

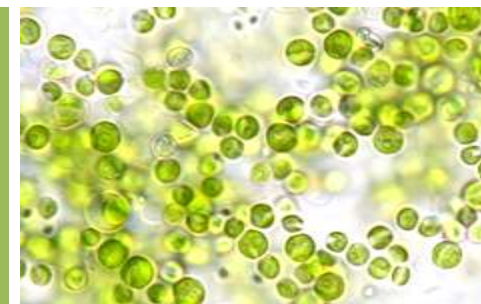


INGENIERÍA  
EN ENERGÍA



UNAB  
AMBIENTAL

# SÍNTESIS Y ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE BIODIESEL PRODUCIDO A PARTIR DE MICROALGAS



TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE  
INGENIERO EN ENERGÍA:

LUIS CARLOS CASTAÑEDA RAMÍREZ

# TABLA DE CONTENIDO



1. Objetivos
2. metodología
3. Marco contextual
3. Marco contextual
4. Síntesis de biodiesel
5. Análisis de ciclo de vida
6. Conclusiones



# OBJETIVOS

## ✓ OBJETIVO GENERAL

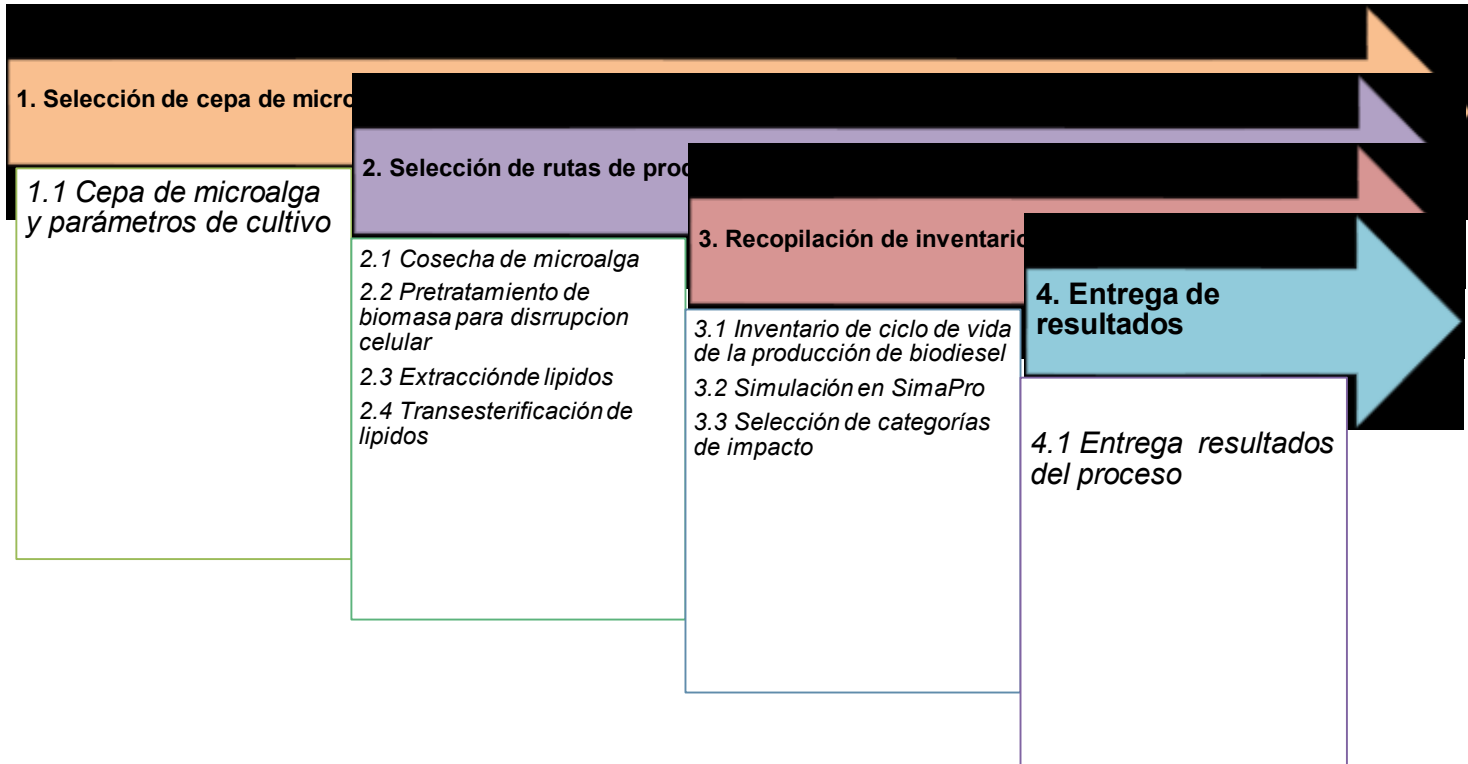
Sintetizar biodiesel a partir de micro algas, realizar su caracterización y obtener el perfil de impactos ambientales a lo largo de su ciclo de vida.

## ✓ OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Obtener biodiesel de micro algas con alta pureza.
2. Cuantificar los flujos de materia y energía requeridos en la etapa de cultivo de la microalga, obtención del aceite y conversión a biodiesel.
3. Obtener y analizar el perfil de impactos ambientales asociados a la cadena productiva del biodiesel de microalgas.



