

ÍNDICE

ÍNDICE	i
LISTADO DE TABLAS	iv
LISTADO DE FIGURAS	v
LISTADO DE ABREVIATURAS.....	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	3
ANTECEDENTES	3
1. CARACTERÍSTICAS DEL SARGAZO PELÁGICO	3
1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SARGAZO PELÁGICO	3
1.2 COMPOSICIÓN PROXIMAL	4
1.2.1 Humedad.....	5
1.2.2 Compuestos fenólicos	6
1.2.3 Compuestos inorgánicos	8
1.3 COMPOSICIÓN ORGÁNICA ELEMENTAL.....	10
1.4 CODIGESTIÓN	12
1.5 PBM	13
1.6 DIGESTIÓN ANAEROBIA	16
1.6.1 Hidrólisis.....	17
1.6.2 Pretratamiento biológico asistido por enzimas lacasa.....	21
1.6.3 Pretratamiento químico con H ₂ O ₂	23
1.6.4 Acidogénesis/Acetogénesis – Metanogénesis	24
1.7 REACTORES PARA DIGESTIÓN ANAEROBIA	27
1.7.1 Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) – metanogénico.....	27

1.7.2 Reactor anaerobio de lecho empacado (RALE) – hidrolítico.....	30
1.7.3 Reactores anaerobios de dos etapas	31
OBJETIVOS	33
OBJETIVO GENERAL.....	33
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	33
CAPÍTULO 2	34
MATERIALES Y MÉTODOS	34
2. CARACTERIZACIÓN DEL SUSTRATO: SARGAZO PELÁGICO	34
2.1 PREPARACIÓN DEL SUSTRATO	34
2.2 COMPOSICIÓN PROXIMAL Y ORGÁNICA ELEMENTAL	35
2.2.1 Potencial teórico de metano - PTM.....	35
2.3 EVALUACIÓN DE LOS PRETRATAMIENTOS	36
2.3.1 Preparación del extracto enzimático	36
2.3.2 Pretratamiento enzimático (ENZ) y combinado (COMB) (térmico + enzimático).....	39
2.3.3 Pretratamiento químico con H ₂ O ₂ 2.5% v/v (PER).....	40
2.4 PBM	41
2.4.1 Medición de volumen de biogás y porcentaje de metano.....	43
2.4.2 Medición de AGV por cromatografía.....	46
2.5 ESCALAMIENTO DEL MEJOR PBM A SISTEMA DE REACTORES EN DOS ETAPAS....	47
2.5.1 RAFA - metanogénico.	47
2.5.2 RALE – hidrolítico.....	49
2.5.3 Acoplamiento de reactores	51
CAPÍTULO 3	53
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
3. CARACTERIZACIÓN DEL SUSTRATO	53
3.1 COMPOSICIÓN PROXIMAL DEL SARGAZO PELÁGICO	53
3.2 COMPOSICIÓN ORGÁNICA ELEMENTAL DEL SARGAZO PELÁGICO.....	55

3.2.1 Cálculo del PTM del sargazo pelágico.....	56
3.3 EVALUACIÓN DE LOS PRETRATAMIENTOS	58
3.3.1 Evaluación de los pretratamientos enzimático (ENZ) y combinado (COMB).....	58
3.3.2 Pretratamiento químico con peróxido de hidrógeno - H ₂ O ₂ (PER)	67
3.4 POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO	69
3.4.1 Relación C/N inóculo-sustrato combinada	69
3.4.2 Rendimiento diario de CH ₄	70
3.4.3 Rendimiento acumulado de CH ₄	73
3.4.4 Porcentaje de CH ₄	75
3.5 EVALUACIÓN DEL ESCALAMIENTO DEL MEJOR PBM A SISTEMA DE REACTORES DE DOS ETAPAS	81
3.5.1 Aclimatación del RAFA – metanogénico	81
3.5.2 RALE – hidrolítico.....	83
3.5.3 Acoplamiento de reactores	84
CONCLUSIONES.....	89
PERSPECTIVAS.....	91
BIBLIOGRAFÍA	92

