

称号及び氏名	博士（環境学） Villalobos Robles Luis Antonio
学位授与の日付	2024年3月31日
論文名	メキシコ，キンタナロー州，コスメル島における <i>Sargassum natans</i> と <i>Sargassum fluitans</i> のバイオガス生産システムに関する研究
論文審査委員	主査 大塚 耕司
	副査 興津 健二
	副査 黒田 桂菜

### Summary

Fossil fuels are the current main energy source for global energy production, with almost 80% of the world's total energy supply coming from non-renewable sources. The continuous use of fossil fuel combustion, roughly generates 36.2 Gt of CO<sub>2</sub> into the atmosphere as well as other hazardous gases, during 2022, resulting in the greenhouse effect. To preserve future generation's access to energy, it is necessary to look for new alternative energy supplies that are ecologically friendly and fit the criteria of a green economy. Biomass is a non-fossil organic resource with inherent chemical energy that has the potential to offset fossil fuel emissions. Furthermore, its production and potential to produce renewable bioenergy vary based on the country and its conditions. The Net Zero Emissions by 2050 (NZE) Scenario predicts a rapid growth in bioenergy use to supplant fossil fuels by 2030. Between 2010 and 2022, the use of modern bioenergy

increased by around 3 % per year on average and is on the rise. More efforts are needed to expedite modern bioenergy deployment to meet the NZE Scenario, which calls for an increase in deployment of 8 % per year between 2022 and 2030, while also ensuring that bioenergy production does not have detrimental social and environmental implications.

For the past 10 years an inundation of *Sargassum*, a brown type of seaweed, has occurred in the Mexican Caribbean coasts, which every year in season wash ashore. These macroalgae, are present in large quantities and emit noxious hydrogen sulfide upon decomposition. The *Sargassum* influx has a huge impact on tourism and fisheries sectors in Mexico and in all the other countries where this situation is occurring. At the moment there are programs instituted to mitigate this problem across the Caribbean region, it is necessary to come up with new ideas on how to take advantage of this biomass. The coastline of the Mexican Caribbean east of Yucatan is affected the most by the golden tides, making this the main place for conducting our study.

In 2015, people removed an average of 319 m<sup>3</sup> of *Sargassum* per km of coastline. The volume of *Sargassum* removed in Quintana Roo, Mexico increased from 6,567 m<sup>3</sup> in August 2015 to 19,603 m<sup>3</sup> in September 2015, and then decreased to 681.2 m<sup>3</sup>/km by 2016. The estimated amount was approximately 84 kg/m<sup>3</sup>, this being around 2000 tons of

*Sargassum* in the 6 months of the Sargassum season in the Country; this behavior also shows the irregularity in the *Sargassum* influx into the Mexican Caribbean.

This study focused on the Island of Cozumel, located in the Yucatan Peninsula in Mexico, as a viable location for a biogas plant because of its significant Sargassum influx. Mexico's energy sector currently underutilizes biomass, making studies like this one crucial in expanding clean energy prospects. The golden tides have become an increasingly problematic issue since 2012, and recent studies suggest the problem is worsening over time. This dissertation consists of 5 chapters. The main focus and results of each chapter are as follows.

**Chapter 1** provides a general background about the concepts of biomass, the current biomass state worldwide, an introduction to the golden tides problem, the anaerobic digestion technology, and it presents the objectives of this thesis.

**Chapter 2** mentions a field study developed on Cozumel, Island in Mexico. Various beaches were visited and Sargassum deposits were studied to understand the behavior of the seaweed influx in these places; showing how the type of beach can directly affect the amount of seaweed that can be perceived in these places.

**Chapter 3** presents the study concerning the anaerobic digestion of the plant, by knowing that seaweed, and especially brown macroalgae, has a low methane yield, a

concept known as Liquid Fraction of Digestate (LFD) was studied, as a feasible technology that helps mitigate the negative effects that the excess amount of digestate generated from AD has and provides an increase in the methane yield of the biomass. This pretreatment and the findings are shown in this chapter. Furthermore, a study made on the possible co-digestion of Sargassum, and glycerol was made, to assess some of the problematics that the glycerol creates when biodiesel is elaborated.

*Chapter 4* finally presents a feasibility study made for Cozumel Island, thinking of the *Sargassum* amount from our findings and the amount of organic waste described by SEMA (a Mexican public institution), the creation of this feasibility study project that explained the benefits of having a biogas plant on the Island, the handling, transportation, and operation costs were described. The importance of CO<sub>2</sub> reduction was remarkable and is also presented in our findings. The biogas plant could bring new opportunities for the Island regarding the transition into a more sustainable energy production process, thinking also of the importance that this may have for the island accounting for its touristic value in the country.

