizada) se ajustó a pH 8,5 con NaOH 3% con agitación constante por 30 minutos. Se agregaron 10 mL de anhídrido dodecenil succínico (DDSA) [14], gota a gota para alcanzar un nivel de sustitución. Debido a que durante la reacción el pH de la solución tiende a descender, este se mantuvo entre 8,5 y 9,0 con pequeñas adiciones de NaOH 3% durante 24 horas. Una vez que el reactivo límite se terminó, esto es, cuando el pH no desciende más, la solución se ajustó a un valor de 6,5 con HCl al 10%. El material se lavó tres veces con agua desionizada, se secó a 50 °C por 24 horas.

Método 2. Método de hidrólisis y posterior esterificación (H-E 10)

Hidrólisis: a una suspensión de almidón nativo (40 g de almidón en 100 mL de agua desionizada) se añadió 3,4 g de ácido clorhídrico, con agitación constante por 6 horas; manteniendo la temperatura en 50 °C. Cumplido el tiempo, se neutralizó el sistema con NaOH al 10% hasta pH 6,5; se filtró al vacío y el residuo se lavó cuatro veces con agua destilada, se secó a 50 °C por 24 horas y, finalmente, el almidón hidrolizado obtenido se molió y se almacenó en bolsas plásticas herméticas hasta su uso [6].

Esterificación (lipofilización): una suspensión de almidón hidrolizado a 25 °C (40 g de almidón en 100 mL de agua desionizada) se ajustó a pH 8,5 con NaOH 3% con agitación constante por 30 minutos. Se agregaron 10 mL de anhídrido dodecenil succínico (DDSA) diluido en 75 mL de etanol 96%, para alcanzar un nivel de sustitución [6]. Debido a que durante la reacción el pH de la solución tiende a descender, este se mantuvo entre 8,5 y 9,0 con pequeñas adiciones de NaOH 3%. Una vez que el reactivo límite se terminó, esto es, cuando el pH no desciende más (4 horas), la suspensión se ajustó a un valor de 6,5 con HCl al 10%. El material se lavó tres veces con agua desionizada, se secó a 50 °C por 24 horas [6].

Método 3. Método de esterificación realizada en horno microondas (MW 10)

Una suspensión de almidón nativo a 25 °C (40 g de almidón en 100 mL de agua desionizada) se ajustó a pH 8,5 con NaOH 3% con agitación constante. Se agregaron 10 mL de anhídrido dodecenil succínico (DDSA), luego se introdujo en un horno microondas convencional (marca Samsung, Estados Unidos), con una potencia del 1,2 kW; las reacciones se llevaron a cabo empleando 3 ciclos de 2 minutos y 1 ciclo de 1 minuto usando la misma potencia. Cabe resaltar que entre cada ciclo se agitaba su contenido por períodos menores de 40 segundos. Cumplidos todos los ciclos de reacción, la suspensión se ajustó a un valor de 6,5 con HCl al 10%. El material se lavó tres veces con agua desionizada, se secó a 50 °C por 24 horas [15].

Etapas 3. Determinación del porcentaje de sustitución (PS)

El PS representa el número promedio de grupos hidroxilos sustituidos por mol de anhidroglucosa (AG). El PS de los almidones succinatados se determinó por titulación ácido-base, toda vez que el residuo de ácido dodecenil succínico unido a la cadena de almidón, posee un grupo carboxílico libre. Se pesaron 5 g de almidón modificado en un beaker de 50 mL, a los que se adicionaron 25 mL de solución de HCl 0,01 N; para asegurar que los residuos se encontraran protonados (remineralización). Esta suspensión se agitó durante 30 minutos. La suspensión se filtró y la torta húmeda se lavó con agua desionizada hasta que no se detectaron cloruros en el agua de lavado (utilizando solución de AgNO₃ 0,1 N). La torta húmeda se transfirió cuantitativamente a un vaso precipitado de 900 mL, añadiendo 100 mL de agua desionizada con posterior agitación. A continuación, se incorporaron 200 mL de agua desionizada a ebullición. La solución se colocó en un baño de agua hirviendo durante 30 minutos, después de enfriada, y con adición de 2-3 gotas de fenolftaleína al 1% como indicador, se tituló con NaOH 0,01 N [4-6]. El PS se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\%PS = \frac{C \times V \times 162}{W \times 1000 \times 3} \times 100$$

Donde:

C = normalidad de la solución de NaOH utilizada durante la titulación.

