



**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS**

**“ESTIMACION DE LA CAPTURA DE CARBONO  
POR *Caulerpa Filiformis* (Suhr.) Hering EN LA  
BAHÍA DE PARACAS, PISCO– 2016”**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

**HENRY ALEXANDER, TORRES HERRERA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**PISCO - PERÚ**

**2017**

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, porque cuando me sentía perdido sin saber que hacer se presentó una oportunidad la cual aproveche. Él me dio la fuerza para seguir y no temer.

## AGRADECIMIENTO

Le agradezco a mí madre por darme la oportunidad de seguir estudiando y a mi familia y amigos por apoyarme de la forma que podían cuando lo necesitaba, muchas gracias.

## RESUMEN

La presente Tesis identifica el servicio ecosistémico, captura de carbono mediante prado de algas marinas de la Bahía de Paracas ya que esta cumple con uno de los tipos de servicios ambientales del proceso que realiza el prado por medio de la fotosíntesis que capta el carbono ambiental, considerado como punto importante en el protocolo de Kioto este almacenamiento de carbono que ayuda a regular el clima esta clase de normas y Leyes Peruanas son Ley General del Ambiente Ley 28611. Determina la posibilidad de esquemas de pago por servicios ecosistémicos o similares de otro lado el Reglamento de Organización y Funciones del SERNANP dado mediante Decreto Supremo N° 006-2008-MINAM, precisa como función general del SERNANP “promover, otorgar y regular derechos por los servicios ambientales y otros mecanismos similares generados por las ANP bajo su administración”

Este estudio define porcentaje de consumo de carbono que absorbe macro algas según su biomasa basándose en el estudio que define la producción de 3.5 toneladas de algas requiere de 1.27 toneladas de carbono este formato no permite utilizar los datos obtenidos de la pradera de algas como el mapa del área de la pradera de alga y su biomasa, se estudiara la tasa de varamiento del alga mediante una ficha que recopilara cuanto es el porcentaje de algas que se varan en la playas de la Bahía de Paracas con lo cual también se podrá calcular la tasa de renovación del prado de algas esto calculara la capacidad de absorción de carbono de las algas marinas utilizando la fórmula matemática calcularemos el porcentaje de carbono que es fijado esto definirá el valor agregado de obtener un beneficio sin tocar el ecosistema lo que se considera un manejo sustentable; aplicable en todas las áreas naturales del Perú porque todos los ecosistemas podrían ofrecer este servicio según el ecosistema que protege.

## ABSTRACT

The present thesis identifies the ecosystem service, Carbon capture by seaweed meadow of the Bay of Paracas since it fulfills one of the types of environmental services by the natural process that the meadow makes through the photosynthesis that realizes captures the Environmental carbon, considered as an important point in the Kyoto Protocol carbon storage that helps regulate the climate and it is governed by Peruvian laws and regulations. General Law of the Environment Law 28611.

It determines the possibility of payment schemes for systemic or similar ecosystem services. On the other hand, the Regulation of Organization and Functions of SERNANP given by Supreme Decree No. 006-2008-MINAM, specifies as a general function of SERNANP "to promote, grant and regulate rights for environmental services and other similar mechanisms generated by the ANP under its administration"

This study defines the percentage of carbon consumption that absorbs macroalgae based on the biomass based on the study that defines the production of 3.5 tons of algae requires 1.27 tons of carbon. This format does not allow to use the data obtained from the algae meadow as the map of the Area of the seaweed prairie and its biomass, the algae stranding cup will be studied by means of a tab that compiles the percentage of algae that are varaned on the beaches of the bay of Paracas, whereby the cup of Renewal of algae meadow this will calculate the carbon absorption capacity of seaweed using the mathematical formula rule three simple we will calculate the percentage of carbon that is fixed this will define the added value of obtaining a benefit without touching the ecosystem what is considered Sustainable management; Applicable in all natural areas of Peru because all ecosystems could offer this service according to the ecosystem it protects.

## INTRODUCCION

El Dióxido de Carbono es uno de los gases de efecto invernadero más importante producido por las actividades humanas (Schlegel, 2001), que contribuye mayormente al calentamiento global (Díaz et al, 2007) en los últimos 150 años, la forma de utilizar los recursos naturales ha contribuido en forma muy significativa al aumento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera de la tierra (Schlegel, 2001).

La preocupación mundial por la acumulación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera de la tierra, ha llevado a los países, a aplicar políticas nacionales e internacionales que puedan reducir esta tasa de incremento (Gayoso y Schlegel, 2001) entre los principales GEI, el dióxido de carbono es el que más afecta al balance radiactivo de la tierra (Lakyda, 2011) entre las estrategias para capturar el carbono, se encuentra la fijación del CO<sub>2</sub> como biomasa, por los organismos fotosintetizadores (Díaz et al, 2007).

Las algas son organismos que están presentes desde los comienzos del origen de la vida y presentan mayor tasa fotosintética, de 10 a 50% más que otros organismos vegetales (Miñon, 2013) mediante la fotosíntesis se consigue metabolizar el dióxido de carbono y emitir oxígeno al ambiente, la determinación adecuada de biomasa vegetal es un elemento de gran importancia debido a que con ello se puede estimar la cantidad de carbono capturado (Schlegel, 2010). Los océanos desempeñan un papel importante en el ciclo mundial de carbono, no solo representan el mayor sumidero de carbono a largo plazo, sino que también almacenan y redistribuyen el CO<sub>2</sub> (Nelleman et al, 2009)

*Caulerpa Filiformis* (Suhr.) Hering es una macroalga de la familia Caulerpacea, su tasa de crecimiento es bastante elevada, siendo considerada una especie potencialmente invasiva de amplia distribución (Guiry, 2004). El área de distribución en el Perú se concentra en las regiones de Piura (Sechura, Mataballo, Parachique, Paita y Máncora) y Lambayeque (Islas Lobos de Afuera) (Acleto, 1986) y en Isla Lobos de Tierra (Mendo et al, 2006); asimismo, se ha reportado en el departamento de Ancash (Chimbote) (autor, año); y, en diciembre del 2010 se reportó en Bahía de Paracas, la misma que se ha expandido exponencialmente en los últimos años (ERM, 2012), incrementando su biomasa y por ende capturando carbono.

Los ecosistemas costeros son importantes para la producción oceánica global y generan servicios al ecosistema (Rubio, 2010). La contribución de los ecosistemas costeros dominados por macrófitos en la captura y secuestro de carbono pueden ser importantes y esto dio lugar a plantear los objetivos de la presente Tesis, en la cual se pretende estimar la captura de carbono en las praderas de la macroalga verde *C.Filiformis* en la Bahía de Paracas.

**“ESTIMACION DE LA CAPTURA DE CARBONO POR *Caulerpa Filiformis* (Suhr.)  
Hering ENLA BAHÍA DE PARACAS, PISCO – 2016”**

**TABLA DE CONTENIDOS**

DEDICATORIA .....	II
AGRADECIMIENTO .....	III
RESUMEN.....	IV
ABSTRACT .....	V
INTRODUCCIÓN .....	VI
TABLA DE CONTENIDOS .....	VIII
1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓ.....	1
1.1.Descripción de la realidad problemática .....	1
1.2.Delimitaciones y definición del problema.....	2
1.2.1.Delimitaciones.....	2
A. Delimitación Espacial .....	2
B. Delimitación Temporal .....	2
C. Delimitación Social.....	2
D. Delimitación Conceptual .....	2
a. Área de la biomasa de la pradera de algas marinas .....	2
b.Captura de carbono de las algas marinas .....	2
c. Porcentaje del carbono fijado por las algas.....	2
1.2.2.Definición del Problema .....	3
1.3.Formulación del Problema .....	3
1.3.1.Problema principal .....	3
1.3.2.Problema específico.....	3
1.4.Objetivo de la Investigación .....	3
1.4.1.Objetivo General .....	3
1.4.2.Objetivo específico .....	4
1.5.Hipótesis de la investigación.....	4



1.4.1.Hipótesis General .....	4
1.4.2.Hipótesis específico .....	4
1.6.Variable e Indicadores .....	4
1.6.1.Variable Independiente .....	4
A. Indicadores .....	4
B. Índices .....	4
1.6.2.Variable Dependiente.....	5
A. Indicadores .....	5
B. Índices .....	5
1.7.Viabilidad de la investigación.....	5
1.7.1.Viabilidad técnica .....	5
1.7.2.Viabilidad operativa.....	5
1.7.3.Viabilidad económica .....	6
1.8.Justificación e Importancia de la Investigación.....	6
1.8.1.Justificación .....	6
1.8.2.Importancia .....	6
1.9.Limitaciones de la Investigación.....	6
1.10. Tipo y Nivel de la Investigación.....	6
1.10.1.Tipo de investigación .....	6
1.10.2.Nivel de investigación .....	7
1.11. Método y Diseño de la investigación.....	7
1.11.1.Método de la investigación.....	7
1.11.2.Diseño de la investigación.....	7
1.12. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información.....	7
1.12.1.Técnicas .....	7
1.12.2. Instrumentos .....	8
1.13. Cobertura de Estudio .....	8
1.13.1.Universo.....	8
1.13.2. Muestra.....	8
2. CAPÍTULO II:MARCO TEÓRICO .....	9
2.1.Antecedentes de la investigación.....	9
2.2.Marco Histórico .....	10
2.2.1.Evolución histórica de la captación de carbono .....	10
2.2.2. El papel de los océanos saludables en la fijación de carbono .....	13
2.2.3.Marco nacional de gestión del cambio climático Peruano .....	22
2.2.4.Avances en la adaptación al cambio climático .....	26

2.2.5. Interpretaciones jurídicas sobre los servicios ecosistémicos .....	29
2.3. Marco Conceptual.....	34
2.3.1. Caulerpa filiformis (Suhr.) Hering .....	34
2.3.2. Captación de carbono de la pradera de algas marinas .....	39
2.3.3. La fotosíntesis y la productividad para el océano .....	40
2.3.4. Factores ambientales y su efecto en la producción algal .....	43
2.3.5. Servicios ecosistémicos .....	55
3. CAPÍTULO III: SOLUCION PROPUESTA.....	57
3.1. Generalidades.....	57
3.2. Estudio de factibilidad .....	57
3.2.1. Factibilidad técnica.....	57
3.2.2. Factibilidad operativa .....	58
3.2.3. Factibilidad económica.....	58
3.2.4. Factibilidad legal .....	59
3.3. Análisis del área Caulerpa filiformis Hering en la bahía de paracas .....	59
3.3.1. Evaluación de la distribución de C. Filiformis en bahía de paracas ....	59
3.3.2. Evaluación de la cobertura , C. filiformis en la Bahía de Paracas .....	62
3.4. Contraste de hipótesis .....	65
4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	73
4.1. Análisis de los resultados.....	73
4.1.1. Hipótesis de Investigación.....	75
4.1.2. Hipótesis Estadística.....	75
4.2. Prueba estadística utilizada .....	75
4.2.1. Prueba de Hipótesis para el indicador Eficiencia.....	75
4.2.2. Prueba de Hipótesis para el indicador Eficacia .....	76
4.2.3. Prueba de Hipótesis para el indicador Productividad .....	76
5. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	77
5.1. Conclusiones .....	77
5.2. Recomendaciones .....	78
FUENTES DE INFORMACIÓN .....	79
i. Fuentes Bibliográficas .....	79
ii. Fuentes Virtuales.....	80
iii. Tesis .....	81
ANEXOS .....	82

iv. Matriz de consistencia .....	82
GLOSARIO DE TÉRMINOS .....	83
INDICE DE FIGURAS.....	85
INDICE DE GRAFICOS.....	85
INDICE DE TABLAS .....	85
INDICE DE ANEXOS.....	85

## CAPITULO I

### PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

#### 1.1 Descripción de la Realidad Problemática

En el ecosistema marino costero de la Bahía de Paracas no estaba presente la macroalga verde *Caulerpa filiformis*, sus ambientes intermareales y submareales someros estaban dominados por diferentes especies de lechuga de mar *Ulva* spp. y en ambientes submareales poco profundos, asociados a sustratos de ripial con arena media habitaba principalmente el yuyo *Chondracanthus chamissoi*. (Flores, et al, 2015).

La presencia de *C. Filiformis* en Bahía Paracas fue reportada por primera vez en diciembre de 2010 por la empresa consultora Environmental Resources Management (ERM), como parte del Monitoreo Biótico y Abiótico del Componente marítimo de la planta de Fraccionamiento en Pisco, prestando servicios a la empresa Pluspetrol Perú Corporation (ERM, 2012).

Si bien es cierto que *C. Filiformis* es considerada una especie exótica invasiva, que normalmente pueden afectar la distribución y estructura de las comunidades biológicas presentes en los ecosistemas naturales invadidos (ERM, 2012), también estaría brindando un servicio ambiental contribuyendo con la mitigación de emisiones de gases de invernadero, a través de la reducción, captación, fijación y almacenamiento de carbono por medio de la fotosíntesis, características de los vegetales y algas marinas.