*Chapter 5* summarizes all the conclusions of the dissertation.

### List of publications

No.	Title	Authors	Journal / Conference	Corresponding chapter
1	An investigation into the Pelagic Sargassum Incursion Phenomenon: A Study of Seaweed Coastal Influxes on Cozumel Island, Mexico	Luis Antonio Villalobos Robles, Kuroda Kana	European Journal of Sustainable Development Research  January 5 <sup>th</sup> 2024, Volume 8, Issue 1, Article No: em0247	Chapter 2
2	Biogas Production from Sargassum Illicifolium — Solution for the Golden Tides —	Luis Antonio Villalobos Robles, Kuroda Kana	2022 International Conference on Resource Sustainability (icRS 2022), 24 pages. Online, 2022.	Chapter 3
3	Biogas production for Sargassum ilicifolium: Solution for the golden tides in Quintana Roo, Mexico	Luis Antonio Villalobos Robles, Kuroda Kana	European Journal of Sustainable Development Research January 6 <sup>th</sup> 2023, Volume 7, Issue 2, Article No: em0211	Chapter 4

## 学位論文審査結果の要旨

学位論文審査委員会

本論文は、褐藻類の大量発生が深刻化しているメキシコ コスメル島を対象に、褐藻 *Sargassum natans* および *Sargassum fluitans* (以下 *Sargassum*) を用いたバイオガス生産に関する研究である。現地調査を通して *Sargassum* の発生状況を詳しくまとめるとともに、バイオガス収量が低いことが課題であった *Sargassum* のメタン発酵において、メタン発酵消化液を用いた前処理方法を提案することで、*Sargassum* のバイオガス利用および消化液リサイクルの可能性を示した。これらの結果を基に、コスメル島でのバイオガス生産システムの実現可能性について、ライフサイクルアセスメントを用いて定量的に示した。

以下に示す現代システム科学専攻の博士論文審査基準（2018 年度以降入学生より適用）の 1) ~5) に照らし合わせて審査結果を述べる。

1) 博士学位申請者が主体的に取り組んだ研究であること。

本研究は、申請者が提案して取り組んだ研究課題であり、調査フィールドを自ら選定し、現地調査の交渉を含め、調査に必要なプロセスもすべて自ら行ったものである。加えて、2021 年度科学技術イノベーション創出に向けた大学フェロシップ創設事業「スマート社会を牽引する共創型 X-Care 課題解決アーキテクト養成」フェロシップ学生としても、主体的に本研究に取り組んだことを確認した。

2) 研究内容に新規性および独創性を有していること。

コスメル島における *Sargassum* 大量発生の問題について、バイオガス生産の観点から検討した事例は、これまで報告されておらず、現地調査に基づきバイオガス生産システムを具体化した点に新規性を見出すことができる。また、コスメル島では用途が見出せないメタン発酵消化液を活用し、*Sargassum* からのメタン生産を促す実験結果を示した点に、独創性を見出すことができる。

3) 当該研究分野の発展に貢献する学術的価値が認められること。

海藻の大量発生に対する対策は、世界各地で生じている喫緊の課題であり、本研究で示されたバイオガス生産システムに係る知見は貴重であり、他地域への展開も期待できる。特に、第 2 章で示した現地調査結果は、3 回にわたる訪問によって得られた貴重なデータであり、当該研究分野の発展に貢献する学術的価値が非常に高い。

4) 論文の構成および内容が適切であり、論文としての体裁が整っていること。

先行研究を含めた研究背景および課題が記述され、研究目的が明確であること、論文の構成が適切であること、論文の体裁が整っていることを確認した。また、研究目的に対応した結論が見出されていることを確認した。

5) 学位論文の公聴会での論文内容の発表および質疑応答が論理的に明確に行われていること。

公聴会では、主査：大塚耕司教授、副査：興津健二教授、黒田桂菜准教授の3名の分野内審査委員を含む聴講者に対し、約40分にわたり論文内容の説明が行われた。論理的かつ明確な説明がなされており、約20分間の質疑においては、審査委員やその他の聴講者からの質問に対して、論理的に応答がなされていた。

以上の結果から、本審査委員会は、本研究論文が現代システム科学専攻の博士論文審査基準を満たしており、申請者が自立して研究活動を行うのに十分な能力と学識を示していると結論した。