V = volumen consumido de la solución de NaOH.

W = peso de la muestra analizada.

162 = es el peso molecular de la unidad AG.

3 = es el número de hidroxilos presentes en cada unidad de AG.

Etapla 4. Absorción de aceite

Para la determinación de la capacidad de absorción de aceite, se tomó 1 g de cada almidón y se mezcló con 10 mL de aceite durante 30 segundos, con la ayuda de una varilla de vidrio. Las muestras se dejaron en reposo durante 30 minutos a temperatura ambiente. Luego, se centrifugaron a 3.000 rpm durante 15 minutos y se midió el volumen del aceite sobrenadante en una probeta de 10 mL [4-6]. Los resultados se expresaron como el porcentaje de aceite retenido por el almidón

Etapla 5. Capacidad emulsificante de los almidones modificados

Se mezcló 1 g de almidón con 25 mL de agua a 25 °C, y se agitó manualmente durante 15 minutos; luego se mezcló esta suspensión con 25 mL de una sustancia oleosa (aceite de maíz, aceite mineral, isopropilmiristato, eutanol G®, aceite de soya, aceite de oliva, aceite de girasol), con ayuda de un homogeneizador Ultra Turrax IKA T10 a 1.300 rpm por 3 minutos y se dejó en reposo a temperatura ambiente por 24 horas, al cabo de las cuales, se midió la cantidad de emulsión remanente (ER) [4-6]. Esta se expresó en términos de porcentaje, como volumen de la capa emulsificada (VCE) con respecto al total del líquido (VTL) empleando la siguiente expresión:

$$ER = \frac{VCE}{VTL} \times 100$$

Etapla 6. Determinación de la “huella de carbono”

Para determinar la “huella de carbono” se utilizó el estándar Public Available Specification 2050:2011 (PAS 2050) desarrollado por la British Standard Institution (BSI) y se tomó como unidad funcional del estudio 40 g de almidón nativo. En primer lugar, se estableció el límite del estudio, el cual va desde la puerta hasta la puerta y el límite operacional con el fin de realizar una adecuada identificación de las fuentes emisoras de gases de efecto invernadero (GEI) en cada uno de los procesos de modificación de almidones, teniendo en cuenta las emisiones indirectas expresadas en el alcance 2 (consumo de electricidad). Seguidamente, se recopilieron los datos de actividad de cada una de las operaciones y se buscaron los factores de emisión adecuada [16].

Para el caso del consumo de electricidad (CE) expresada en kWh, se tuvieron en cuenta los siguientes pasos:

1. Conocer la potencia eléctrica del motor monofásico en la placa del equipo.
2. Convertir la potencia si se encuentra en HP a kW (1 HP equivale a 0,75 kW).

3. Determinar las horas de operación de los equipos en cada proceso de la unidad de producto que se analiza.
4. Multiplicar la potencia de kW $\times$ horas de operación para obtener el CE y convertir a MW (1.000 kW equivale 1 MW).

Una vez se llevaron a cabo los pasos anteriores, el cálculo de la huella de carbono se realizó empleando la expresión:

$$\text{Huella de carbono} = \text{dato de actividad} \times \text{factor de emisión}$$

Donde, el factor de emisión utilizado para el CE en Colombia se obtuvo del informe de enero de 2015 de la Unidad de Planeación Minero Energética – Colombia.

Cabe resaltar que para efectos de este cálculo, no se tuvo en cuenta las emisiones derivadas del cultivo de las materias primas (yuca, batata y ñame) ni de la instalación y eliminación de los equipos, debido a que no se detectaron fugas de los equipos durante la modificación de los almidones nativos.

Etapas 7. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos para cada uno de los almidones bajo estudio, fueron recolectados y comparados mediante evaluación estadística, según los comportamientos observados para materiales de referencia, tales como el almidón de maíz. Todos los ensayos se realizaron por triplicado, siguiendo los protocolos establecidos anteriormente y presentados como la media $\pm$ error estándar. Los resultados obtenidos se sometieron a análisis de varianza ANOVA, seguido de la prueba de Dunnet para determinar las diferencias significativas, las cuales fueron consideradas significantes para un valor de $p < 0,05$. Los datos se ordenaron empleando el programa MS Excel 365, y los análisis estadísticos se hicieron con el paquete GraphPad Prisma V 5.0.