Al mitigar las emisiones de dióxido de carbono hacia la atmósfera, los ecosistemas con cobertura fotosintética resultan ser la clave para enfrentar el problema mundial del cambio climático. Una de las ventajas de las algas marinas es su rápido crecimiento y por ende deberían tener una mayor captura de carbono, a diferencia de los bosques en donde la captura del carbono solo se realiza durante el crecimiento de los árboles, que además son de lento crecimiento.

## 1.2 Delimitaciones y Definición del Problema

### 1.2.1 Delimitaciones

#### A. Delimitación Espacial.

Pradera de C. Filiformis en la Bahía de Paracas, Pisco.

#### B. Delimitación Temporal.

Periodo comprendido entre los años 2011 al 2015

#### C. Delimitación Social.

La zona de la Pradera de algas marinas provee un servicio ambiental a la población aledaña de la Bahía de Paracas la cual logra la mitigación de emisiones de gases de invernadero.

#### D. Delimitación Conceptual

Determinar la cantidad de carbono captado por C. Filiformis en praderas de Bahía Paracas.

- a. Área de la biomasa de la pradera de algas marinas el área que ocupa el prado de algas se utilizara un mapa y se analizara la biomasa de este con relación a su extensión capacidad de absorción de carbono
- b. Captura de carbono de las algas marinas el estudio de investigación servicio eco sistémico captura de carbono , se tomara la cita que define que 3.5 toneladas de algas requiere de 1.27 toneladas de carbono basado en estos indicadores se puede calcular cuánto de carbono consumo un porcentaje determinado de biomasa de macro alga marina
- c. Porcentaje del carbono fijado por las algas se utilizara cálculo matemático de modo que estime el porcentaje de carbono que es fijado utilizando los datos de los puntos anteriores

### **1.2.2 Definición del Problema**

Todas las especies de algas marinas (microalgas y macroalgas) brindan servicios ambientales a través del proceso bioquímico natural conocido como fotosíntesis, al capturar el carbono (como CO<sub>2</sub>) disuelto en el ambiente marino.

El servicio ambiental que estaría prestando la especie de macroalga verde recientemente asentada en la Bahía de Paracas, *C. Filiformis*, aún no es posible ponerla en valor, debido a que se desconoce la cantidad de carbono que estaría capturando.

La macroalga invasiva *C. Filiformis* se encuentra en pleno proceso de ampliación de su distribución e incremento de su biomasa al interior de la Bahía de Paracas, por lo que estaría capturando una cantidad importante de carbono, que es necesario conocer para identificar apropiadamente el servicio ambiental que estaría prestando.

Los efectos ecológicos y ambientales que estaría ocasionando la presencia de *C. Filiformis* en Bahía Paracas deben ser estudiados a fin de valorar objetivamente su influencia (positiva o negativa) en este importante ecosistema marino, parte de la Reserva Nacional de Paracas considerado como sitio RAMSAR.

## **1.3 Formulación del Problema.**

### **1.3.1 Problema principal.**

¿Cuál es la cantidad la cantidad de carbono capturado por *Caulerpa Filiformis* en la Bahía de Paracas?

### **1.3.2 Problemas específicos.**

¿Cuál es el área que ocupa la *Caulerpa Filiformis* en la Bahía de Paracas?

¿Cuánta biomasa de *Caulerpa Filiformis* existe en la Bahía de Paracas?

## **1.4 Objetivo de la Investigación**

### **1.4.1 Objetivo general.**

Determinar la cantidad de carbono capturado por *Caulerpa Filiformis* en la Bahía de Paracas.

### 1.4.2 Objetivo específicos.

Estimar la distribución de la *Caulerpa Filiformis* en la Bahía de Paracas

Determinar la biomasa de *Caulerpa Filiformis* existe en la Bahía de Paracas

## 1.5 Hipótesis de la investigación.

### 1.5.1 Hipótesis general.

**H<sub>1</sub>:** Si es posible estimar la cantidad de carbono capturado por *Caulerpa Filiformis* en la Bahía de Paracas.

**H<sub>0</sub>:** No es posible estimar la cantidad de carbono capturado por *Caulerpa Filiformis* en la Bahía de Paracas.

### 1.5.2 Hipótesis específica.

**H<sub>2</sub>:** Si es posible estimar el área de distribución de la *Caulerpa Filiformis* en la Bahía de Paracas.

**H<sub>3</sub>:** Si es posible determinar la biomasa de la *Caulerpa Filiformis* en la Bahía de Paracas.

## 1.6 Variables e Indicadores

### 1.6.1 Variable Independiente

**X=** Distribución y biomasa de *Caulerpa Filiformis*.

#### A. Indicadores

**X<sub>1</sub>**= Distribución espacial de *Caulerpa Filiformis* en Bahía Paracas.

**X<sub>2</sub>**= Biomasa total de *Caulerpa Filiformis* en Bahía Paracas.

#### B. Índices.

Indicadores	Índices
<b>X<sub>1</sub></b> =Distribución espacial de <i>Caulerpa Filiformis</i> en Bahía Paracas.	Se determinará el área total que está siendo ocupada por las praderas de <i>C. Filiformis</i> en Bahía Paracas, expresada en hectáreas (ha).
<b>X<sub>2</sub></b> =Biomasa total de <i>Caulerpa Filiformis</i> en Bahía Paracas.	Se calculará la biomasa total de la macroalga verde <i>C. Filiformis</i> en las praderas de Bahía Paracas, expresada en toneladas (t).

### 1.6.2 Variable Dependiente

Y= Carbono capturado por *Caulerpa Filiformis*.

#### A. Indicadores

Y<sub>1</sub>= Periodo con presencia de *Caulerpa Filiformis* en Bahía Paracas.

Y<sub>2</sub>= Biomasa de carbono capturado por *Caulerpa Filiformis*.

#### B. Índices

Indicadores	Índices
Y <sub>1</sub> = Periodo con presencia de <i>Caulerpa Filiformis</i> en Bahía Paracas.	Se considerará el periodo de presencia de <i>C. filiformis</i> en bahía Paracas, comprendido entre 2016
Y <sub>2</sub> = Cantidad de carbono capturado por <i>Caulerpa Filiformis</i> .	Se estimará la Biomasa de carbono capturado por <i>C. Filiformis</i> mediante proceso fotosintético en las praderas de Bahía Paracas, en kg.

## 1.7 Viabilidad de la investigación.

### 1.7.1 Viabilidad técnica

El trabajo de investigación es técnicamente viable ya que dispone de los recursos necesarios para el desarrollo del proyecto.

### 1.7.2 Viabilidad operativa.

El investigador cuenta con el conocimiento necesario para el manejo de las diversas técnicas y herramientas para el desarrollo del trabajo de investigación; así como, con los estudios realizados por ERM, IMARPE y Universidades.

Se dispone de información que contribuirá con el análisis y procesamiento de la investigación; así como, libros, revistas, folletos, Internet y correo electrónico.



### **1.7.3 Viabilidad económica.**

En el aspecto económico el trabajo de investigación es viable, ya que el presupuesto formulado para realizar la presente Tesis será solventado con recursos propios del investigador.

## **1.8 Justificación e Importancia de la Investigación.**

### **1.8.1 Justificación**

El tema de investigación se justifica porque es necesario contar con información sobre la cantidad de carbono capturado por *C. Filiformis* en las praderas de Bahía Paracas, para conocer y valorar los servicios ambientales que está prestando este escenario.

### **1.8.2 Importancia.**

El desarrollo del presente estudio permitirá estimar la cantidad de carbono capturado por los procesos fotosintéticos de *C. Filiformis*, demostrando que la presencia de esta macroalga verde estaría contribuyendo con brindar un servicio ambiental, al constituirse como un mecanismo efectivo para mitigar el incremento del CO<sub>2</sub>, que contrastaría con los cambios en la estructura del ecosistema marino de la Bahía Paracas.

## **1.9 Limitaciones de la Investigación**

En la presente Tesis no existen limitaciones logísticas, de personal, financiera o de información que impidan el inicio, procesamiento, análisis y finalización según lo programado.

No existen inconvenientes en cuanto al acceso de la información y obtención de datos, ya que se cuenta con importantes estudios de investigación realizadas por instituciones nacionales (ERM, IMARPE, Universidades), relacionadas al tema planteado.

En cuanto a la disponibilidad de bibliografía relacionada a la materia en estudio, en la actualidad se cuenta con medios electrónicos, internet y buscadores especializados en la que se puede buscar información desde un computador.

## **1.10 Tipo y Nivel de la Investigación**

### **1.10.1 Tipo de investigación.**

De acuerdo al tipo de investigación resulta siendo de tipo “aplicada”, en razón, que se utilizaran conocimientos pre-existentes sobre el estudio de la captura de carbono por *Caulerpa Filiformis* (Suhr.) a fin de aplicar esta

información para estimar el porcentaje de carbono capturado por la pradera de algas marinas de la bahía de paracas.

#### **1.10.2 Nivel de investigación.**

La investigación inicia en el nivel explicativo, debido a que se describirá el proceso natural de captación de carbono por medio de la fotosíntesis del área del prado de algas de *C. Filiformis* en el escenario marino costero de la Bahía de Paracas luego, se continuará con el nivel correlacional, debido a que se estimará la cantidad de carbono capturado.

### **1.11 Método y Diseño de la investigación**

#### **1.11.1 Método de la investigación.**

Para el desarrollo del trabajo de investigación se ha utilizado el método científico por brindar un planteamiento ordenado que empieza desde diseñar, formular planes de investigación, Se utilizarán técnicas para la obtención de la información, herramientas como la estadística para el análisis de la información y su comprobación.

#### **1.11.2 Diseño de la investigación.**

Se trata de una investigación experimental por que proporciona al investigador la seguridad de que los resultados observados se deben a la variable experimental o independiente utilizada. Concretamente se trata de un diseño de prueba el cual se encargara de estimar la cantidad de carbono capturado mediante los factores de la distribución y biomasa de *Caulerpa Filiformis*.

### **1.12 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información**

La obtención de información disponible y la toma de datos en campo se realizará de acuerdo al cronograma establecido, con los cuales se generará una base de datos conteniendo principalmente el área de estudio.

#### **1.12.1 Técnicas.**

- A. Muestreo de playa
- B. Comparación de peso de las muestras de algas entre la captura de carbono
- C. calculo de la distribución de la pradera

**1.12.2 Instrumentos.**

- A. Mapas del área de distribución de las praderas de *C. Filiformis*.
- B. Equipo Posicionador Satelital Portátil, Sistema de Posicionamiento Global (GPS).
- C. Cámara fotográfica
- D. Ficha de registro en campo.
- E. Fichas de registro de información disponible.

**1.13 Cobertura de Estudio****1.13.1 Universo.**

Información de evaluación poblacional de *C. Filiformis* en praderas de la Bahía de Paracas.

**1.13.2 Muestra**

Información de distribución y biomasa de *C. Filiformis* de la Bahía de Paracas, sector Chaco.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes de la Investigación**

Luego de una exhaustiva búsqueda de Tesis, reportes, publicaciones científicas, libros u otros medios de difusión, no se ha encontrado estudios que aborden el tema planteado bajo el mismo enfoque; en consecuencia, se da testimonio de la autenticidad de esta investigación.

Sin embargo, se han encontrado Tesis relacionadas a la presente investigación, que se listan a continuación:

##### **Estudios internacionales**

**Edding M, Tala F, Vásquez J.** 2006. Fotosíntesis, productividad y algas marinas, Universidad de La Serena, Chile.39pp.

Según el análisis realizado a la tesis en referencia y comparándola con el tema de investigación, las diferencias se basan en la orientación de su estudio como la descripción del proceso natural de fotosíntesis como parte del ecosistema pero no describe su uso como un servicio eco sistémico lo cual le da un enfoque diferente a la Tesis planteada, que pretende estimar la captura de carbono como un servicio ecosistémico, proceso bioquímico que sucede sin afectar el ecosistema; por el contrario contribuye con mitigar los impactos del Calentamiento Global.

**José G,** 2010. Captura de CO<sub>2</sub> mediante algas unicelulares, Universidad politécnica de Madrid, España. 189 pp.

La información de esta tesis esta orientada a analizar el proceso de captación de carbono y otros medios, usando como herramienta el alga marina.

##### **Estudios nacionales**

**Quitoran, G.** 2010. Tesis. "Determinación del potencial de captura de carbono en cinco especies forestales de dos años de edad: cedro nativo (*Cederla odorata*), caoba (*Swietenia macrophylla*), bolaina (*Guazuma crinita*), teca (*Tectona*

grandis) y capirona (*Calycophyllum sprucearum*), en la localidad de alianza San Martín. Perú, Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto Perú, 113pp.