RESUMEN

El sargazo pelágico es una macroalga perteneciente al phylum Ochrophyta, clase Phaeophyceae, orden Fucales, familia *Sargassaceae* y género *Sargassum*. Recientemente, los arribos masivos de las especies de macroalgas marrones, *Sargassum fluitans* y *Sargassum natans*, provenientes del «Gran Cinturón Atlántico de Sargazo» han afectado negativamente el turismo, la economía y el medio ambiente de las costas de Florida, África Occidental, Golfo de México y de manera importante la Región del Caribe. Se ha encontrado que la biodisponibilidad de los carbohidratos en el sargazo pelágico está restringida por su compleja estructura para la degradación microbiana. Además, contiene compuestos no deseados como sal, polifenoles y metales pesados que reducen su valor económico. Sin embargo, el sargazo pelágico contiene una densa cantidad de nutrientes con uso potencial como fertilizantes o piensos, compuestos biológicos activos que pueden usarse en biosorción y medicina. Como biocombustible ha mostrado un potencial de recuperación de metano comparable al de otros agroresiduos industriales con las ventajas de que no demanda fertilizantes, ni agua dulce, ni cambios directos en el uso del suelo. Buscando nuevas alternativas para el empleo de esta macroalga, el presente trabajo realizó una evaluación del potencial metanogénico del sargazo pelágico por medio de una alternativa biotecnológica a través de la conversión microbiana por digestión anaerobia en dos etapas. Se empleó un pretratamiento químico peróxido de hidrógeno para inducir la hidrólisis/acidogénesis, seguido de una etapa metanogénica induciendo la transferencia directa de electrones entre especies mediante la adición de carbón activado granular como material conductor para proporcionar estabilidad y mejorar la calidad del biogás producido. En el presente trabajo, se encontró que el pretratamiento con peróxido de hidrogeno contribuyo notablemente a mejorar en el potencial bioquímico de metano del sargazo pelágico ($273.03 \text{ L CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ SV}$). Trabajos a futuro requieren evaluar mejores condiciones en la operación de los reactores a escala con el fin de garantizar una mejor hidrólisis y generación de ácidos grasos volátiles como compuestos de plataforma para la producción de biometano.

ABSTRACT

Pelagic *Sargassum* is a macroalga belonging to the phylum Ochrophyta, class Phaeophyceae, order Fucales, family *Sargassaceae* and genus *Sargassum*. Recently, the massive arrivals of brown macroalgae species *Sargassum fluitans* and *Sargassum natans*, coming from the “Great Atlantic *Sargassum* Belt”, have negatively affected tourism, economy, and the environment of the coasts of Florida, West Africa, Gulf of Mexico and, importantly the Caribbean region. It has been found that the bioavailability of carbohydrates in pelagic *Sargassum* is restricted by their complex structure for microbial degradation. Additionally, it contains unwanted compounds such as salt, polyphenols and heavy metals that reduce its economic value. However, pelagic *Sargassum* contains a dense amount of nutrients with potential use as fertilizers or feed, active biological compounds that can be used in biosorption and medicine. As a biofuel it has shown a methane recovery potential comparable to that of other agro-industrial wastes with the advantages that it does not demand fertilizers, nor freshwater, and no direct changes in land use. Searching for new alternatives to employ this macroalgae the present work proposes a biotechnological alternative using microbial conversion for methane production by anaerobic digestion in two stages. With a chemical pretreatment using hydrogen peroxide to induce hydrolysis/acidogenesis, afterwards an methanogenic stage inducing direct interspecies electron transfer through the addition of granular activated carbon as conductive material to provide stability and improve the quality of the biogas produced. In this work, it was found that pretreatment with hydrogen peroxide contributed significantly to improving the biochemical methane potential of pelagic *Sargassum* (273.03 L CH₄ kg⁻¹ SV). Future work requires evaluating better conditions in the operation of scale reactors in order to guarantee better hydrolysis and generation of volatile fatty acids as platform compounds for biomethane production.