# METODOLOGÍA



# MARCO CONTEXTUAL



6.4%

*Incremento*

*2020 se perderá la autosuficiencia petrolera.*



# MARCO CONTEXTUAL



Producción  
de biodiesel



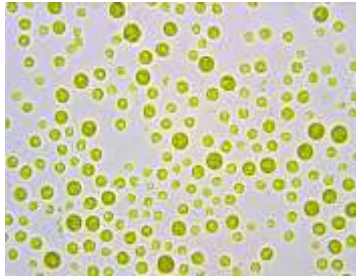
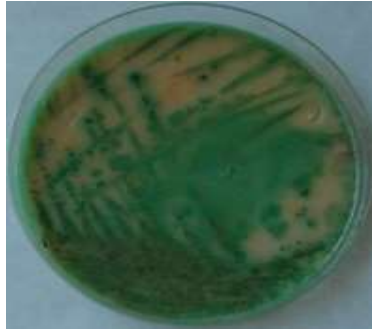


INGENIERÍA  
EN ENERGÍA



# SÍNTESIS DE BIODIESEL A PARTIR DE LA MICROALGA *CHLORELLA VULGARIS*

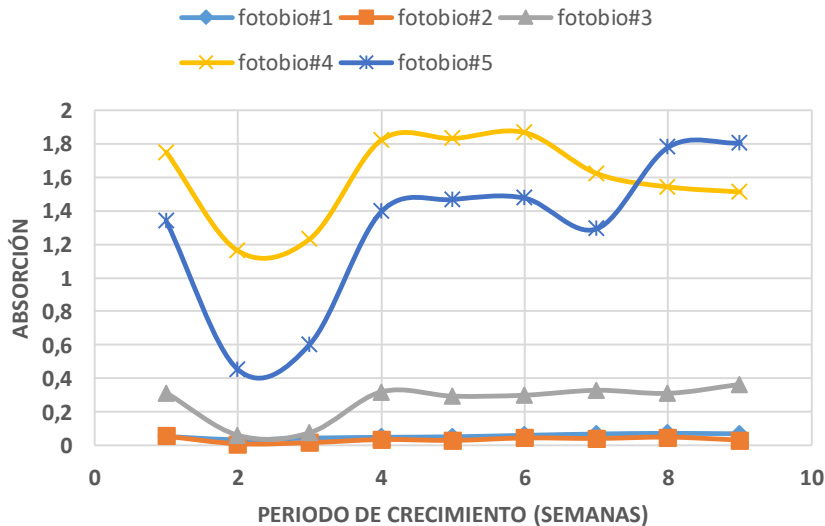
# CEPA DE MICROALGA, CONDICIONES Y MEDIO DE CULTIVO



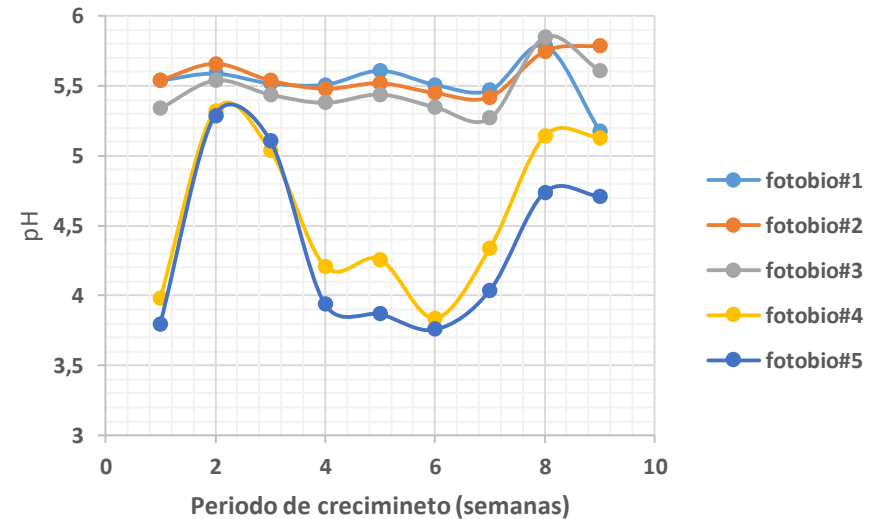


# CEPA DE MICROALGA, CONDICIONES Y MEDIO DE CULTIVO

## CURVA DE CRECIMIENTO



## CAMBIOS DE PH EN ETAPA DE CRECIMIENTO



# COSECHA DE MICROALGAS

Centrifugación



Sedimentación por gravedad



Metanol



Cloruro Férrico



PAC



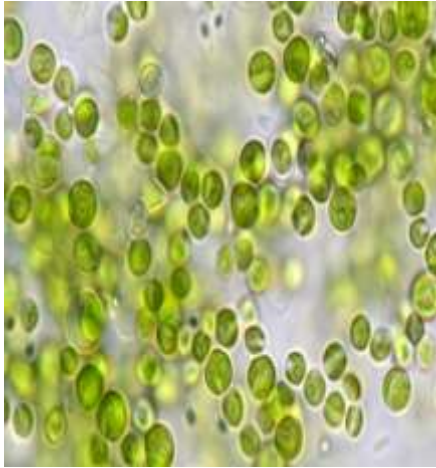
Variando el pH



PROCESO	gr
Metanol	1.59
Alumbre	1
Filtración por gravedad	0.327
PAC	1.33
pH (HCl)	1.14
Cloruro Férrico	0.42