La tesis referida contiene cierta similitud con el presente trabajo de investigación, en el sentido que, ambas realizan la determinación del potencial de captura de carbono, sin embargo la diferencia radica en que nuestra investigación se enfoca en algas marinas y la tesis en arboles de la selva, ésta se enfoca en determinar el potencial de captación de carbono pero no la identifica en el tema de servicio ecosistémico, existen diferencias tanto en el enfoque y el alcance; por lo tanto, quedan acentuados los diferentes enfoques de las investigaciones.

**Natalia M, Renzo G, Christian V, Eduardo R.** 2014. Estimación de los contenidos de carbono de la biomasa aérea en los bosques de Perú, Perú, 68pp. Según el análisis realizado el estudio en referencia y comparándola con el tema de investigación, las diferencias se basan en la orientación del entorno donde estos se van a ejecutar ya que uno trata de algas y el otro de árboles.

### **Estudios locales**

**Cuadros, Maria H,** 2000. Valoración económica total de la biodiversidad en bahía independencia, reserva nacional de paracas, Perú, 158 pp.

La información de esta tesis está orientada a analizar la valoración económica de los recursos naturales a través de los beneficios que esto brindan por medio de sus procesos como parte del ecosistema y uno de ellos es la captación de carbono.

## **2.2 Marco Histórico.**

### **2.2.1. Evolución histórica de la captación de carbono como servicio ecosistémico.**

El Protocolo de Kioto sobre el cambio climático es un protocolo de la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), y es un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), gas metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), y los otros tres son gases industriales fluorados: hidrofluorocarburos (HFC), hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) y perfluorocarbonos (PFC), en un porcentaje aproximado de al menos un 5%, dentro del periodo que va de 2008 a 2012, en comparación a las emisiones a 1990.

Por ejemplo, si las emisiones de estos gases en 1990 alcanzaban el 100%, para 2012 deberán de haberse reducido como mínimo al 95%. Esto no significa que cada país deba reducir sus emisiones de gases regulados en un 5% como mínimo, sino que este es un porcentaje a escala global y, por el contrario, cada país obligado por Kioto tiene sus propios porcentajes de emisión que debe disminuir la contaminación global.

El protocolo fue inicialmente adoptado el 11 de diciembre de 1997 en Kioto, Japón, pero no entró en vigor hasta el 16 de febrero de 2005.

En noviembre de 2009, eran 187 estados los que ratificaron el protocolo, un aspecto muy polémico del tratado de Kyoto es la aceptación de que se aumente la cuota permisible de emisión a los países que lleven a cabo una política de reforestación, calculando la cantidad de CO<sub>2</sub> absorbido por los nuevos bosques que actúan como sumideros (un cálculo nada simple, pues depende de muchos factores) (Schulze, 2000).

Todavía más difícil de calcular es la absorción de CO<sub>2</sub> producida por otros posibles cambios en los usos del suelo. Una posible contradicción de llevar a cabo una política de reforestación es que debería también tenerse en cuenta que un paisaje con más bosques es un paisaje con menos albedo, es decir, menos reflectante por lo tanto la disminución de albedo, que con los nuevos bosques se produciría en las latitudes altas y que incrementaría la temperatura de la superficie, es posible que contrarrestara el efecto de enfriamiento que ocasionaría la mayor absorción de CO<sub>2</sub> (Betts, 2000; Claussen, 2001).

El reconocimiento de cómo los ecosistemas pueden proporcionar servicios complejos a los seres humanos data de Platón (c. 400 a. C.), quien entendió que la deforestación podría conducir a la erosión de la tierra y el secado de manantiales.

Sin embargo, las ideas modernas de los servicios del ecosistema probablemente comenzaron con Marsh en 1864, cuando desafió la idea de que los recursos naturales de la Tierra son ilimitados, señalando los cambios en la fertilidad del suelo en el Mediterráneo; sin embargo, sus observaciones y precauciones pasaron desapercibidas en su momento y no fue hasta la década de 1940 que el asunto nuevamente llamó la atención.

Durante esta época, los tres autores principales —Osborn, Vogt, y Leopold— despertaron y promovieron el reconocimiento de la dependencia humana del medio ambiente, con la noción del «capital

natural». en 1956, llamó la atención sobre el papel fundamental de los ecosistemas en el procesamiento de los desechos y el reciclado de los nutrientes.

Un libro sobre las ciencias del medio ambiente llamó la atención sobre «la amenaza más sutil y peligrosa para la existencia del hombre... la destrucción potencial, por las propias actividades del hombre, de los sistemas ecológicos de los que depende la especie humana».

El término «servicios ambientales» fue eventualmente introducido en un informe sobre el estudio de problemas ambientales críticos, que mencionó servicios como la polinización por insectos, la pesca, la regulación del clima, y el control de inundaciones. en los años siguientes, se utilizaron algunas variaciones del término, pero con el tiempo «servicios del ecosistema» se convirtió en el estándar en la literatura científica.

Ampliaciones modernas del concepto de servicios del ecosistema incluyen objetivos socioeconómicos y conservacionistas que se analizaran a continuación.

El concepto sistema de soporte de vida viene de la industria espacial y se define como todos aquellos equipos, rutinas, mecanismos y procesos, que mantienen el medio ambiente de una nave en condiciones que permitan conservar la vida de sus tripulantes utilizando la analogía del planeta Tierra como una nave espacial, el sistema de soporte de vida de la Tierra está armado precisamente por todos aquellos procesos que se dan en los ecosistemas naturales y que conocemos como servicios ambientales (Odum, 1983).

Estos servicios que da el ecosistema son muy variados e incluyen procesos como el mantenimiento de una mezcla benigna de gases en la atmósfera, la moderación del clima, la regulación del ciclo hidrológico, la generación y preservación de suelo fértil, el reciclaje de materiales, el control de plagas y enfermedades, la polinización de cultivos, el suministro de recursos naturales y el mantenimiento de la biodiversidad (Daily et al., 1997).

Es importante recalcar que los servicios ecosistémicos son importantes, entre otros aspectos, porque operan a gran escala; la tecnología no los puede reemplazar; se deterioran como resultado de la acción humana y de manera global; requieren de un gran número de especies para operar y, además, los servicios que se pierden por el daño de los ecosistemas

son más valiosos que las ganancias que se obtienen mediante las actividades que los alteran (Daily et al. 1997)

### **2.2.2. El papel de los océanos saludables en la fijación de carbono.**

De todo el carbono verde capturado anualmente en el mundo, es decir el carbono capturado por fotosíntesis, más de la mitad (el 55%) es capturado por organismos marinos vivos (Falkowski y otros, 2004; Arrigo, 2005; González y otros, 2008; Bowler, 2009; Simon y otros, 2009).

Este ciclo oceánico del carbono está dominado por el micro, el nano y el picoplancton, incluidas las bacterias y arqueobacterias (Burkill, 2002). Aunque la biomasa vegetal de los océanos es apenas una parte ínfima de la terrestre, solo el 0,05%, procesa la misma cantidad de carbono por año (Bouillon y otros, 2008; Houghton, 2007); por consiguiente, en conjunto constituyen sumideros de carbono sumamente eficientes no obstante, aunque se están redoblando los esfuerzos por frenar la degradación en la tierra, por ejemplo mediante la protección de los bosques pluviales como forma de mitigar el cambio climático, hasta la fecha se ha pasado por alto el papel de los ecosistemas marinos.

El conocimiento del papel de los ecosistemas naturales en la captura de CO<sub>2</sub> es un componente cada vez más importante de la elaboración de estrategias para mitigar el cambio climático. Las pérdidas y la degradación de los ecosistemas naturales representan al menos del 20% al 30% de nuestras emisiones totales (PNUMA, 2008a; 2009).

Aunque es necesario reducir significativamente las emisiones totales provenientes de la quema de combustibles fósiles, la mitigación del cambio climático también puede lograrse mediante la protección y el restablecimiento de los ecosistemas naturales (Trumper y otros, 2009). Aun desde la perspectiva limitada de únicamente reducir las emisiones, estos ecosistemas pueden desempeñar un papel importante.

En razón de que una gran disminución de las emisiones de combustibles fósiles podría comprometer el potencial de desarrollo de algunos países, es indispensable que se determinen las opciones que pueden contribuir a mitigar el cambio climático con efectos neutros o incluso positivos para el desarrollo por lo tanto, es absolutamente decisivo determinar qué ecosistemas naturales contribuyen en mayor medida a fijar nuestras crecientes emisiones de carbono o CO<sub>2</sub> e intensificar su capacidad natural (Trumper y otros, 2009). Algunos de esos ecosistemas están en los océanos.



Aproximadamente el 93% del dióxido de carbono del mundo, 40Tt CO<sub>2</sub>, está almacenado en los océanos además, los océanos procesan unas 90 Gt CO<sub>2</sub> año<sup>-1</sup> (González y otros, 2008), y remueven más del 30% del carbono liberado en la atmósfera.

Los ecosistemas acuáticos resistentes no solo desempeñan un papel decisivo en la fijación del carbono, también son importantes para el desarrollo económico, la seguridad alimentaria y el bienestar social, y amortiguan la contaminación y los fenómenos meteorológicos extremos. Las zonas costeras son particularmente importantes, especial y obviamente en relación con la pesca, la acuicultura, los medios de subsistencia y los asentamientos (Kay y Alder, 2005), pues más del 60% de la población del mundo vive en zonas costeras (PNUMA, 2006, 2008b). para muchos países costeros en desarrollo, estas zonas no solo son esenciales para el bienestar de su población, sino que también, como se documenta en este informe, pueden suministrar un recurso mundial sumamente valioso para la mitigación del cambio climático, si se les presta el apoyo suficiente.

Este informe examina el potencial para la mitigación de los efectos del cambio climático de una mejor gestión y protección de los ecosistemas marinos, en particular el hábitat costero con cubierta vegetal, es decir, los sumideros de carbono azul.

### **Emisiones y secuestro: la fijación del carbono**

El cambio climático antropógeno está causado por el aumento del contenido de gases de efecto invernadero y partículas en la atmósfera. Primero, por la quema de combustibles fósiles, que liberan gases como el CO<sub>2</sub>, (“carbono marrón”) y partículas de polvo (que son parte del “carbono negro”); segundo, por las emisiones provenientes de la corta de vegetación natural, los incendios forestales y las emisiones agrícolas, incluido el ganado; y tercero, por la capacidad reducida de los ecosistemas naturales de fijar carbono mediante fotosíntesis y almacenarlo, el llamado carbono verde (Trumper y otros, 2009).

La absorción de CO<sub>2</sub> y su depósito durante períodos prolongados (varios decenios o siglos), tanto natural como artificial, se denomina secuestro de carbono (Trumper y otros, 2009).

### **Carbono azul: el papel de los océanos como sumideros de carbono**

Los hábitats costeros con cubierta vegetal –manglares, marismas y zosteras marinas – tienen mucho en común con los bosques pluviales: son zonas críticas para la diversidad biológica, suministran funciones de ecosistemas importantes y valiosas, incluida una gran capacidad de absorción de carbono, y están sufriendo grandes pérdidas a nivel global (Duarte y otros, 2008, Duarte, 2009). Lo cierto es que el mundo está perdiendo sus hábitats costeros cuatro veces más rápidamente que sus bosques pluviales (Duarte y otros, 2008, Duarte, 2009) y el ritmo de pérdida se está acelerando (Waycott y otros, 2009).

No obstante, aunque la sociedad está bien informada acerca de los beneficios y las amenazas en relación con los bosques pluviales, está relativamente poco sensibilizada acerca del estado y los beneficios de los hábitats costeros con cubierta vegetal tal vez esto se deba a la falta de “carisma” de estos hábitats que, sumergidos y fuera de la vista, no atraen tanto al público como sus contrapartes terrestres (Duarte y otros, 2008). Sin embargo, en vista de sus funciones y amenazas semejantes, estos hábitats costeros constituyen verdaderos sumideros de carbono azul.

### **Sumideros de carbono azul**

Una función decisiva de los hábitats costeros con cubierta vegetal es su papel de sumideros de carbono aprovechando las excelentes condiciones que tienen para el crecimiento de plantas, estos hábitats figuran entre los más productivos del mundo, pues son comparables a la mayoría de los cultivos agrícolas de mayor producción (cuadro 1, Duarte y Chiscano, 1999) una gran parte de su producción se usa para respaldar las funciones de los ecosistemas (Duarte y Cebrián, 1996).

No obstante, los sumideros de carbono azul son fuertemente autotróficos, lo que significa que estos ecosistemas fijan más CO<sub>2</sub> como materia orgánica por fotosíntesis que el CO<sub>2</sub> que respira la biota (Duarte y Cebrián, 1996; Gattuso y otros, 1998; Duarte y otros, 2005a), removiendo así CO<sub>2</sub> de la atmósfera parte de este exceso de carbono se exporta y subsidia ecosistemas circundantes, incluidos ecosistemas de mar abierto y de playa (Duarte y Cebrián, 1996; Heck y otros, 2008; Bouillon y otros, 2008) el resto del excedente de la producción de los manglares, las marismas y las zosteras marinas se almacena en los sedimentos, donde puede permanecer durante períodos medidos en milenios (Mateo y otros, 1997), constituyéndose así en un importante sumidero natural de carbono

esto es especialmente evidente en el caso de las zosteras marinas, que acumulan material suficiente para elevar el nivel del fondo marino, formando matas de más de tres metros de profundidad.