RESULTADOS

El grado de sustitución (GS) es el que permitirá establecer una comparación cuantitativa entre los métodos de modificación convencional y en microondas. El GS representa el número de grupos hidroxilos sustituidos dentro de la estructura del almidón por unidad de anhidroglucosa. Los resultados muestran que todos los almidones se sustituyeron de manera muy similar, alcanzando valores de sustitución que oscilan entre el 0,25% y el 0,47%, siendo unos valores muy por debajo de lo permitido por la U.S. F.D.A., el cual tiene un máximo del 3%, por tratarse de un material empleado en la industria alimenticia [5, 17]. Esto se puede apreciar más claramente en la figura 1.

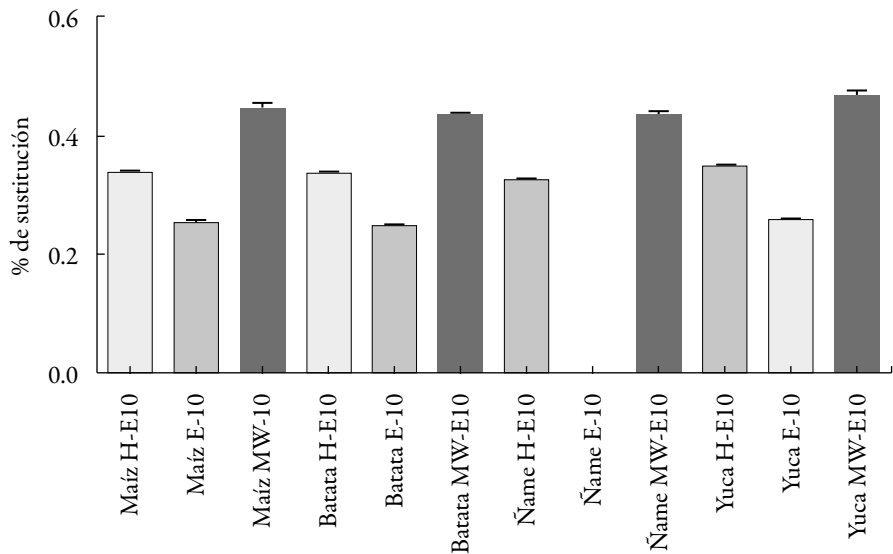


Figura 1. Representación gráfica de los porcentajes de sustitución de los almidones modificados.

Comúnmente, la introducción del grupo hidrofóbico alifático del DDSA con un alto grado de sustitución dentro de la estructura del almidón modifica sus propiedades superficiales, lo cual se observa en la figura 2, reportada por Torrenegra *et al.* [5].

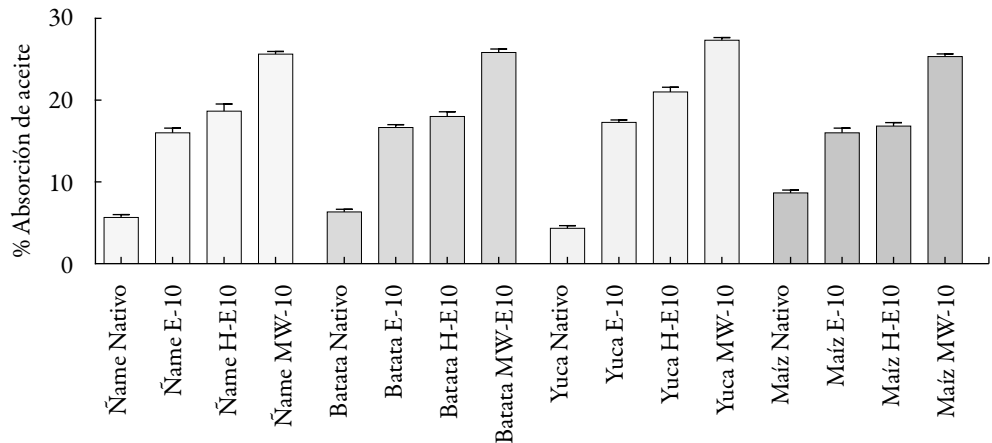


Figura 2. Representación gráfica de los porcentajes de captación de aceite de todos los almidones [5].