# PRETRATAMIENTO DE BIOMASA PARA DISRUPCIÓN CELULAR



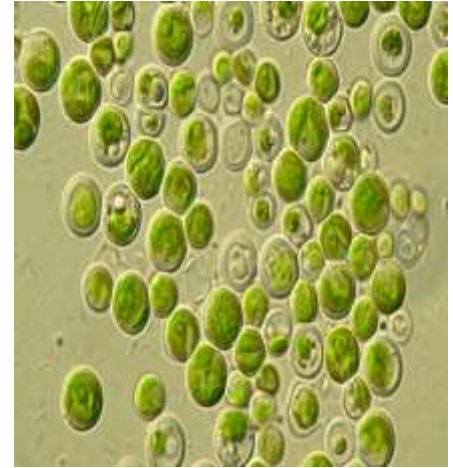
*Chlorella vulgaris*



*Microondas*



*Autoclave*

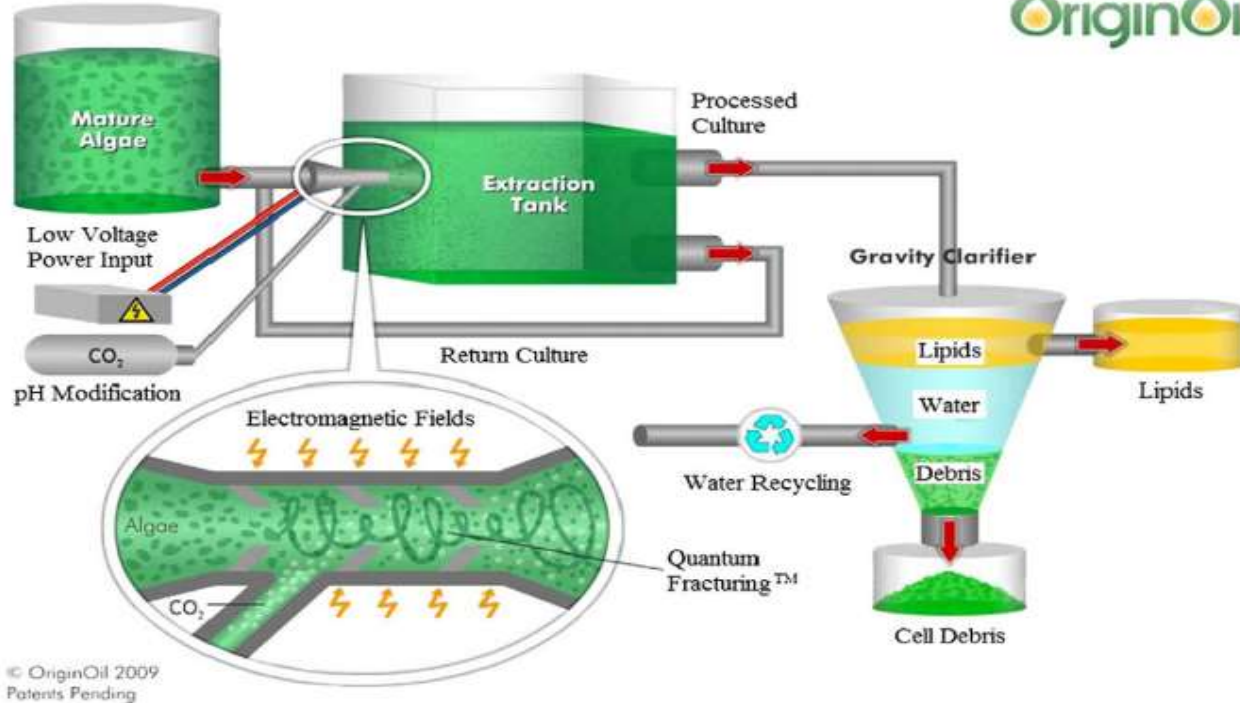


pH



# EXTRACCIÓN DE LÍPIDOS

OriginOil



# EXTRACCIÓN DE LÍPIDOS



PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES
Temperatura	5 a 10	°C
Campo electromagnético	54	Weber
pH	4.5 a 5.2	
Carga de biomasa	3	lts



# Extracción de lípidos mediante exposición a campo magnético



54 Weber

pH 4.5 a 5.2

Carga de biomasa 3 lts





# Extracción de lípidos mediante exposición a campo magnético



Método de extracción

Eficiencia de extracción de lípidos (1kg de biomasa)

**Extracción por solvente químico**

180 - 200 ml de aceite de microalga

**Extracción con exposición a campo magnético**

150 ml aceite de microalga



# Método de verificación de lípidos TG color GPO/PAP AA



$$factor = \frac{2 \text{ g/l}}{S}$$

Resultados de la muestra	
<b>B</b>	0
<b>S</b>	0.033
<b>D</b>	0.12
<b>TG (g/l)</b>	7.27

	B	S	D
<b>Muestra</b>	-	-	10 $\mu$ l
<b>Estándar</b>	-	10 $\mu$ l	-
<b>Reactivo A</b>	1 ml	1 ml	1 ml

- Deseable: < 1,50 g/l
- Moderadamente elevado a elevado: 1,50 - 1,99 g/l
- Elevado: 2,00 - 4,99 g/l
- Muy elevado:  $\geq$  5,00 g/l