Distribución de los sumideros de carbono azul – comunidades de zosteras marinas, manglares y marismas (Fuente: WCMC del PNUMA).

Además de almacenar una parte de su propia producción, los sumideros de carbono azul reducen la corriente, alteran la turbulencia y atenúan la acción de las olas (Koch y otros, 2006), promoviendo así la sedimentación y reduciendo la resuspensión de los sedimentos (por ejemplo, Gacia y Duarte, 2001). algunas investigaciones recientes han mostrado que las cubiertas de copas de las zosteras marinas atrapan partículas arrastradas por la corriente, que pierden impulso al chocar contra las hojas, promoviendo así la sedimentación del material en suspensión en el fondo marino (Hendriks y otros, 2007) los análisis isotópicos del carbono orgánico acumulado en sedimentos de hábitats costeros con cubierta vegetal han mostrado que una parte importante proviene del plancton (Gacia y otros, 2002).

En la plataforma continental y los estuarios también son significativas las fuentes terrestres de carbono (Bouillon y otros, 2008), incrementando la capacidad de fijar carbono de estos sumideros de carbono azul.

Una consecuencia de la capacidad de los hábitats costeros con cubierta vegetal de acumular materiales en el fondo marino es que pueden actuar como sumideros de carbono eficientes, que a nivel mundial fijan de 120 a 329 Tg C año<sup>-1</sup>, lo cual representa al menos la mitad de la estimación más baja de la captura mundial de carbono en sedimentos marinos (cuadro 1) por lo tanto, los sumideros de carbono azul desempeñan un papel fundamental en el ciclo del carbono en el océano (Duarte y otros, 2005a) la capacidad de almacenamiento de carbono de los hábitats marinos con cubierta vegetal es enorme, 180 veces mayor que la que hay en alta mar el almacenamiento de carbono en el océano representa apenas algo más del 10% de la capacidad oceánica de captar carbono (hasta el 25% si se utilizan las estimaciones máximas, cuadro 1, véase más abajo) que, basada en observaciones y modelos inversos, se estima en 2.000 Tg C año<sup>-1</sup> (Sarmiento y Gruber, 2002) no obstante, estas 2.000 Tg C año<sup>-1</sup> constituyen el carbono que se transfiere anualmente de la atmósfera a los océanos, en los que se almacena mayormente como carbono inorgánico disuelto la residencia de largo plazo del CO<sub>2</sub> antropógeno en los océanos es incierta, ya que este carbono no penetra

a una profundidad suficiente para permanecer en el océano durante períodos largos lo cierto es que la mitad del carbono antropógeno almacenado en las aguas marinas está contenido en los 400 metros superiores, de donde puede pasar nuevamente a la atmósfera en pocos decenios, y la cantidad que hay en aguas más profundas, en donde puede permanecer por períodos mucho más prolongados, es inferior a los umbrales de detección (Sabine y otros, 2004). solo una cantidad ínfima del carbono absorbido por los océanos se mantiene en los sedimentos de alta mar, en que se almacena eficazmente durante períodos prolongados, unas 6 Tg C año<sup>-1</sup>, con una tasa de carbono por unidad de superficie del fondo marino 180 veces menor que la de los sedimentos de los sumideros de carbono azul además, es preocupante el hecho de que la capacidad de la columna de agua de los océanos de servir de sumidero para el carbono atmosférico se debilite con el correr del tiempo y hay pruebas de que este proceso ya ha comenzado (Doney y otros, 2009). Por consiguiente, solo el carbón secuestrado en los sedimentos marinos, como en el caso de los sumideros de carbono azul, puede considerarse con seguridad almacenamiento marino de carbono a largo plazo. Los sumideros de carbono azul, que cubren menos del 0,2% del fondo marino, contribuyen aproximadamente el 50% (el 71% si se utilizan las estimaciones máximas, véase el cuadro 1) del carbono orgánico total almacenado en los sedimentos oceánicos, y por lo tanto figuran entre los sumideros de carbono de la biosfera más intensos (Duarte y otros, 2005a). Sin embargo, no se han incluido los hábitats costeros con cubierta vegetal en las descripciones del ciclo global del carbono ni en las existencias mundiales de sumideros naturales de carbono.

### **Gestión de los sumideros de carbono azul y su restablecimiento**

Los sumideros de carbono azul son zonas críticas para el almacenamiento de carbono en el océano, en el que desempeñan un papel importante a nivel mundial que debe incorporarse en los inventarios actuales de sumideros naturales de carbono desde la década de 1940 ya podría haberse perdido aproximadamente la mitad de su capacidad de almacenamiento, mayormente debido a la pérdida de estos hábitats costeros con cubierta vegetal. las iniciativas para recuperar la capacidad de los sumideros de carbono azul deben incorporarse en las estrategias en curso para mitigar el cambio climático, impulsando así los esfuerzos de restablecimiento la recuperación de los sumideros de carbono azul

ayudará a los países a mitigar sus emisiones de carbono, al tiempo que rehabilitan valiosos servicios de ecosistemas y recursos naturales esenciales la gestión integrada de las costas será un elemento central de este proceso para asegurar tanto la capacidad de fijar carbono como los bienes y servicios destinados a la seguridad alimentaria, los medios de subsistencia costeros y el desarrollo costero sostenible.

Hay pruebas suficientes de que revertir la degradación mundial de los hábitats costeros con cubierta vegetal y recuperar las superficies perdidas de sumideros de carbono azul mejoraría sustancialmente las condiciones ecológicas del medio ambiente costero mundial. esto se traduciría en la recuperación de servicios importantes, como su capacidad de oxigenar las aguas costeras, servir de viveros, contribuir a restablecer las poblaciones de peces o proteger la costa de las tormentas y los fenómenos meteorológicos extremos (Hemminga y Duarte 2000; Danielsen y otros, 2005) al mismo tiempo, al detener la pérdida y la degradación, reconstruiríamos un importante sumidero de carbono natural, contribuyendo así a mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub> y, por lo tanto, el cambio climático.

Habida cuenta de que los sumideros de carbono azul se encuentran en las costas de todos los continentes, con excepción de la Antártida, los estados de regiones que tienen zonas costeras poco profundas (por ejemplo, la India, Asia sudoriental, el Mar Negro, África occidental, el Caribe, el Mediterráneo, el este de los Estados Unidos, Rusia) podrían estudiar la posibilidad de mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub> y mejorar sus recursos costeros mediante la protección y el restablecimiento de sus sumideros de carbono azul ampliar estos sumideros es, por lo tanto, una estrategia en que todos se benefician (semejante a las estrategias utilizadas para proteger y reconstruir la capacidad de almacenamiento de carbono de los bosques pluviales) que contribuye a abordar los compromisos asumidos por los Estados en virtud del Convenio sobre la diversidad Biológica y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático por ejemplo, se ha estimado que mediante el plan de acción nacional de conservación de los humedales de China en curso será posible aumentar el secuestro de carbono en 6,57 Gg C año<sup>-1</sup> (Xiaonana y otros, 2008). Andrews y otros (2008) calcularon que el efecto neto de devolver unos 26 km<sup>2</sup> de tierras recuperadas en el Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte a zonas entre mareas podría llevar al secuestro de unas 800 t C año<sup>-1</sup>.

El primer paso es la protección de estos importantes hábitats de almacenamiento de carbono azul, lo que ya se está haciendo en muchos países (entre otros, los miembros de la Unión Europea y los Estados Unidos) ello incluye la reglamentación de las actividades que causan su degradación a nivel mundial, incluidos la tierra ganada al mar, la deforestación de los manglares, el uso excesivo de fertilizantes en los cultivos terrestres, las prácticas de pesca no sostenibles y el ingreso de desechos orgánicos urbanos, la sedimentación ocasionada por la deforestación terrestre y la fijación de las costas mediante el desarrollo urbano (Duarte, 2002; 2009) se dispone de mejores prácticas para la gestión de los sumideros de carbono azul a fin de ayudar a mantener la salud de estos ecosistemas, al tiempo que se conservan sus funciones (por ejemplo, Borum y otros, 2004; Hamilton y Snedaker 1984; Melana y otros, 2000).

El segundo paso debería ser el restablecimiento en gran escala de la superficie perdida, que probablemente sea de la misma magnitud (si no mayor) que la superficie que aún está cubierta por estos hábitats acuáticos (Duarte 2009; Waycott y otros, 2009). por ejemplo, algunos países de Asia sudoriental han perdido casi el 90% de sus manglares desde la década de 1940 (Valiela y otros, 2001). se han ejecutado proyectos de rehabilitación de manglares en gran escala. La mayor iniciativa probablemente sea la forestación del bosque del delta del Mekong en Viet Nam, destruido completamente por la utilización del agente naranja en la década de 1970 y replantado por el pueblo vietnamita (Arnaud-Haond y otros, en imprenta) también es posible restablecer las marismas, lo que se ha hecho mayormente en Europa y los Estados Unidos (por ejemplo, Boorman y Hazelden 1995).

El restablecimiento de las zosteras marinas es más complejo, pues la labor necesaria para insertar trasplantes bajo el agua aumenta los costos. Por consiguiente, la rehabilitación de zosteras marinas ha sido relativamente escasa en superficie (unas pocas hectáreas) y en número de proyectos no obstante, es una opción viable siempre que los beneficios del restablecimiento de las zosteras se utilicen estratégicamente, por ejemplo para catalizar su gran potencial de recuperación natural por tratarse de un proceso lento si no se lo estimula (Duarte y otros, 2005b), debe respaldárselo con medidas simultáneas destinadas a reducir las tensiones que causan la pérdida en primer lugar.

Estas iniciativas suministrarían las primeras fuentes de crecimiento que posteriormente se beneficiarían de la capacidad exponencial de expansión de las zosteras por medio del crecimiento de los rizomas en el fondo marino en tanto que los bosques verdes solo pueden crecer hacia arriba, las zosteras marinas pueden crecer horizontalmente a un ritmo exponencial.

La capacidad de secuestro de los distintos ecosistemas marinos varía sustancialmente no todos los sumideros de carbono azul son igualmente eficaces; las marismas tienen la mayor tasa de almacenamiento de carbono por unidad de superficie, seguidas de los manglares y las zosteras marinas. según los conocimientos de que se dispone actualmente, entre los factores que impulsan la capacidad de los ecosistemas de fijar carbono azul figuran la biomasa y la producción elevadas, en que las plantas producen un gran excedente de carbono orgánico (Duarte y Cebrián, 1996), y su ubicación en zonas en que pueden interceptar el material de fuentes terrestres, que se agregaría al excedente propio traduciéndose en tasas de almacenamiento mayores (Bouillon y otros, 2008) las iniciativas de restablecimiento deben centrarse en la recuperación de los sumideros de carbono que tienen una gran capacidad de secuestro, teniendo en cuenta estos factores de impulso y catalizando la capacidad de estos ecosistemas de actuar como sumideros de carbono eficientes nuevas investigaciones sobre las condiciones que estimulan una elevada capacidad de almacenamiento de los hábitats costeros con cubierta vegetal pueden contribuir a orientar proyectos de rehabilitación satisfactorios.

La mayoría de las iniciativas destinadas a restablecer los sumideros de carbono azul han sido impulsadas por la necesidad de proteger los hábitats con cubierta vegetal y su valor como hábitats para especies fundamentales (Boorman y Hazelden, 1995; Fonseca y otros, 2000; Danielsen y otros, 2005) ha llegado el momento de tener en cuenta también su papel beneficioso como sumideros de carbón e incluirlos en las evaluaciones económicas de las ventajas de rehabilitar los sumideros de carbono azul.

El Carbono azul en el ciclo global del carbono las tasas anuales de secuestro de carbono para estos tres ecosistemas son bien diferentes, y varían según las condiciones cales la media global para las praderas oceánicas se sitúa alrededor una amenaza mayor, siendo necesarias Series CO<sub>2</sub>.

Los océanos y sus organismos desarrollan tres importantes acciones en lo que se refiere al ciclo global del carbono en primer lugar, la conocida como la bomba de solubilidad, mecanismo que incorpora el carbono desde la atmósfera al océano a una mayor temperatura del océano, esta bomba pierde capacidad de disolución de los gases, pudiendo incluso constituir una fuente de emisión a la atmósfera.

En segundo lugar, la bomba biológica, que son las algas planctónicas y bacterias de la superficie que crean carbohidratos en la fotosíntesis a partir del carbono disuelto parte de este carbono se hunde hacia las profundidades oceánicas, quedando fuera de circulación.