Según la figura 2, la capacidad de captación de aceite de los almidones nativos aumentó de manera significativa por el proceso de esterificación, y se observó que los almidones

modificados por el método de microondas presentaron mejores resultados, lo cual está directamente relacionado con el alto porcentaje de sustitución. Por otro lado, la capacidad emulsificante de los almidones modificados con DDSA fue más o menos igual para los cuatro almidones: maíz, batata, ñame y yuca; no obstante, este último presentó el mayor porcentaje frente a las cuatro sustancias oleosas evaluadas. Igualmente, se destaca que los almidones nativos tuvieron una capacidad de emulsificación nula (figuras 3, 4 y 5).

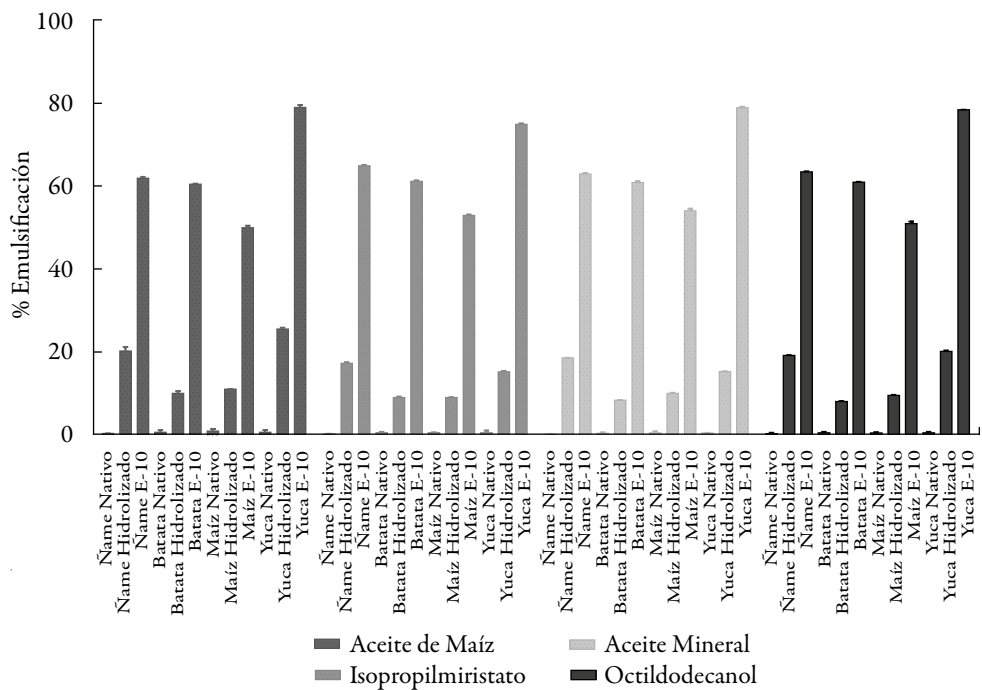


Figura 3. Representación gráfica de los porcentajes de emulsificación de todos los almidones obtenidos mediante hidrólisis y esterificación.

Para la estimación de la huella de carbono de los procesos de modificación de almidones, se tuvo en cuenta el alcance 2 asociado con el consumo de electricidad de los equipos utilizados en cada una de las operaciones y sus características como potencia y tiempo de funcionamiento (figura 6). Por tanto, se observó que el método con menor impacto ambiental en cuanto a toneladas de CO₂ emitidas, fue el método 3 de esterificación realizada en horno microonda, seguido del método 1 y método 2 (tabla 1). Se infiere que el tiempo de duración (25 horas) y la utilización del horno microondas fueron determinantes en este resultado, convirtiéndolo en una práctica amigable al medioambiente para el proceso de modificación de almidones nativos.