# TRANSESTERIFICACIÓN DE LÍPIDOS



**3 moles de alcohol por una mol de  
aceite de microalga**

**NaOH**

**Metanol**





INGENIERÍA  
EN ENERGÍA

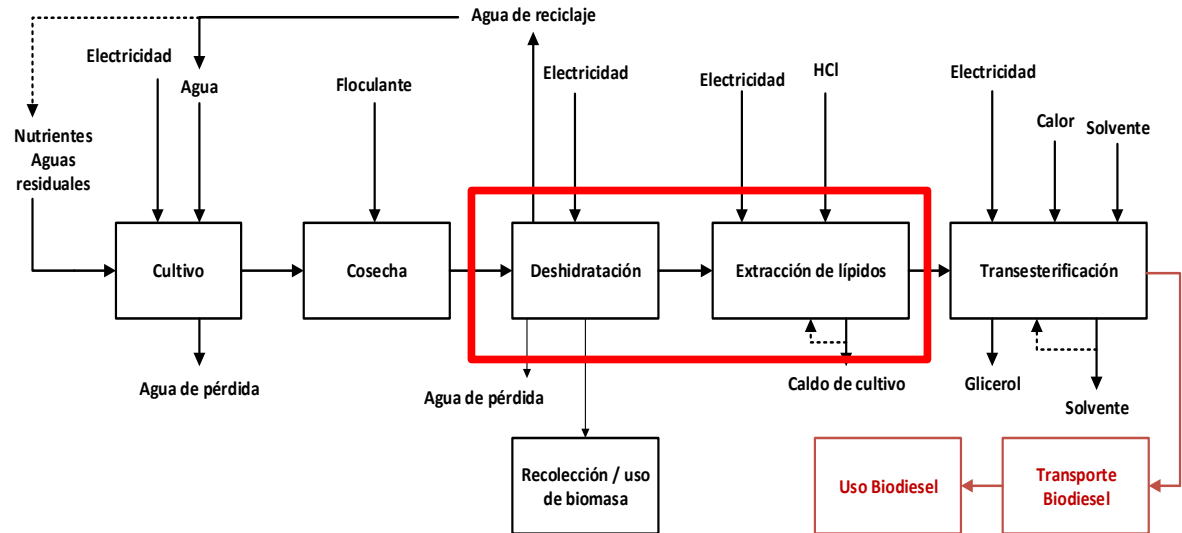


# ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE BIODIESEL A PARTIR DE LA MICROALGA *Chlorella vulgaris*

# DEFINICIÓN DEL OBJETIVO DEL ACV

Obtener y analizar el perfil de impactos ambientales de la cadena de producción de biodiesel de aceite de microalgas e identificar las etapas del proceso de producción donde se generan las emisiones contaminantes más relevantes.

## SISTEMA BAJO ESTUDIO:



# ACV

## Unidad funcional

Una vez definida la función del producto sometido a estudios, se escogió como unidad funcional 1 litro de biodiesel.

**Límites geográficos:** El estudio se limitó a la producción de biodiesel en Colombia, considerando que toda la cadena de producción del biodiesel se localizó en el departamento de Santander.

**Límites temporales:** Se tomó como horizonte temporal 10 años con base a estudios ya realizados.



# INVENTARIO DE CICLO DE VIDA (ICV)

	ENTRADAS DEL PROCESO	VALOR	UNIDAD
<b>Entradas cultivo</b>	Fertilizante (Nitrógeno)	0,26	kg
	Fertilizante (Potasio)	0,045	kg
	Fertilizante (Fosforo)	0,045	kg
	Agua	580	kg
	Electricidad (bombas de aireación)	42	KWh
<b>Salida cultivo</b>	Caldo de cultivo	10	kg
<b>Retratamiento</b>	Electricidad (agitación magnética)	6,17	KWh
	Ácido clorhídrico (HCl)	27	kg
<b>Entradas extracción de aceite</b>	Electricidad	25,5	KWh
<b>Salidas extracción de aceite</b>	Caldo de cultivo	18	kg
	Lípidos de bajo valor	0,053	kg
	Aguas residuales	280	kg
	Aceite de microalgas	0,87	kg
<b>Entradas transesterificación</b>	Aceite de microalgas	1	kg
	Metanol	0,1249	kg
	Hidróxido de sodio	0,021	kg
	Electricidad	0,85	KWh
<b>salidas transesterificación</b>	Biodiesel de microalga	0,756	kg
	Glicerina	0,112	kg

} 68.2 Kwh Extracción con solvente químico

} 134.2 kg Solvente químico (hexano, Cloroformo)



# METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

## ReCipe punto medio

- ✓ Cambio climático
  - ✓ Disminución de la capa de ozono
  - ✓ Toxicidad humana
  - ✓ Formación de oxidantes fotoquímicos
  - ✓ Formación de materia particulada
  - ✓ Radiación ionizante, Acidificación terrestre
  - ✓ Eutrofización de agua dulce
  - ✓ Eutrofización marina
  - ✓ Ecotoxicidad terrestre
  - ✓ Ecotoxicidad de agua dulce
  - ✓ Ecotoxicidad marina
  - ✓ Ocupación de terreno agrícola
  - ✓ Ocupación de terreno urbano
  - ✓ Transformación de terreno natural
  - ✓ Disminución de cantidad de agua dulce
  - ✓ Disminución de recursos minerales
  - ✓ Disminución de combustibles fosiles
- 
- ❖ Salud humana
  - ❖ Ecosistemas
  - ❖ Aumento del coste de recursos.