Por último, la bomba física (circulación termohalina) conecta los océanos como si fuera una cinta transportadora cargada de nutrientes, gobernada por las diferencias de densidad del agua gracias a este fenómeno, las aguas superficiales cálidas del hemisferio sur son trasladadas hacia el Polo Norte, donde se hunden y enfrían en el océano profundo, descargan sedimentos y fluyen de regreso hacia el hemisferio sur el CO<sub>2</sub> queda atrapado en las capas frías y profundas del océano y, de esta manera, se reduce su efecto sobre el clima mundial.

Aún es desconocida la capacidad de almacenar CO<sub>2</sub> del mar abierto, no se conoce cuánto tiempo puede ser retenido, quedando la mayor parte atrapada en los primeros 400 metros al no sumergirse en profundidad, puede retornar a la atmósfera a corto plazo. Por ello, se considera que sólo una pequeña parte del carbono capturado por los océanos en alta mar queda retenido a largo plazo.

Sin embargo, ecosistemas costeros como manglares, marismas de marea o praderas oceánicas han demostrado ser capaces de almacenar grandes cantidades de carbono y por amplios periodos de tiempo, de hasta milenios a pesar de su escasa extensión relativa, constituyen uno de los sumideros de carbono más eficientes de la biosfera, enterrando CO<sub>2</sub> en los sedimentos de los océanos.

El carbono atrapado por los ecosistemas costeros, debido a su actividad fotosintética, queda almacenado por dos vías diferentes. por un lado, el carbono es utilizado por los organismos fotosintéticos en su metabolismo para fabricar sus estructuras corporales y en su crecimiento, constituyendo la biomasa viva por otro, el carbono en forma de partículas queda atrapado en el suelo la biomasa viva, con el tiempo, constituirá biomasa muerta que también quedará atrapada en el sustrato por ello, la cantidad de carbono atrapada en los sedimentos puede incrementarse



notablemente con el tiempo y, en el caso de la posidonia oceánica, puede incluso hacer ascender el nivel del suelo hasta tres metros o más tras milenios de acumulación.

La media global de la tasa de secuestro de carbono para las praderas oceánicas se sitúa en alrededor de 4,4 tCO<sub>2</sub>/ha/año, para marismas de marea en 8 tCO<sub>2</sub>/ha/año, y para manglares en 6,3 tCO<sub>2</sub>/ha/año (Green payments for Blue Carbón, Nicholas Institute Report, 2011).

Las tasas anuales de secuestro de carbono para estos tres ecosistemas son bien diferentes y varían según las condiciones locales.

Estas tasas de secuestro anual de carbono son de dos a cuatro veces superiores a las de los bosques tropicales maduros (Lewis y cols. 2009) y se encuentran bajo una amenaza mayor, siendo necesarias medidas de gestión y conservación que aseguren y mejoren su capacidad como sumideros.

La protección, la mejor gestión y el restablecimiento de los sumideros de carbono azul del océano evitaría la pérdida de hasta 450 Tg de carbono al año, lo que supone una reducción del 10% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub> estimadas para 2050, según el IPCC.

Hasta cinco agencias de Naciones Unidas han alertado de que el 60% de los principales ecosistemas marinos ha sido degradado o está siendo utilizado de manera no sostenible.

En la actualidad, casi el 20% del área cubierta por manglares ha desaparecido desde 1980, al igual que el 29% del área total cubierta por zosteras marinas, y una tasa similar ha sido estimada para las marismas de marea pero no sólo su área se ve reducida, sino que la acidificación de los océanos reduce la capacidad en las zonas supervivientes de capturar CO<sub>2</sub>, especialmente en los ecosistemas de praderas oceánicas.

### **2.2.3. Marco nacional de gestión del cambio climático Peruano.**

A partir de que el Perú ratifica la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático en 1993, se ha iniciado la construcción del marco institucional y legal<sup>1</sup> para la gestión del cambio climático en el país, es así que, en el año 1993 se crea la Comisión Nacional sobre los cambios Climáticos, la cual inicialmente fue presidida por el Ministerio de Relaciones Exteriores, posteriormente por el entonces Consejo Nacional del Ambiente (CONAM), y partir de 2008, por el Ministerio del Ambiente (MINAM), creado en dicho año en el 2009 el MINAM propuso y obtuvo la modificación de la citada comisión, actualizando su conformación y

alcances, con el nombre de “Comisión Nacional sobre el Cambio Climático”. La década de los 90 y los años previos a la creación del MINAM constituyeron una necesaria fase inicial de impulso a la institucionalidad ambiental en el país, que permitió, posteriormente, fortalecer la gobernanza de cambio climático, y la formulación de políticas, normas y medidas enfocadas de modo explícito en la gestión del cambio climático.

Si bien existen a la fecha diversos instrumentos de política pública que constituyen el marco para la planificación y gestión ambiental, en esta sección se presentan los de mayor relevancia para el caso específico de la gestión del cambio climático en el Perú: El Acuerdo Nacional, el Plan Estratégico de Desarrollo Nacional al 2021, el Marco Macroeconómico Multianual, la Política Nacional del Ambiente, el Plan Nacional de Acción Ambiental 2010-2021, la Comisión Nacional sobre Cambio Climático, la Estrategia Nacional ante el Cambio Climático y las Estrategias Regionales del Cambio Climático

El Acuerdo Nacional establece en sus políticas numeradas 10 y 19 los compromisos del estado en materia de reducción de la pobreza, desarrollo sostenible y gestión ambiental mientras que el Plan Estratégico de Desarrollo Nacional al 2021 es el primer plan estratégico de desarrollo nacional que reafirma la necesidad de considerar el cambio climático como una variable importante en todos los instrumentos de planificación del desarrollo y de gestión en los diferentes niveles de gobierno. de la misma manera, el Marco Macroeconómico Multianual incluye la variable climática como condicionante del desarrollo económico y, por tanto, incluye la variable climática como condicionante del desarrollo económico y, por tanto, incluye la variable climática como condicionante del desarrollo económico y, por tanto, debe ser considerado en las proyecciones macroeconómicas del país (MEF, 2015). la Política Nacional del Ambiente, aprobada en 2009, fue el primer instrumento de planificación general en materia ambiental establecido por el MINAM que señala lineamientos de política con el objetivo de asegurar la viabilidad ambiental de las actividades productivas y mejorar la calidad de vida de las personas, garantizando la existencia de ecosistemas saludables, viables y funcionales en el largo plazo, relevando la prevención, protección y recuperación del ambiente y sus componentes, así como el rol importante de la participación ciudadana y de las organizaciones públicas y privadas entre los lineamientos presentados

está incentivar la implementación de medidas de adaptación a los efectos e impactos del cambio climático, y de gestión de GEI, promoviendo el uso de tecnologías y el desarrollo de proyectos forestales.

El Plan Nacional de Acción Ambiental 2011-20216 (PLANAA) es un instrumento estratégico de gestión pública en materia ambiental, que se basa en la política nacional, cuya finalidad es lograr el uso sostenible, responsable, racional y ético de los recursos naturales y contribuir de esa manera al desarrollo integral, social, económico y cultural del ser humano, en armonía con su entorno. El PLANAA, a diferencia de la Política Nacional, señala metas prioritarias hasta 2021 e hitos quinquenales para monitorear su cumplimiento.

A los instrumentos de planificación antes descritos se suman otros de orientación y promoción de la gestión del cambio climático, entre los cuales se encuentra la Estrategia Nacional ante el Cambio Climático (ENCC) aprobada en su primera versión en 2003 y actualizada en setiembre de 2015, luego de un proceso iniciado en 2010 bajo el liderazgo de la Comisión Nacional sobre Cambio Climático (CNCC) y los grupos técnicos ad hoc.

La Estrategia Nacional ante el Cambio Climático, aprobada a través del D. S. 011-2015-MINAM, constituye el principal instrumento que orienta la gestión de cambio climático en el Perú y establece el compromiso del Estado peruano de “...actuar frente al cambio climático de forma integrada, transversal y multisectorial, cumpliendo con los compromisos Internacionales asumidos por el Perú ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)” (MINAM, 2015a) la estrategia plantea una visión al 2021 para lograr que el Perú se adapte a los efectos adversos y aprovecha las oportunidades que impone el cambio climático, sentando las bases para un desarrollo sostenible bajo en carbono.

A partir de esta visión se desprenden los dos objetivos estratégicos (MINAM, 2015a):

- La población, los agentes económicos y el estado incrementan conciencia y capacidad adaptativa para la acción frente a los efectos adversos y oportunidades inherentes al cambio climático.
- La población, los agentes económicos y el estado conservan las reservas de carbono y contribuyen a la reducción de las emisiones de GEI.

Como se infiere de estos dos objetivos, la ENCC brinda lineamientos orientadores necesarios para que no solo las instituciones públicas, sino también los agentes económicos y la ciudadanía en general, diseñen e implementen acciones tendientes a un desarrollo bajo en carbono y resiliente al clima.

Los objetivos de la ENCC vienen acompañados, además, por cuatro medios de implementación: fortalecimiento institucional y gobernanza, educación y capacitación de actores, investigación en cambio climático y desarrollo tecnológico, y financiamiento.

Incorporar el cambio climático en el proceso de planificación de desarrollo nacional y subnacional implica un cambio transformacional que requiere recursos y capacidades nacionales e internacionales, tanto públicos como privados por consiguiente, es indispensable contar con una institucionalidad sólida que pueda ser contraparte de los mecanismos financieros creados para este mismo fin desde las instancias multilaterales, los convenios bilaterales y los mecanismos específicos para el cambio climático, como se prevé en la concepción de la ENCC.

Para dar continuidad y legitimidad a los esfuerzos que se desarrollan en el marco de la ENCC y asegurar compromisos de largo plazo, se debe contar con un marco obligatorio, al nivel de una ley marco ante el cambio climático para preparar esta ley el Congreso de la República con apoyo internacional formó un grupo de 40 congresistas que, a través de diversas comisiones, promovieron propuestas normativas sobre cambio climático que fueron consolidadas por la Comisión de Pueblos Andinos, Amazónicos, Afroperuanos, Ambiente y Ecología (CPAAAAE), en calidad de comisión principal este esfuerzo permitió que el Congreso de la República aprobara el dictamen que propone la Ley Marco de Cambio Climático.

El proceso para definir y aprobar la ley aún sigue activo en las sesiones de legislatura del Congreso de la República.

La creación, mediante D. S. 013-2014-MINAM, del mecanismo y plataforma de coordinación denominado infocarbono, establece un hito importante para la gestión de GEI en el país, ya que por primera vez se establece un marco normativo e institucional para la elaboración de inventarios nacionales de GEI el infocarbono se establece como un conjunto de acciones orientadas a la recopilación, evaluación y sistematización de información referida a la emisión y remoción de GEI. Con esto, se asigna la responsabilidad de los sectores de gobierno

competentes para recopilar información relevante y realizar reportes periódicos sobre GEI de las actividades de su competencia el MINAM es la entidad que administra y conduce el infocarbono, la cual recibirá y revisará los reportes de los inventarios sectoriales de GEI para elaborar el inventario nacional.

Se desarrolla a mayor profundidad este mecanismo otra iniciativa que da sus primeros pasos de diseño y preparación es la iniciativa gestión Integrada del Cambio Climático (GestiónClima), que busca contribuir al proceso de planificación y de acción ante el cambio climático, además de identificar condiciones y proponer soluciones y mecanismos que coadyuden a la implementación de la ENCC y el logro de sus metas.

Un importante avance en la gestión de riesgos de desastres (GRD) en el país, que incluye la previsión y resiliencia frente a los riesgos climáticos, es el Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres (SINAGERD) creado en 2011. este sistema incorpora a la Presidencia del Consejo de Ministros, el Centro Nacional de Prevención de Riesgo de Desastres (CENEPRED), el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), los gobiernos regionales y locales, el Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN) y otras entidades públicas como las Fuerzas Armadas y la Policía Nacional del Perú (CENEPRED, 2013).

En el marco del SINAGERD, en 2012 se estableció el obligatorio cumplimiento de la Política Nacional de Gestión de Riesgos de Desastres y en 2014 se aprobó el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de desastres 2014 - 2021 (PLANAGERD)<sup>8</sup>, ambos son importantes instrumentos de planificación y gestión.

#### **2.2.4. Avances en la adaptación al cambio climático y el Estado de la vulnerabilidad en el Perú.**

El Perú es Parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)<sup>1</sup> desde 1993; y en tal condición comparte el objetivo de la Convención de “estabilizar la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera y evitar llegar a un nivel de interferencia antropogénica peligrosa” en este contexto nuestro país ratificó también el Protocolo de Kioto en 2002, y remitió oportunamente su ofrecimiento para la mitigación global a través de su “contribución prevista y determinada a Nivel Nacional” (iNDC, por sus siglas en inglés)

en setiembre de 2015 y participó en los esfuerzos para alcanzar el acuerdo de París en diciembre de 2015.