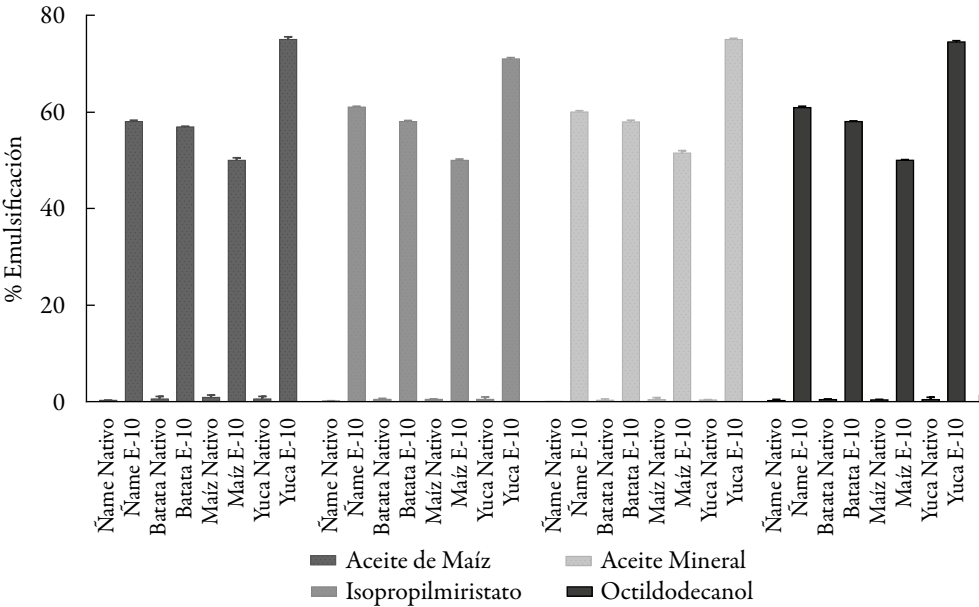


Figura 4. Representación gráfica de los porcentajes de emulsificación de todos los almidones obtenidos mediante esterificación directa.

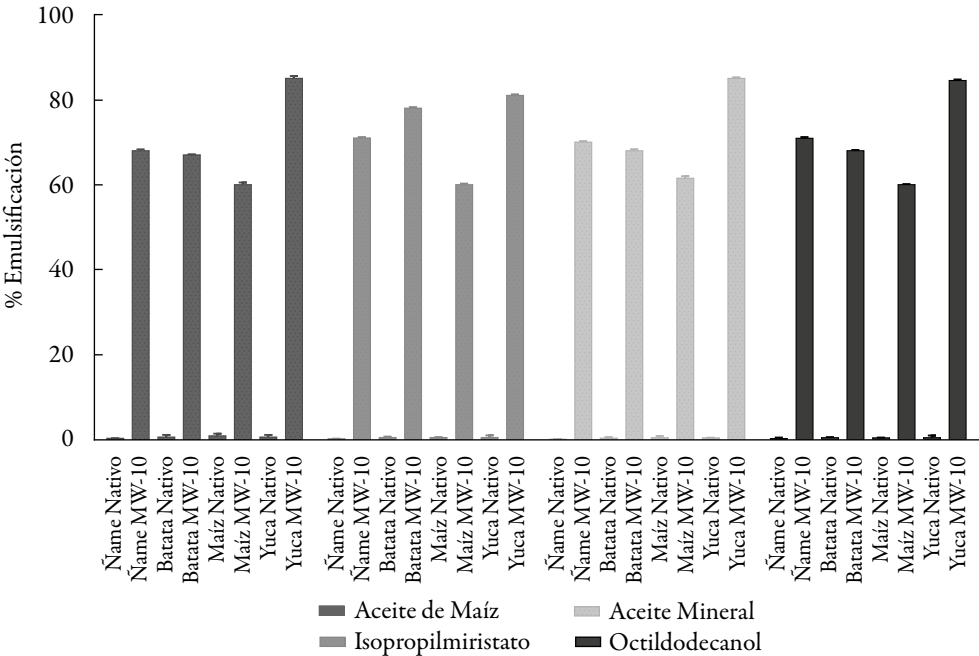


Figura 5. Representación gráfica de los porcentajes de emulsificación de todos los almidones obtenidos mediante esterificación por microondas.