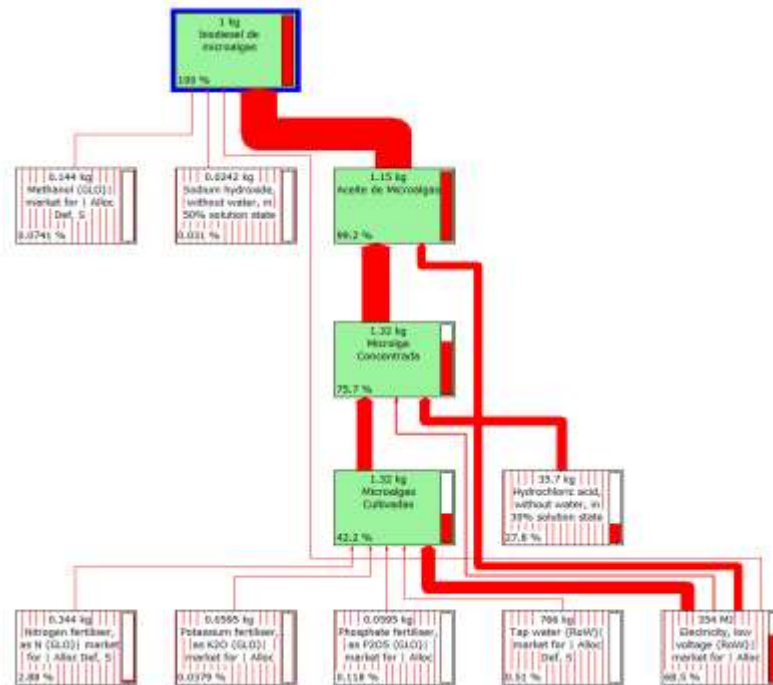


# CATEGORÍAS DE IMPACTO Y UNIDAD DE REFERENCIA

CATEGORÍA	UNIDAD DE REFERENCIA
<b>Cambio climático</b>	kg CO2 eq
<b>Acidificación terrestre</b>	kg SO2 eq
<b>Eutrofización</b>	kg P eq
<b>Eco-toxicidad al agua</b>	kg 1,4-DB eq
<b>Agotamiento de los recursos fósiles</b>	kg oil eq
<b>Toxicidad humana</b>	kg 1,4-DB eq