El Perú es un país con poblaciones y ecosistemas altamente vulnerables a los efectos adversos del cambio climático dicha vulnerabilidad está configurada por diversos factores como la pobreza, la baja articulación institucional, debilidades en la gobernanza del desarrollo, una base productiva afectada por factores climáticos, entre otros.

Al respecto, en 2013, se realizó el “Balance de la Gestión Regional frente al Cambio Climático en el País”, en el cual las regiones priorizaron los sectores, ecosistemas y grupos humanos vulnerables frente al cambio climático.

De acuerdo con dicho balance, los sectores vulnerables priorizados son agricultura, pesca y los sistemas de recursos hídricos para distintos usos (factor que además condiciona el desarrollo de la actividad agrícola), así como el sector salud.

Los grupos humanos vulnerables priorizados son las poblaciones rurales ligadas a la agricultura familiar de subsistencia y con débil articulación al mercado (muchas de ellas organizadas en comunidades campesinas o nativas); y los pescadores artesanales.

Por su lado, los ecosistemas vulnerables priorizados son los montañosos andinos, los forestales, los amazónicos y los marino costeros.

Muchos de ellos tienen como eje común y articulador al agua, tal es el caso de las nacientes o cabeceras de cuencas, bofedales y cuerpos de agua, puna, humedales, praderas naturales, glaciares, etc.

Se ha registrado un aumento de las emergencias climáticas que afectan al país, habiendo crecido en 25 % entre 2003 y 2014, frente a una tendencia de estabilidad en las emergencias no climáticas (INDECI, 2015).

Las emergencias afectan principalmente a las poblaciones más vulnerables del país, incluyendo sus actividades productivas, el acceso al agua y la ocurrencia de enfermedades. se ha realizado una serie de estudios de valoración económica sobre los impactos de la variabilidad climática, como el Estudio del Impacto Económico del Cambio Climático en el Perú (EIECCP), los cuales han demostrado que los costos del impacto del cambio climático superarán ampliamente los costos de implementar acciones de adaptación. Solo en Cusco, entre enero y marzo de 2010, las fuertes lluvias generaron daños por S/ 635,83 millones,

pérdidas por S/ 348,94 millones en infraestructura y S/ 53,62 millones para el sector económico (INDECI, 2012).

En razón de lo señalado, el país ha realizado múltiples esfuerzos para adaptarse en los últimos años se registraron avances como el desarrollo de instrumentos de planificación, como la ENCC, y el incremento del conocimiento de la vulnerabilidad del país frente al cambio climático. Asimismo, las regiones y los diferentes sectores (Economía y Finanzas, Agricultura, Salud, Pesca Turismo) están incorporando la gestión del riesgo en un contexto de cambio climático en las políticas, los instrumentos de planificación y el Sistema Nacional de Inversión Pública. Las acciones llevadas a cabo comprenden los ámbitos de institucionalidad y gobernanza, conciencia y fortalecimiento de capacidades, conocimiento científico y tecnología, así como financiamiento en Setiembre de 2015 el Estado Peruano presentó su Contribución Nacional al incorporar la visión de la ENCC y plantea metas en adaptación basándose en el enfoque de medios de vida sostenibles, el cual propone que la adaptación se logra centrando los esfuerzos de desarrollo en la persona y sus medios de vida (bienes y servicios que proveen otras personas y los ecosistemas), considerando así potencialidades, oportunidades, estrategias y respetando sus visiones (MINAM, 2015a).

El MINAM está diseñando la hoja de ruta para la formulación del Plan Nacional de Adaptación (NAP, por sus siglas en inglés)<sup>10</sup>, cuyo inicio se prevé a partir del año 2016.

Cabe señalar que dicho plan se convertirá en el instrumento para el cumplimiento de los indicadores-metas establecidos en las en las Contribuciones Nacionales en adaptación al cambio climático la hoja de ruta del plan propone cuatro objetivos específicos:

- Identificar las estrategias, programas, proyectos y actividades necesarios para la reducción del riesgo climático y de los impactos negativos asociados a la sociedad, la economía y los ecosistemas, así como para el aprovechamiento de los impactos positivos.
- Generar los mecanismos para producir la articulación en la toma de decisiones sobre la adaptación al cambio climático.
- Establecer prioridades del país en adaptación al cambio climático.
- Dar lineamientos claros para la acción sectorial y territorial.

Por otra parte, el MINAGRI viene actualizando el Plan Nacional de Gestión de Riesgos y Adaptación al Cambio Climático en el Sector

agrario, mientras que el Ministerio de Salud ha elaborado el Plan Integral de Mitigación y Adaptación frente a los efectos adversos del Cambio Climático en la Salud Pública, en proceso de aprobación. El Ministerio de la Producción, por su parte, viene formulando el Plan de Acción en Cambio Climático en el sector Pesca y Acuicultura.

En los últimos 6 años, se ha desarrollado al menos 330 iniciativas, denominadas también programas, proyectos y/o acciones, 112 de los cuales han abordado la adaptación desde distintos enfoques<sup>11</sup>.

El 23 % de las iniciativas de adaptación cuentan con un enfoque basado en comunidades, 21 % un enfoque en gestión del riesgo, 20 % un enfoque de cuencas, 20 % en enfoque en ecosistemas, 9 % un enfoque en sectores prioritarios y 4 % un ciudades.

Además, el 23 % de ellas contribuyen a reducir la vulnerabilidad en zonas con diversidad biológica y servicios ecosistémicos, el 13 % en agricultura, el 13 % en recursos hídricos y cuencas, el 9 % en educación, así como otro 9 % en seguridad alimentaria.

#### **2.2.5. Interpretaciones jurídicas sobre los servicios ecosistémicos en el marco legal Peruano**

El patrimonio natural en el marco jurídico peruano se ha desarrollado principalmente a través de la figura de los recursos naturales; es decir, entendido en tanto valioso para el ser humano así, tenemos recursos forestales, recursos pesqueros, recursos mineros e hidrocarbúricos, etc. Sobre ellos se han establecido complejos marcos regulatorios para asignar derechos a particulares, así como determinar retribuciones económicas al estado, condiciones técnicas para su uso, causales de caducidad, formas de fiscalización, entre otras.

Los recursos naturales en el Perú tienen una base jurídica constitucional. El artículo 66 de la Constitución Política les reconoce el carácter jurídico especial de "Patrimonio de la Nación".

Esta categoría establece que los recursos naturales son del estado en un sentido diferente a la propiedad per se en tanto el estado no puede disponer de ellos libremente (. no los puede vender) sino sólo otorgarlos mediante figuras administrativas como las concesiones, manteniendo un fuerte rol de supervisión.

La Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales Ley N° 26821, desarrolla este mandato constitucional y determina las formas por las cuales los privados pueden acceder a los



recursos naturales el artículo 3 de esta Ley establece las condiciones para que un componente de la naturaleza sea considerado recurso natural primero, que este sea susceptible de ser aprovechado; es decir, que la técnica permita su uso y beneficio.

segundo, que este elemento de la naturaleza tenga un valor, presente o potencial, en el mercado en ese mismo artículo se dan ejemplos de recursos naturales, cómo los ya mencionados previamente (hidrocarburos, minerales, bosques y agua) y “los demás considerados como tales” establece que el estado puede otorgar a los privados derechos como las concesiones para usar y beneficiarse de estos recursos naturales (art. 23).

En contraprestación, los privados deben pagar una retribución económica al estado (art. 20).

Este pago es distinto a los tributos normales que pagan los individuos o empresas, como el impuesto a la renta, por ejemplo.

Bajo estos criterios, podría interpretarse que los servicios ecosistémicos de almacenamiento de carbono son, para efectos del marco jurídico Peruano, recursos naturales es decir, que a pesar de no estar expresamente mencionados en artículo 3 de la que cumplen con todos los requisitos del mismo.

Primero, son claramente componentes de la naturaleza, al menos en un sentido general.

Segundo, son susceptibles de ser aprovechados “por el ser humano para la satisfacción de sus necesidades” en tanto su uso, a través de mantener el carbono fijado en el bosque, provee el beneficio de mitigar el cambio climático. y, tercero, existen ya mercados presentes y potenciales para tranzar servicios ecosistémicos (aquellos basados en carbono forestal), lo que les da un valor económico.

Así, bajo esta interpretación, los privados que quieran “aprovechar” los servicios ecosistémicos, como el de almacenamiento de carbono, tendrían que obtener del Estado un derecho explícito y además pagar una retribución económica por este uso.

Un argumento que suma a esta interpretación es que la legislación forestal vigente habría regulado una figura administrativa de “concesiones para servicios ambientales”.

Efectivamente, el artículo 10, inciso 2, literal a) de la Ley Forestal y de Fauna Silvestre vigente, Ley N° 27308, habla de “concesiones para ecoturismo, conservación y servicios ambientales” sin embargo, el

Reglamento de esta Ley ha desarrollado todas las modalidades de concesiones forestales pero no una “para servicios ambientales”.

### **El carbono como recurso natural**

Otra posibilidad legal es que el carbono en sí mismo sea un recurso natural. Recordemos cuales son las características para que un elemento de la naturaleza se considere legalmente “recurso natural”

a) que se pueda aprovechar (usarse y obtener de él un beneficio)

b) que tenga un valor presente o potencial en el mercado (art. 3).

Así, podría entenderse que el carbono puede usarse en el sentido de que puede establecerse esquemas sobre él, y además tiene claramente un mercado en el que se tranzan títulos que representan al carbono de los bosques; es decir, el carbono tiene un valor.

### **Posición sobre el marco jurídico de los servicios ecosistémicos**

El debate sobre qué son legalmente los servicios ecosistémicos, particularmente el de almacenamiento de carbono, no es tan banal como podría parecer. Dependiendo de la interpretación que se siga se podrá concluir cosas tan disímiles como que son propiedad privada, que le pertenecen al Estado como dominio eminential, que deben ser otorgados por el Estado antes de “usarlos” para esquemas RSE o que el Estado no tiene rol alguno.

Esto tiene consecuencias que se extienden no sólo a saber quién legalmente puede establecer esquemas de RSE sino cómo se reparten beneficios en el marco de REDD+, por ejemplo.

El marco legal peruano actual sobre los servicios ecosistémicos es escueto y muchas veces confuso pero es importante encontrar una interpretación jurídicamente sólida y además útil.

Consideramos que la mejor interpretación jurídica es aquella que reúne estas dos características: coherencia con el marco legal actual, y utilidad para desarrollar REDD+ y otros esquemas de RSE con facilidad.

Así, creemos que los servicios ecosistémicos que se usan en esquemas de RSE como REDD+, son parte inherente de los derechos sobre los recursos naturales, en particular, aquellos sobre el bosque.

Por lo tanto, el estado, en el marco de su dominio eminential sobre el patrimonio natural, tiene un rol importante en definir quién es titular de los Servicios ecosistémicos.

Nuevo marco jurídico peruano sobre servicios ecosistémicos: La nueva Ley Forestal y de Fauna Silvestre y el Proyecto de Ley de Retribución por Servicios Ecosistémicos

El marco jurídico peruano sobre cambio climático y servicios ecosistémicos está progresando.

En el 2011, el Congreso aprobó una nueva Ley Forestal y de Fauna Silvestre, Ley N° 29763, y actualmente se está discutiendo su reglamento. Mientras no se apruebe ese reglamento seguirá en vigencia el marco legal forestal de la Ley que hemos utilizado para analizar el acápite previo.

La nueva Ley Forestal y de Fauna Silvestre tiene varias referencias a los servicios ecosistémicos forestales.

Por otro lado, desde hace algún tiempo se discute en el Congreso un Proyecto de Ley de Promoción de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos (Proyecto de Ley N° 786/2011-CR).

Este proyecto busca aclarar el marco jurídico de los servicios ecosistémicos y promover RSE, entre ellos REDD+ la nueva Ley Forestal y de Fauna Silvestre regula los servicios ecosistémicos del bosque con más claridad y detalle.

El artículo 3, por ejemplo, menciona que “coadyuvar a la provisión de los servicios de los ecosistemas forestales y otros sistemas de vegetación silvestre” es una “actividad forestal” y por ello explícitamente sujeta a este marco jurídico.

Además, al igual que la Ley Forestal y de Fauna Silvestre aún vigente, esta nueva Ley también establece diversas categorías de zonificación forestal; sin embargo, a diferencia de la Ley aún vigente, la nueva Ley Forestal y de Fauna Silvestre reconoce explícitamente que en la mayoría de ellas se puede hacer “aprovechamiento económico de los servicios [ecosistémicos]” (art. 27).

Asimismo, la nueva Ley aclara la titularidad sobre los servicios ecosistémicos esta norma precisa que todos los derechos forestales dan el derecho a “los beneficios económicos procedentes de los servicios de los ecosistemas que se desprendan del manejo de los recursos forestales” (art. 60).