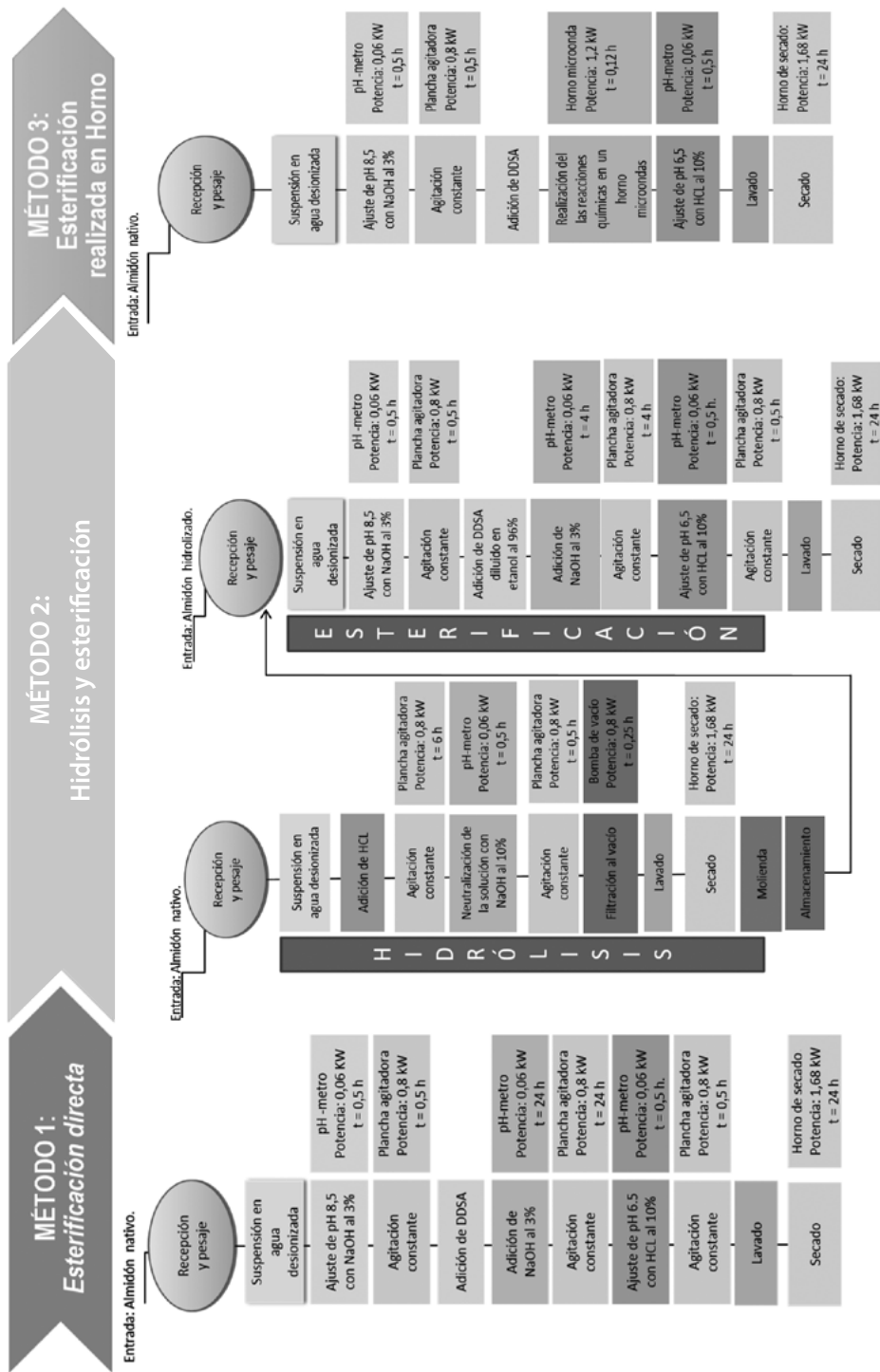


Figura 6. Diagrama de flujo de los procesos de modificación de almidones y los respectivos equipos asociados a las operaciones.

Tabla 1. Emisiones de CO₂ de los procesos de modificación química de almidones nativos.

Método	Alcance	Fuente – actividad	Dato de actividad (MWh)	Factor de emisión (Ton CO ₂ / MWh)	Emisiones (Ton CO ₂ equivalente)
1	Alcance 2	Consumo de electricidad	0,06182	0,197	0,01217854
2	Alcance 2		0,09037		0,01780289
3	Alcance 2		0,04092		0,00806124

DISCUSIÓN

Los trabajos publicados sobre la modificación de almidones con otros anhídridos (anhídrido octenil succínico–OSA), han demostrado que un aumento de la temperatura en la reacción produce un aumento en el grado de sustitución del producto, pero siempre se encuentra limitado por la poca estabilidad del almidón cuando es expuesto al calor. Asimismo, el campo magnético producido por la microonda interactúa directamente sobre las moléculas, permitiendo únicamente la rotación de estas, obteniéndose así un incremento de la cinética de reacción y grados de sustitución mayores; antes de que ocurra la degradación del almidón por efecto de un sobrecalentamiento [15]. De esto se desprende una ventaja del uso de radiación de microondas para llevar a cabo las reacciones. En cuanto a la comparación de los tres métodos de modificación, es evidente que el proceso en microondas representa una mayor eficiencia, no solo por un GS superior correspondiente a una mayor eficiencia química, sino también en el tiempo de reacción, donde se sustituye un proceso realizado en 24 horas de esterificación directa, 10 horas de hidrólisis y posterior esterificación a un calentamiento en microondas de tan solo 7 minutos.