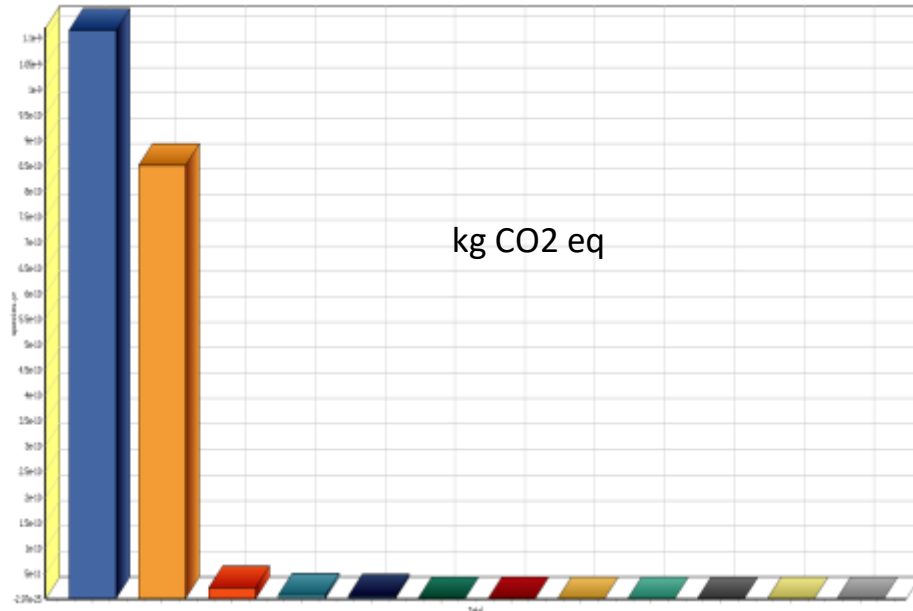


# Asignación e interpretación de resultados del inventario a las categorías de impacto

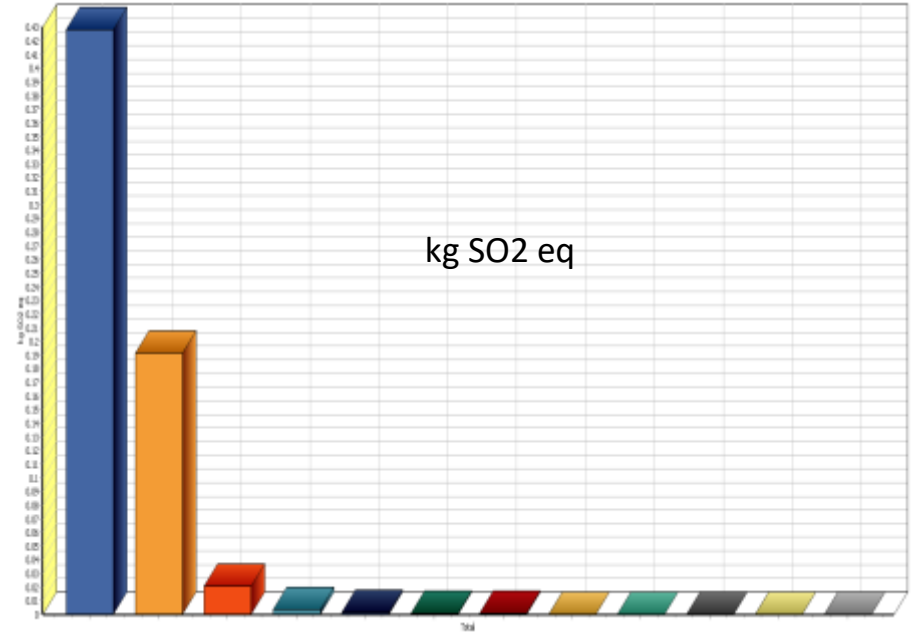




## ➤ Calentamiento global



## ➤ Acidificación terrestre

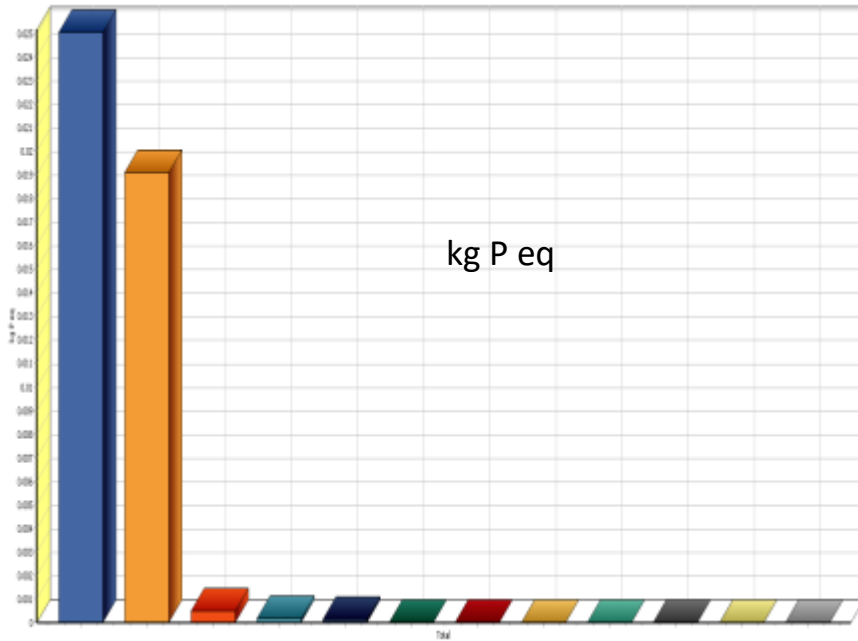


- Electricity, low voltage {RoW}| market for | Alloc Def, S
- Tap water {RoW}| market for | Alloc Def, S
- Potassium fertiliser, as K2O {GLO}| market for | Alloc Def, S

- Hydrochloric acid, without water, in 30% solution state {RER}| market for | Alloc Def, S
- Phosphate fertiliser, as P2O5 {GLO}| market for | Alloc Def, S
- Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state {GLO}| market for | Alloc Def, S
- Nitrogen fertiliser, as N {GLO}| market for | Alloc Def, S
- Methanol {GLO}| market for | Alloc Def, S
- Microalga Concentrada

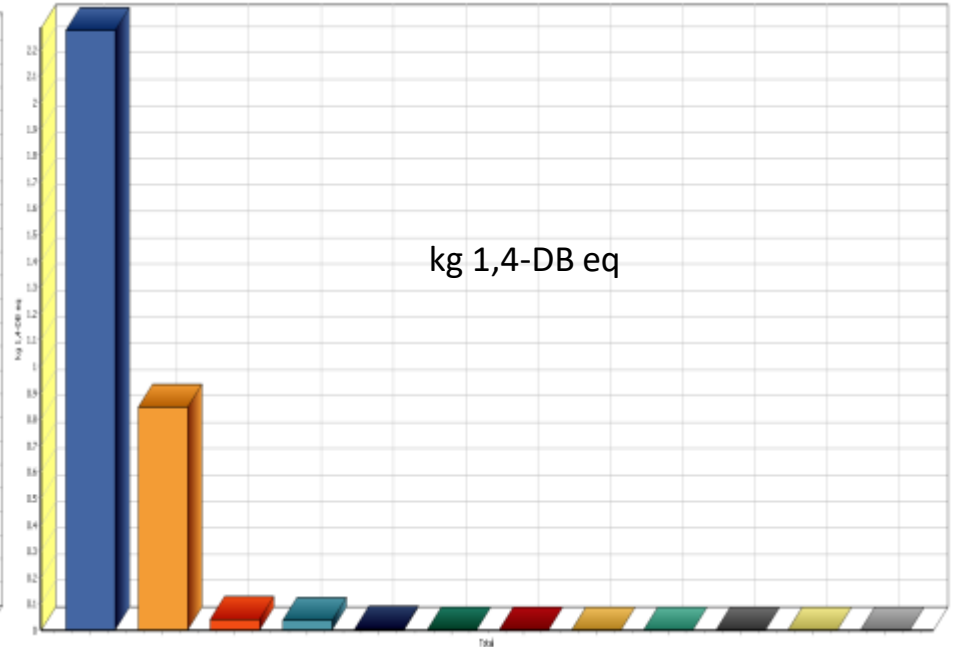


## ➤ Eutrofización



- Electricity, low voltage {RoW}| market for | Alloc Def, S
- Tap water {RoW}| market for | Alloc Def, S
- Potassium fertiliser, as K2O {GLO}| market for | Alloc Def, S