De la misma forma, la Ley precisa que los concesionarios forestales de cualquier tipo “se constituyen en titulares de los derechos de provisión de servicios ecosistémicos” (art. 52).

Finalmente, la nueva Ley establece que los privados con títulos forestales que se beneficien económicamente de los servicios ecosistémicos (a través de un esquema de RSE) no deben pagar una retribución económica adicional al Estado por este uso, porque “se considera dentro del pago por derecho de aprovechamiento” que el privado ya paga por su título forestal (art. 49).

La única excepción a esta regla es para las concesiones para conservación según la nueva Ley, si un concesionario para conservación “vende servicios ambientales” deberá pagar una retribución económica al Estado (art. 50).

Por otro lado, la versión más reciente del Proyecto de Ley de Retribución por Servicios Ecosistémicos también da pistas sobre el concepto legal de los servicios ecosistémicos.

El artículo 3 establece definiciones interesantes por ejemplo, este artículo explica que todos aquellos que “mediante acciones contribuyen a la conservación, recuperación y manejo sostenible de las fuentes de los servicios ecosistémicos” son “contribuyentes al ecosistema” y, por tanto, son los sujetos activos de los esquemas de retribución por servicios ecosistémicos es decir, son estos a quienes se debe retribuir.

Estas nuevas y futuras normas peruanas establecen un mejor marco jurídico porque aclararán quién tiene derecho sobre los servicios ecosistémicos y sus beneficios y cuáles son las condiciones básicas para establecer esquemas de RSE, como REDD+ alrededor de ellos. Jurídicamente, estas normas ayudan a inferir con mayor fuerza que la segunda interpretación sería la correcta así, los servicios ecosistémicos como el almacenamiento del carbono, son elementos inherentes a los títulos sobre los recursos naturales forestales y, por lo tanto, el derecho para aprovechar el bosque lleva aparejado el derecho para “usar” sus servicios ecosistémicos a través de un esquema de RSE de esta forma, para ser titular de los servicios ecosistémicos relevantes para REDD+ habría que ser titular de un derecho forestal (como una concesión o un título de propiedad sobre un área que tenga bosque).

2.3 Marco Conceptual

2.3.1. *Caulerpa Filiformis* (Suhr.) Hering

*Caulerpa filiformis* (Suhr.) Hering pertenece a la familia Caulerpaceae, es un alga que crece de estolones horizontales y se reproduce manera sexual como asexual. También puede la fragmentarse de sus frondas (simples obifurcadas), naciendo una nueva alga de los fragmentos de 5 mm de tamaño.

Figura N° 01: taxonomía de la *Caulerpa Filiformis*

<u>TAXONOMÍA</u>	
REINO:	Plantae
DIVISIÓN:	Cholorophyta
CLASE:	Chlorophyceae
ORDEN:	Caulerpales
FAMILIA:	Caulerpaceae
GÉNERO:	Caulerpa
ESPECIE:	<i>Caulerpa filiformis</i> .

**Del fragmento surge un nuevo brote de caulerpa**

Fuente: ERM.

Su crecimiento es de 1 a 5 cm. por día, se adapta a temperaturas de 10 a 25 C°. Cualidades que le brindan una mayor capacidad de ajustarse a distintos entornos esta alga verde es común en el norte del Perú.

El alga *Caulerpa filiformis* (Suhr.) Hering, también la *Caulerpa racemosa*, son las dos únicas especies de la flora marina del género *Caulerpa* en el Perú, siendo la primera la más frecuente (Acleto, 1986).

El Instituto del Mar del Perú (IMARPE), determinó que la especie "caulerpa" es una macroalga que tiene una amplia distribución en la Bahía (90.8 %) y tiene una gran importancia en el asentamiento de las semillas de concha de abanico y refugio para los estados juveniles de muchas especies faunísticas bentónicas.

Esta especie invasora es un problema a escala global ya que constituyen una amenaza para la especies nativas (Boudouresque y Verlaque, 2002, p.34) la introducción de una especie puede afectar a la fauna y flora nativa, debido a la introducción de nuevos depredadores, a la competencia por los recursos con las especies nativas, a la mezcla genética con especies nativas próximas, a la dispersión de sus patógenos afectando a las especies locales, al desplazamiento de especies locales colonizando y cambiando su hábitat, es decir que puede afectar el ecosistema acuático.

Los casos concretos de introducciones de especies son relacionados con el transporte intencional de organismos con fines de cultivo (p. ej., ostras), que son llevados de un sitio o región a otro, y que involucran el traslado secundario de algunas especies de macroalgas, lo que propicia su introducción y comienzan de esta manera su desarrollo en un hábitat nuevo. así como cascos de los barcos (fouling), el vertido de aguas de lastre, las artes de pesca y los escapes accidentales de acuarios; procesos globales relacionados con la contaminación (eutrofización) y el cambio climático pueden estar contribuyendo a acelerar la tasa de introducción y expansión de especies exóticas en el Mediterráneo (Ruiz, Ramos y García, 2007, p.18).

El incremento de la temperatura de los océanos altera la fotosíntesis y provoca el crecimiento acelerado de algunas especies de macroalgas. Así mismo, como consecuencia del cambio climático, se traspasan las fronteras biogeográficas de los organismos y se producen modificaciones

en las corrientes oceánicas, permitiendo la proliferación y el incremento de especies introducidas que alteran la biodiversidad regional y en ciertos casos propician el comportamiento invasor de algunas especies. (Aguilar, Flores y Zertuche. 2014).

Las praderas de macroalgas permite una mayor diversidad de especies y abundancia de individuos; al respecto, Eggleston, Elis, Etherington, Dahlgren y Posey (1999), concluyeron que la macrofauna responde a la fragmentación del hábitat de una forma compleja que varía de acuerdo al tipo de hábitat, ubicación, especies, grupos funcionales y aún el tamaño del cuerpo en este sentido, las macroalgas (tanto en especies como en biomasa) que conforman una pradera tienen una incidencia directa en la biodiversidad de peces, crustáceos, entre otros organismos, que sustentan la actividad pesquera; en este sentido, es importante su conservación para la salud del ecosistema.

Algunas especies de macroalgas han sido introducidas de forma accidental en ecosistemas que les proveen las condiciones necesarias para su colonización, desplazando de esta forma a las especies nativas, con consecuencias sobre la biodiversidad de la flora y fauna.

Las especies del género *Caulerpa* son conocidas como invasores en los ambientes bénticos marinos (Ortegón, Rosado y Aguilar, 2015, p.18); se viene reportando la presencia de estas macroalgas en muchos lugares del mundo. La macroalga *Caulerpa ollivieri*, nativa del Mediterráneo ha sido reportada en el norte y sur del Golfo de México (Ortegón et al., 2015, p. 17); mientras que la macroalga *Caulerpa taxifolia* ha sido reportada en Brasil, Venezuela, Colombia, Costa Rica, Antillas, Golfo de Guinea, Mar Rojo, Somalia, Kenya, Tanzania, Madagascar, Mauricio, Maldivas, Pakistán, India, Sri-Lanka, Bangladesh, Malasia, Indonesia, Filipinas, Vietnam, China, Japón, Hawái, Fiji, Nueva Caledonia y Australia (Boudouresque, Meinez, Ribera y Ballesteros, 1995, p.23).

Por su parte, Tomas, Box y Terrados (2011), evaluaron la influencia de cuatro macroalgas exóticas (*Caulerpa racemosa* var. *cylindracea*, *Lophocladia lallemandii*, *Acrothamnion preissii* y *Womersleyella setacea*), invasoras de los ecosistemas submareales en el mar Mediterráneo, sobre el comportamiento de alimentación y el crecimiento del herbívoro erizo de mar (*Paracentrotus lividus*), determinando que tres de las cuatro macroalgas invasoras estudiadas eran evitadas por el herbívoro nativo. Aun cuando *C. racemosa* es consumida por los erizos de mar, escapan de control enemigo reduciendo su crecimiento.

Debido a la importancia ecológica y económica de los erizos de mar, los impactos negativos de las macroalgas invasoras sobre su productividad podrían tener efectos dramáticos sobre las funciones y servicios del ecosistema al respecto, Deudero, Box, Alós y Marba (2011) evaluó los cambios funcionales debido a la invasión de *C. racemosa* en las praderas de *Posidonia oceanica*, indicando que la composición de especies de la fauna y de los productores primarios difieren entre las praderas de macroalga *oceanica* y las praderas invadidas por *C. racemosa* mientras que Cummings y Williamson (2008) informaron que *C. filiformis* está dominando las praderas de macroalgas en la regiones submareales poco profundas a lo largo de la costa de Nueva Gales del Sur en Australia; destacando que las especies invasoras son conocidas por su superioridad competitiva.

Por otro lado, Sánchez, García y García (2007), estudiaron la variación temporal de la macroalga *Caulerpa prolifera* en la composición y estabilidad de la comunidad de crustáceos, determinando la presencia de 45 especies de crustáceos en condiciones normales; ellos concluyen que, en algunos casos, *C. prolifera* puede mostrar comunidades más ricas que hábitats más estructurados, como algunas praderas de macroalgas.

En este sentido, las praderas de *Caulerpa* permiten el establecimiento de importantes comunidades animales, aun en lugares con alto contenido de materia orgánica y limitada renovación de agua (Sánchez et al. 2007)

La distribución de *C. filiformis* a nivel mundial parece confinado a un intervalo de temperatura de 16 a 23 °C, y es predominantemente submareal (Glasby, Gibson, West, Davies y Voerman, 2015); característica que le da el potencial de colonizar las zonas costeras de muchos países, incluido el Perú. su gran abundancia se debe al tipo de reproducción (asexual) del género, que posee un crecimiento vegetativo muy activo por estolones, desarrollando rizoides, los cuales se fijan muy bien a diferentes tipos de sustratos, ya sea blandos como arena consolidada fina y sustratos duros. Además, cuando el alga es arrancada, cada uno de los fragmentos puede readherirse al sustrato y regenerar en una nueva planta. Crece hasta los 20 m de profundidad, dependiendo de la claridad de las aguas y disponibilidad de luz.(ERM,2009).

La ubicación geográfica de *Caulerpa filiformis* en el Perú, está considerada a la región de Piura e islas



Lobos de Afuera frente a la región de Lambayeque, siendo reportada por primera vez en 1914 en temperaturas entre 17,5 a 24 °C reportándose ahora esta especie en la costa central y sur del Perú, en temperaturas que oscilan entre 17,5 a 19 °C; en la Región Ancash: Bahía de Tortugas, Chimbote; en la Región Lima: Caleta de Pucusana y en la Región de Ica: Playa El Chaco en la provincia de Pisco (Acosta y Vargas, 2012, p. 101). Zhang, Glasby, Ralph y Gribben (2014), reportan que el aumento de la sedimentación puede promover el establecimiento de *Caulerpa filiformis*, el crecimiento vegetativo rápido es un rasgo típico de las especies oportunistas y parece ser común para los macrófitos en los sedimentos impactados.

Después de una perturbación física en los ecosistemas costeros pueden facilitar un aumento de la abundancia y propagación vegetativa de *C. filiformis* y una vez establecido, el alga afecta negativamente sobre la salud fisiológica del *Sargassum* spp. Además los parches recién colonizados dentro del hábitat de *Caulerpa* alojaron una comunidad menos diversa en comparación con los parches de hábitat de *Sargassum*. Los estolones de *Caulerpa* tienen una gran capacidad retentiva del sedimento, favoreciendo su estabilización y una cierta humificación del medio por ello, la densidad de planta debe estar influyendo la composición granulométrica y el porcentaje de materia orgánica del sedimento, factores que son considerados como de los más importantes para determinar las especies que se desarrollan en los fondos blandos (García, Estacio, Sánchez y García, 2001, p. 65)

En el Perú aún no se han hecho estudios sobre la invasión de macroalgas exóticas; sin embargo, en algunos lugares de la costa peruana se viene reportando la presencia de *C. filiformis*, lo cual representa un riesgo para la biodiversidad local tanto de las macroalgas, como de las especies que dependen de las praderas de macroalgas como zonas de alimentación, reproducción y protección.

Para la adecuada gestión de los servicios y bienes de un ecosistema acuático es importante determinar los impactos que podría generar la introducción de una nueva especie. al respecto, conocer la extensión de los efectos de las especies invasoras sobre el funcionamiento del ecosistema es fundamental para la conservación; por ende, se hace necesario conocer el efecto que tiene *C. filiformis* sobre las praderas de macroalgas locales, con la finalidad de identificar medidas de gestión ambiental (control o aprovechamiento).

Asimismo, las macroalgas puedan hacer contribuciones significativas al secuestro global de carbono actuando como "donadores de carbono", esto se da cuando un autótrofo "dona" carbono a otro "receptor" que finalmente secuestran ese carbono por lo tanto, los donantes del carbono hacen contribuciones indirectas al secuestro de carbono.