Los agentes emulsificantes son estabilizadores coloidales, que contienen grupos hidrofílicos e hidrofóbicos. La parte hidrofílica puede ser iónica (por ejemplo, laurilsulfato sódico —SLS— teniendo un mecanismo estabilizador netamente electrostático), no iónico (nonil fenol etoxilado o el nonanol etoxilado), o ambos (por ejemplo, algunos estabilizadores proteicos). Se destaca que el mecanismo por el cual realizan la estabilización puede ser electrostático o estérico. Los almidones modificados con DDSA pueden funcionar como estabilizadores electrostáticos, aunque debido al tamaño de las moléculas en relación con el número de grupos cargados, su función es principalmente estérica [9]. Cabe resaltar que la esterificación de almidones ha sido utilizada durante los últimos años como un método para la obtención de surfactantes que sirvan para estabilizar sistemas bifásicos agua/aceite. Cuando se incorpora el grupo hidrofóbico de cadena alifática dentro de la molécula hidrofílica del almidón, le permite establecer una fuerte interacción en la interfase agua/aceite dándole a la emulsión resistencia a

la reaglomeración [9]. Asimismo, se ha mostrado que la incorporación de cadenas de doce carbonos en el almidón mejora las características termoplásticas y la estabilidad térmica de los ésteres de almidón [5].

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, no hubo diferencias significativas entre el porcentaje de sustitución de todos los almidones evaluados. Lo que demuestra que todos los almidones pueden ser sustituidos. Por otro lado, la capacidad emulsificante tampoco tuvo diferencias significativas entre los almidones estudiados.

Con base en los resultados presentados, se concluye que los almidones esterificados (lipofilizados) de ñame, batata, maíz y yuca, nativos de América, y relativamente poco estudiados para usos diferentes a los comestibles, tienen una alta potencialidad de emplearse como agente emulsificante en el diseño de preparaciones cosméticas. Asimismo, el “método en microondas” presentó algunas ventajas en comparación con los demás métodos, de las cuales destacamos: aumento de la eficiencia de esterificación, disminución del tiempo de reacción de esterificación y menor impacto ambiental. Con relación a la última ventaja, cabe resaltar que los datos obtenidos sobre la huella de carbono en cada uno de los procesos para la modificación de los almidones nativos, marcan un precedente para otros estudios, debido a que no se conocen datos numéricos o indicadores con los cuales se puedan comparar y que señalen en qué punto es negativo, regular o bueno. Por lo que la importancia de la medición de este parámetro radica en que ya no será algo que se deba hacer por obligación, sino más bien una ventaja competitiva que gira en torno al desarrollo sostenible de los procesos químicos e industriales, donde cada día se es más consciente de la problemática ambiental.

CONCLUSIONES

Los almidones esterificados pueden ser utilizados como agentes emulsificantes en preparaciones cosméticas, y el método en microondas es el que presentó mayores ventajas, dentro de las cuales está el menor impacto ambiental.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Colciencias y a la Gobernación de Sucre en el marco de la Convocatoria 697 para la formación de capital humano de alto nivel para el departamento de Sucre, Maestría Nacional 2014. De igual forma, al Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (Sennova) del Centro de Comercio y Servicios Regional Bolívar - SENA, por facilitar los recursos; asimismo, a la Universidad de Cartagena y Universidad de Sucre por brindar espacio y tiempo de sus investigadores.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaramos que no tenemos conflicto de interés.