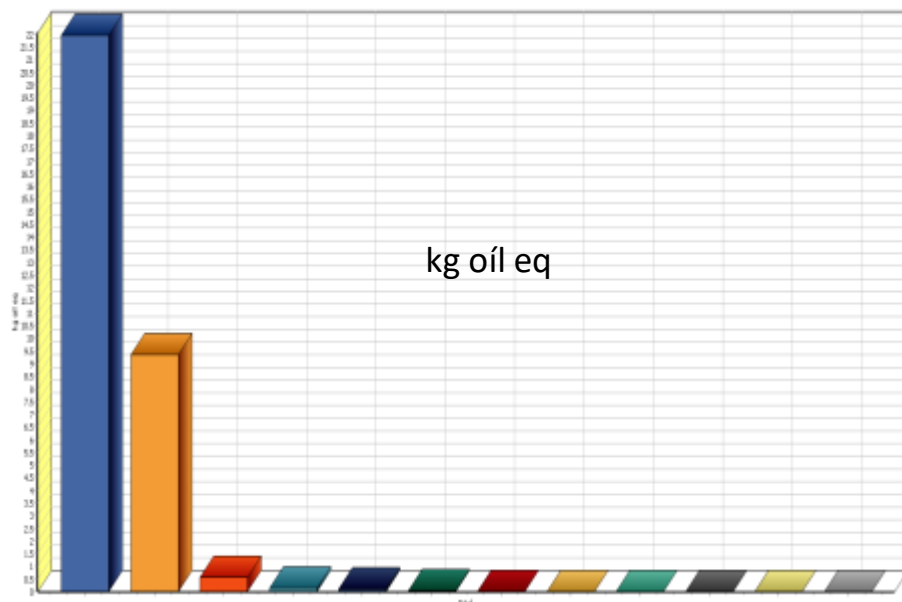
## ➤ Eco-toxicidad en agua



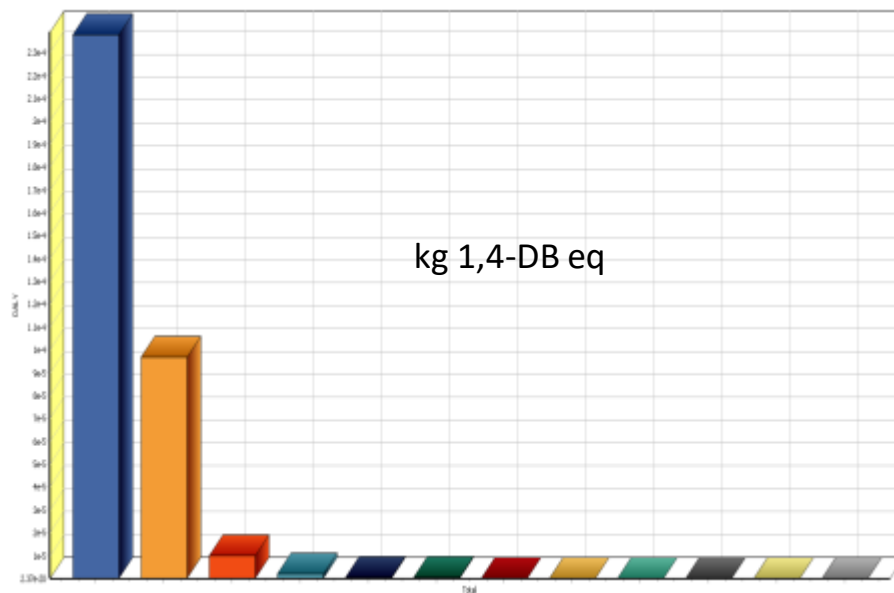
- Hydrochloric acid, without water, in 30% solution state {RER}| market for | Alloc Def, S
- Nitrogen fertiliser, as N {GLO}| market for | Alloc Def, S
- Phosphate fertiliser, as P2O5 {GLO}| market for | Alloc Def, S
- Methanol {GLO}| market for | Alloc Def, S
- Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state {GLO}| market for | Alloc Def, S
- Microalga Concentrada



## ➤ Agotamiento de los recursos fósiles



## ➤ Cambio climático Salud humana



- Electricity, low voltage {RoW}| market for | Alloc Def, S
- Tap water {RoW}| market for | Alloc Def, S
- Potassium fertiliser, as K2O {GLO}| market for | Alloc Def, S

- Hydrochloric acid, without water, in 30% solution state {RER}| market for | Alloc Def, S
- Phosphate fertiliser, as P2O5 {GLO}| market for | Alloc Def, S
- Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state {GLO}| market for | Alloc Def, S
- Nitrogen fertiliser, as N {GLO}| market for | Alloc Def, S
- Methanol {GLO}| market for | Alloc Def, S
- Microalga Concentrada



# CONCLUSIONES

- ✓ Las condiciones de cultivo seleccionadas en los fotobiorreactores 4 y 5: flujo de aire (4 L/min) temperatura ( $23^{\circ}\text{C} + 10^{\circ}\text{C}$ ), pH (3-5), para el crecimiento y posterior escalamiento de la microalga, demostraron ser las adecuadas. Esto fue confirmado por medios cuantitativos, como las pruebas de absorción por espectrofotometría.
- ✓ Los resultados de la eficiencia de separación con los diferentes métodos muestran que se consigue 1.59 gr de biomasa seca en la misma cantidad de caldo de cultivo (300 g) utilizando el método de floculación con metanol, sin embargo, el proceso mas conveniente para la ruta de producción seleccionada es la floculación mediante cambios de pH (con la cual se consiguen 1.14 gr en (300 g) de caldo de cultivo), ya que el siguiente proceso es la extracción de lípidos mediante exposición a campo magnético, el cual requiere de reducción de pH para debilitar las paredes de la microalga.



