Evaluation of the acid pretreatment of agroindustrial waste assisted by high-intensity ultrasound for further bioethanol production

TESIS DOCTORAL

Presentada por:

Tiago Carregari Polachini

Dirigida por:

Dr. Javier Telis Romero (IBILCE/UNESP – Brasil)

Dr. Juan Andrés Cárcel Carrión (ASPA/UPV – España)

Universitat Politècnica de València

Departamento de Tecnología de Alimentos

Julio, 2019

RESUMEN

El pre-tratamiento de los residuos de la agroindustria es una de las etapas más complejas del proceso de conversión de biomasa en bioetanol. Esta etapa consiste basicamente en aplicar tratamientos físicos o químicos a la biomasa con el objetivo de conseguir la hidrolización parcial de los carbohidratos y que ésos se vuelvan más acesibles para la posterior actuación de enzimas y microrganismos. En este sentido, el uso de ultrasonidos de alta intensidad se ha mostrado como una tecnología con un potencial interesante para, en combinación con métodos convencionales, intensificar los procesos de transporte de materia y energía. En el presente estudio se caracterizaron algunos residuos agroindustriales, concretamente el bagazo de yuca, cáscaras de cacahuetes y residuos de alcachofa, como ejemplos de materias potenciales para la producción de bioetanol después del pre-tratamiento ácido, con y sin la aplicación de ultrasonidos. Así, se caracterizaron los diferentes sistemas biomasa/soluciones ácidas de acuerdo con sus propiedades termofísicas (densidad, calor específico, difusividad térmica y conductividad térmica) y comportamiento reológico. Además, se caracterizó el campo acústico generado en cada uno de los diferentes sistemas mediante un método calorimétrico y se establecieron relaciones entre las medidas acústicas y las propiedades termofísicas y reológicas. Posteriormente, se determinaron las cinéticas de liberación de azúcares reductores y totales y los cambios estructurales producidos en las suspensiones consideradas durante los pretratamientos en disoluciones ácidas, realizados con agitación convencional o asistidos por ultrasonidos. Los resultados obtenidos indicaron que las suspensiones con alta concentración de ácido y alto contenido de sólidos presentaron una menor capacidad de transferencia de calor, debido a los valores más altos de calor específico, difusividad térmica, conductividad térmica. Estas mismas suspensiones presentaron también valores más altos de densidad y viscosidad, lo que indica una mayor resistencia al flujo. Esto se atribuye, no solo a la alta viscosidad, sino también a la aparición de un comportamiento reológico no-Newtoniano, como se observó a partir del ajuste del modelo de Herschel-Bulkley. Así, en suspensiones de cáscaras de cachuetes o de bagazo de yuca con concentraciones de sólidos de 8% y 6%, respectivamente, se observó una tensión

residual considerable y un comportamiento pseudoplástico. La temperatura también presentó un efecto significativo en las propiedades termofísicas. Aunque el efecto fue menos intenso, el incremento de temperatura facilitó la transferencia de calor y de cantidad de movimiento. Al aumentar las concentraciones de sólidos y ácido en las suspensiones, también se observó una reducción de la intensidad acústica generada durante la sonicación. Lo mismo pasó al realizar las mediciones de temperatura en puntos más lejanos de la punta de la sonda, indicando la atenuación de la energía acústica en el seno de las suspensiones. La eficiencia de conversión de energía eléctrica en energía acústica se incrementó por el aumento de la potencia nominal y/o la redución en la concentración de sólidos y ácido, mientras, el factor de atenuación de la intensidad acústica se mostró constante en 0.021 cm^{-1} en todas las condiciones estudiadas. Los datos de intensidad acústica se relacionaron bien con las propiedades físicas previamente determinadas presentado elevados coeficientes de correlación. Así, a una misma potencia nominal, la intensidad acústica aumentó en suspensiones con baja densidad y viscosidad. Por otra parte, se observaron mayores intensidades en suspensiones con mayor calor específico, difusividad térmica y conductividad térmica. La aplicación de ultrasonidos resultó más eficiente para acelerar el proceso de disolución de azúcares en medio acuoso que al proceso de agitación convencional. Además, los ultrasonidos fueron eficientes para hidrolizar la biomasa en condiciones de ácido y temperatura más suaves que las que se utilizan convencionalmente, principalmente en el caso de las suspensiones más diluidas en sólidos. Esto se pudo observar tanto por los datos experimentales de producción de azúcares reductores y totales como a través del ajuste del modelo de Naik. Por otra parte, se observaron mayores efectos secundarios en la microestructura de la biomasa (fibras y gránulos de almidón) y en el comportamiento reológico (mayor viscosidad) de las suspensiones pretratadas en presencia de los ultrasonidos. El campo acústico producido en las suspensiones sufrió una reducción a lo largo de las hidrólisis, posiblemente debido a dichos cambios. Así, se puede concluir que los ultrasonidos son una tecnología interesante para intensificar los pre-tratamientos de residuos provenientes de la agroindustria para la producción de bioetanol.

Palabras claves: Biomasa. Propiedades físicas. Campos acústicos. Hidrólisis. Cinética.