REFERENCIAS

1. M. Aguilera-Díaz, “La yuca en el Caribe colombiano: de cultivo ancestral a agro-industrial”, Documentos de trabajo sobre economía regional No. 158, Banco de la República, Bogotá, 2012.
2. J. Figueroa, J. Salcedo, M. Rodríguez, Almidones acetilados de yuca y ñame para uso alimentario, *Agronom. Colomb.*, **34**(Supl. 1), S785-S788 (2016).
3. Y.C. Reina, “El cultivo del ñame en el Caribe colombiano”, Documentos de trabajo sobre economía regional No. 168, Banco de la República, Bogotá, 2012.
4. M.E. Torrenegra, G. León-Méndez, G.E. Matiz-Melo, J.D. Sastoque-Gómez, Lipofilización del almidón de *Dioscorea rotundata* P. y su posible uso como agente emulsificante, *Rev. Cubana Farm.*, **49**(4), 605-617 (2015).
5. M.E. Torrenegra, M.R. Osorio-Fortich, G. León-Méndez, B. González-Petro, Esterificación de almidones propios de la región Caribe colombiana, *Rev. Cubana Farm.*, **50**(4) (2016). URL: <http://www.revfarmacia.sld.cu/index.php/far/article/view/59/63>.
6. G.E. Matiz, G. León, K. Fuentes, Microencapsulación de aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) en matrices poliméricas de almidón de ñame (*Dioscorea rotundata*) modificado, *Rev. Colomb. Cienc. Quím. Farm.*, **44**(2), 189-207 (2015).
7. L.A. Bello-Pérez, S.M. Contreras-Ramos, R. Romero-Manilla, J. Solorza-Feria, A. Jiménez-Aparicio, Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *Musa paradisiaca* L. (var. macho), *Agrociencia*, **36**(2), 169-180 (2002).
8. O.I. Peñaranda, J.E. Perilla, N.A. Algecira, Revisión de la modificación química del almidón con ácidos orgánicos, *Rev. Ing. Invest.*, **28**(3), 47-52 (2008).
9. M.C. Sweedman, M.J. Tizzotti, C. Schäfer, R.G. Gilbert, Structure and physico-chemical properties of octenyl succinic anhydride modified starches: A review, *Carbohydr. Polym.*, **92**, 905-920 (2013).

10. M. Hernández-Medina, J.G. Torruco-Uco, L. Chel-Guerrero, D. Betancur-Ancona, Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México, *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, **28**(3), 718-726 (2008).
11. M. Stasiak, M. Molenda, J. Horabik, P. Mueller, I. Opalińsk, Mechanical properties of potato starch modified by moisture content and addition of lubricant, *Int. Agrophys.*, **28**, 501-509 (2014).
12. E.R. Zavareze, V.Z. Pinto, B. Klein, S.L.M. Halal, M.C. Elias, C. Prentice-Hernández, A.R.G. Dias, Development of oxidized and heat-moisture treated potato starch film, *Food Chem.*, **132**, 344-350 (2012).
13. CEPAL, “Informe ejecutivo de los estudios de medición de la Huella de Carbono a la estevia y uchuva deshidratadas – Colombia”, 2014. URL: http://www.colombiatrader.com.co/sites/default/files/Informe_ejecutivo_Colombia_25042_14_FINAL_sin_anexos.pdf.
14. H. Chi, K. Xu, D. Xue, C. Song, W. Zhang, P. Wang, Synthesis of dodecenyl succinic anhydride (DDSA) corn starch, *Food Res. Int.*, **40**, 232-238 (2007).
15. I.E. Rivero, “Desarrollo de mezclas de polietileno lineal de baja densidad y almidón de yuca”, trabajo de grado, Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, 2007. URL: <http://159.90.80.55/tesis/000141529.pdf>.
16. IHOBE, “Análisis de ciclo de vida y huella de carbono. Dos maneras de medir el impacto ambiental de un producto”, 2009. URL: <http://www.ihobe.eus/Paginas/Ficha.aspx?IdMenu=c5e31d77-0bba-401c-9b9a-f10a42dac57e&Idioma=es-ES>.
17. US Food and Drug Administration (FDA), Código de regulación federal, título 21, vol. 3, College Park, MD, 2006.

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO:

M.S. Caro-Soto, M.E. Torrenegra-Alarcón, M.R. Osorio-Fortich, G. León-Méndez, N.P. Pajaro, Evaluación del impacto ambiental del proceso de modificación química de almidones nativos como potenciales excipientes en la industria cosmética, *Rev. Colomb. Cienc. Quím. Farm.*, **47**(2), 217-231 (2018).