# CONCLUSIONES

- ✓ La extracción de lípidos mediante exposición a campo magnético en comparación con la extracción de lípidos con solventes químicos, resulta ser entre un 15% a 20% menos eficiente, sin embargo, al ser un método experimental y totalmente innovador se muestra como un método de extracción promisorio, si continua su desarrollo y perfeccionamiento.
- ✓ El biodiesel obtenido en esta investigación sigue una ruta de producción que no solo se muestra más amigable con el medio ambiente respecto a los métodos de extracción convencionales, sino que a su vez, representa una menor inversión a la hora de escalar el proceso a nivel industrial; ya que el requerimiento energético del proceso de extracción de lípidos mediante campo magnético es hasta un 40% menor que el requerimiento energético de la extracción de lípidos con solventes químicos, esto no solo mejora la carga ambiental del proceso global, sino que disminuye el costo de producción de biodiesel.



# CONCLUSIONES

- ✓ Se recopilieron los datos del proceso de producción de biodiesel, llevado a cabo en el Centro de Investigación en Biotecnología, Bioética y Ambiente, CINBBYA, de la Universidad Autónoma de Bucaramanga, con ellos se cuantificaron las entradas y salidas que se requieren y producen, esto dejó en evidencia que la ruta de producción seleccionada es significativamente mejor en términos medio ambientales y económicos, ya que, reduce el uso de solventes químicos en las etapas de extracción de aceite, al mismo tiempo disminuye los consumos energéticos pues ya no debe emplearse calor para recuperar los solventes utilizados en otras rutas de producción.



# CONCLUSIONES

- ✓ Teniendo en cuenta que en el análisis de ciclo de vida (ACV) realizado en esta investigación no se incluyen las etapas de distribución y uso, que usualmente son las que representan un mayor impacto ambiental en combustibles de tercera generación como el biodiesel, se concluye que el uso de la energía eléctrica en las etapas de cultivo y extracción de lípidos, es la entrada al proceso de producción que más impacta a las categorías de calentamiento global (GW), y agotamiento de recursos fósiles, con aportes de 70 kg CO<sub>2</sub> eq, y 22 kg oil eq, respectivamente.



# RECOMENDACIONES

- La eficiencia de extracción obtenida con el prototipo realizado para la extracción de lípidos con campo magnético es alta para ser un método experimental y puede ser mejorada perfeccionando el diseño.
- En la etapa de cultivo de microalgas, se recomienda utilizar flujos altos de aire en las 2 primeras semanas de crecimiento ya que esto acelera la tasa de crecimiento. Después de la segunda semana, debe reducirse el flujo de aire para evitar la reducción en la masa de cultivo debido a la oxidación de agua.
- Para un futuro análisis de ciclo de vida (ACV), incluir las etapas de distribución y transporte, y de esta manera saber con mayor certeza las ventajas que ofrece el biodiesel de microalgas en comparación con otros biocombustibles





# RECOMENDACIONES

- A la hora de producir biodiesel de microalgas se debe tener mucho cuidado en el manejo de sus aguas residuales, ya que, el ACV realizado en esta investigación demuestra que se corre el riesgo de eutrofización de las cuencas hídricas en las que desembocan, debido principalmente a los nutrientes como el fosforo y nitrógeno utilizados en la etapa de cultivo, y a las proliferaciones de microalgas.



# BIBLIOGRAFÍA

- 1] Henderson Quintero; “Desenvolvimento E Avaliação De Metodologias Para Purificação De Biolubrificantes Via Destilação Molecular De Filme Descendente” Campinas, 2012
- [2] HATAKEYAMA, T., QUINN, F. X. Thermal Analysis Fundamentals and Applications to Polymer Science, 2 ed. John Wiley & Sons, England, 1999.
- [3] HANSEN, C. M. Hansen Solubility Parameter. A User's Handbook. New York. Boca Raton, P. 208, 2000.
- [4] QUISPE TRINIDAD, Isabel et al; Análisis de ciclo de vida de los Biocombustibles en Perú. Red Peruana de ciclo de vida – sección Ingeniería Industrial: Pontificia Universidad Católica del Perú- Perú, 2009. 59p.
- [5] YAO, L., HAMMOND, E., WANG, T. Melting points and viscosities of fatty acid esters that are potential targets for engineered oilseed. Journal of the American Oil Chemists' Society, v. 85, p.77–82, 2008.



# BIBLIOGRAFÍA

- [6] WILLING, A. Lubricants Based on Renewable Resources – an Environmentally Compatible Alternative to Mineral Oil Products. Chemosphere, v.53, p 89-98. 2001.
- [7] HAUS, F., BOISSEL, O., JUNTER, G.-A. Primary and Ultimate Biodegradabilities of Mineral Base Oils and Their Relationship with Oil Viscosity. International Biodeterioration & Biodegradation, v.54, p189-192, 2004.
- [8] GUNSTONE, F.D., HARWOOD, J.L., DIJKSTRA, A.J. The Lipid Handbook. 3.ed. Taylor & Francis Ltd., United Kingdom, 2004.
- [9] ASPENTech. 2001. Aspen plus, Unit Operation Models. Worldwide Headquarters. Aspen Technology, Inc. 200 Wheeler Road Burlington, United States.
- [10] Chisti, Y., Biodiesel From microalgae, Biotechnology Advances, 2007. 25: P. 294- 306.