Este movimiento de carbono de un sistema a otro es denominado "fuga de carbono" esto puede verse en los ecosistemas de pastos marinos que tienen una alta capacidad de captura de partículas de carbono de otras fuentes (Gruber y Kemp 2010).

Para que un sistema sea un donante significativo de carbono, existen tres requisitos:

- altas tasas de producción de biomasa
- transferencia efectiva de biomasa a los hábitats receptores
- el carbón del donante debe someterse a un secuestro eficiente de biomasa dentro de los hábitats receptores, de manera que evada la actividad microbiana (Hill et al. 2015).

Los tres requisitos son necesarios, ninguna es redundante o sustituible y las macroalgas cubren con todos estos requisitos ya que tiene una alta producción de biomasa; la producción primaria excede el de todos los hábitats costeros como pastos, marismas y manglares combinados (Duarte et al. 2013), transfieren el carbono a los hábitats vegetales costeros y que a su vez son secuestrados por éstos.

En las macroalgas, el carbono alóctono puede contribuir tanto como la mitad del carbono orgánico total que se secuestra en un prado de pastos (Kennedy et al. 2010 en Hill et al. 2015).

### **2.3.2. Captación de carbono de la pradera de algas marinas**

Tanto las macroalgas como las microalgas requieren del CO<sub>2</sub> para su crecimiento, de acuerdo a estudios, la producción de 3.5 toneladas de algas requiere de 1.27 toneladas de carbono, y cerca de 0.22 toneladas de nitrógeno y 0.03 t de fósforo, basado en estos indicadores debería impulsarse que los productores de algas marinas puedan emitir también bonos de captura de carbono, por el servicio ambiental que ofrecen, como una forma de incrementar los ingresos económicos.

Sin embargo, aun se requiere desarrollar metodologías para determinar la captura de carbono por parte de las algas marinas en función de la especie, ubicación geográfica, etc.; tanto en las praderas naturales, como

en las zonas de cultivo. en esto, deben participar los centros de investigación y los respectivos gobiernos estatales.

Una de las ventajas de las algas marinas es su rápido crecimiento y por ende van a tener una mayor captura de carbono, a diferencia de los bosques en donde la captura del carbono solo se realiza durante el crecimiento de los árboles, que además son de lento crecimiento.

Las algas marinas son una parte vital de los recursos naturales aún disponibles para combatir al cambio climático, y, por unidad de área, los prados de algas marinas pueden almacenar hasta el doble de carbono que los bosques templados y tropicales.

Así se ha comprobado en una reciente investigación internacional, que constituye el primer análisis global de carbono capturado por las algas marinas los resultados de esta investigación demuestran que los lechos costeros de algas marinas almacenan hasta 83.000 toneladas de carbono por kilómetro cuadrado, principalmente en el subsuelo marino.

A modo de comparación, un bosque terrestre típico almacena aproximadamente 30.000 toneladas por kilómetro cuadrado, y la mayor parte del carbono está en la madera.

El equipo de James Fourqurean, de la Universidad Internacional de Florida, también estima que, aunque las praderas de algas marinas ocupan menos del 0,2% del fondo marino en el mundo, son responsables del 10% de todo el carbono sepultado anualmente en el mar.

### **2.3.3. La fotosíntesis y la productividad son procesos fundamentales para el océano**

La capacidad de las algas de convertir la energía luminosa en energía química es un cambio evolutivo importante (Berg et al. 2002). el proceso de fotosíntesis surge tempranamente en la historia de la tierra.

La evidencia geológica indica que la fotosíntesis generadora de oxígeno fue significativa hace 2000 millones de años atrás. la fotosíntesis evolucionó en las bacterias.

Los eucariontes a través de la endosimbiosis (Moreira et al. 2000, Stiller & Hall 1997) atraparon las unidades básicas de la fotosíntesis. Componentes como la ubiquinona y citocromo oxidoreductaza están tanto en los sistemas respiratorios como en la cadena transportadora de electrones de la fotosíntesis.

Este proceso metabólico de las plantas es una de las actividades más importantes de la célula vegetal y tiene una gran incidencia en la

estructura trófica de los ecosistemas, especialmente los acuáticos marinos.

Para el análisis y discusión del proceso de fotosíntesis en las algas marinas a lo largo de la costa sur este del Pacífico utilizaremos la información disponible de trabajos e investigaciones la productividad primaria en los cuerpos de agua son bacterias, microalgas, macroalgas y macrófitas que utilizan la energía proveniente del sol y los nutrientes disponibles para su crecimiento y desarrollo.

El concepto de productividad primaria tiene relación con los fotosintetizadores que se encuentran en un área determinada, como las algas que crecen en el borde costero y que son dominantes *Lessonia nigrescens* Bory y *Lessonia trabeculata* Villouta & Santelices (Edding et al. 1994), *Gelidium chilense* (Montagne) Santelices & Montalva, *Porphyra columbina* Montagne (Hoffmann & Santelices 1997; Ramírez & Santelices 1991), o los pastos marinos *Heterozostera chilensis* Kuo (Gonzalez & Edding 1990, Kuo 2005) de los sectores intermareales, o, en un volumen determinado como las microalgas que se encuentran en la columna de agua en el océano, un lago, un embalse, en los ríos.

La productividad es dinámica y depende de las variaciones del ambiente en el tiempo, en un área o un volumen arbitrariamente determinado y de las estrategias de vida de las plantas que allí habitan.

Para profundizar el concepto de fotosíntesis y de productividad en algas marinas, y como éstas responden al ambiente adaptando su metabolismo, analizaremos cómo funcionan los ecosistemas acuáticos y cómo responden estas plantas a la alta variabilidad ambiental que ocurre en el ambiente en que ellas se desarrollan y viven debemos tener en mente que el crecimiento y la productividad corresponden a la expresión final de múltiples procesos celulares, bioquímicos y fisiológicos, como respuesta y adaptación a la variabilidad ambiental permitiendo el éxito de la especie dentro de su rango de distribución.

### **La entrada de la energía**

El sol emite un amplio rango electromagnético de radiación, medida en la tierra frecuentemente como irradiancia global (directa más difusa) que incide sobre una superficie horizontal y en una unidad de tiempo.

La tierra recibe una energía entre 8.000 a 10.000 kilocalorías (Kcal) diarias en cada metro cuadrado (1 m<sup>2</sup>) de su superficie gran parte de la energía se disipa.

Una kilocaloría es la cantidad de calor necesitada para calentar 1 kilogramo de agua, en 1 grado centígrado ( $^{\circ}\text{C}$ ) la luz atrapada en fotosíntesis se pierde en última instancia como calor, y en un menor porcentaje como fluorescencia por ello tiene sentido seguir el flujo de la energía en los ecosistemas, en unidades del calor.

Dependiendo de la localización, entre 0 y 5 Joules de energía solar son recibidos en cada metro cuadrado de la superficie de la tierra cada minuto Sin embargo, solamente una proporción pequeña de esta energía es convertida por la fotosíntesis en biomasa de la planta.

Los sistemas acuáticos también tienen importantes factores que determinan su funcionamiento, de acuerdo a Jones (1997) estos son:

- a) las cantidades de materiales disueltos presentes en el agua (los solutos)
- b) la profundidad de la columna de agua
- c) la disponibilidad y la calidad de la luz
- d) la naturaleza del sustrato (roca, arena o fango)
- e) patrones de la circulación de las masas de agua y su temperatura
- f) los parámetros conservativos como salinidad, temperatura, nutrientes, pH, turbidez y oxígeno disuelto que permiten caracterizar un cuerpo de agua.

### **Productividad Bruta**

La productividad bruta es la cantidad de energía atrapada en la materia orgánica durante un intervalo de tiempo y área determinados.

El uso de la luz del sol como una expresión funcional o radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) es dependiente del ambiente en que esta luz llega las plantas se han adaptado a atrapar los cuantos de luz en diferentes rangos del espectro visible aun así es posible que las plantas no logren atrapar toda la luz disponible. Kimball (2005) observó que sólo un 2,2% de la energía que les llega las plantas es atrapada en la fotosíntesis.

El resto se pierde en reflexión, transpiración y evaporación (97,8%)

### **Productividad Neta**

La productividad neta es la cantidad de energía atrapada en materia orgánica durante un intervalo especificado en un nivel trófico dado menos lo que se perdió por la respiración de los organismos en ese nivel.

Una forma para determinar la productividad neta es recoger y pesar el material vegetal excedente producido en 1 m<sup>2</sup>, en un intervalo de tiempo dado un gramo de material de planta, que es en gran parte carbohidratos, rinde cerca de 4.25 Kcal de energía cuando se está quemado en una bomba calorimétrica (o es respirado).

Los valores representativos para la productividad neta de una variedad de ecosistemas, naturales y manejados.

Estos valores son solamente aproximaciones y están conforme a fluctuaciones marcadas debido a variaciones en temperatura, fertilidad, la disponibilidad del agua en ambientes terrestres, y la disponibilidad de nutrientes en ambientes acuáticos.

La productividad alcanzada por algunos ecosistemas dominados por macroalgas y pastos puede llegar a ser tan altos como sistemas productivos terrestres.

#### **2.3.4. Factores ambientales y su efecto en la producción algal**

##### **Características de la luz en la columna de agua**

La luz que llega a la superficie de la tierra es absorbida en parte y parte es reflejada.

La disminución de la radiación solar en la columna de agua es determinada principalmente por las propiedades ópticas de las masas de agua, donde tanto las moléculas de agua, la presencia de material orgánico disuelto coloreado (MODc), como clorofila a y otros pigmentos fotosintéticos, y la presencia de partículas en suspensión (e.i. fitoplancton y detritus) influyen en los coeficientes de absorción y dispersión de las diferentes longitudes de ondas (Franklin & Foster 1997, Häder & Figueroa 1997) en los sistemas acuáticos la luz puede penetrar y es filtrada en los primeros 10cm, virtualmente todo el infrarrojo es filtrado y transformado en calor (Gross 1982), dependiendo de las características de la columna de agua en el primer metro del agua de mar el 60% de la radiación es absorbida y a los 10m el 80%. por lo general la luz penetra a mayor profundidad en aguas oceánicas que en aguas costeras principalmente por la baja concentración de MODc y partículas.

Las condiciones costeras favorecen la productividad primaria, por lo tanto las aguas son más turbias producto de las poblaciones de microorganismos que se desarrollan dada la riqueza de nutrientes que aportan los cursos de agua que llegan al mar y de las masas de aguas ricas en nutrientes las aguas ecuatoriales sub-superficiales que viajan de

norte a sur en la costa del Pacífico Sur son las que mayormente aportan nutrientes (Morón & Marquina 1997) las altas concentraciones de materia particulada, como cuando el fitoplancton es abundante, producen una gran cantidad de dispersión y absorción de la luz.

Esto provoca el color verdoso característico de las aguas productivas (Thurman 1994).

Al penetrar la luz en el océano cambia su cantidad y también su calidad (Lobban & Harrison 1994).

El agua absorbe la radiación roja e infrarroja en los primeros metros, por lo que muchas algas deben estar adaptadas a capturar esa luz, como complemento de la luz capturada con menores longitudes de onda.

En las algas hay 3 clases de pigmentos encargados de capturar la luz para la fotosíntesis: clorofilas, ficobiliproteínas y carotenoides.

En las algas se encuentran 4 clases de clorofilas, además de la clorofila. En las Chlorophytas además se encuentra la clorofila, absorbiendo con máximos en los 470 y 650 nm (Luning 1990).

También se ha observado la clorofila c1 en las algas café (Heterokontofita: Chrysophyceae, Bacillariophyceae, Phaeophyceae) clorofila c2 en Chrysophyceae, Bacillariophyceae, Raphidophyceae, Phaeophyceae, y la clorofila c3 en Bacillariophyceae y Phaeophyceae (Van den Hoek et al. 1997).

Forster & Dring (1994) sugieren que la luz azul tiene el efecto de estimular la fotosíntesis como resultado de aumentar la tasa de transporte del carbono inorgánico desde el agua de mar al cloroplasto.

Las respuestas de las algas café (Heterokontofitas) a este estímulo sustentan esta hipótesis, pues la luz es más frecuente en los habitats que estas plantas ocupan y donde el carbón limita la fotosíntesis.

### **La eficacia del uso de la radiación solar**

De la luz del sol que es recibida en la superficie de la tierra, solamente cerca de 44 % de la radiación de la onda corta del incidente ocurren en las longitudes de onda (conocidas como la radiación, PAR (Radiación fotosintéticamente activa) útiles para la fotosíntesis. las especies más eficientes de plantas, la mayoría de las cuales son plantas cultivadas, pueden incorporar solamente 3-10 % de radiación fotosintética activa en la producción de la biomasa.

De los biomas terrestres, el bosque lluvioso y de coníferas tropical es el que puede convertir entre 1 al 3 % de la radiación solar usable en

biomasa los bosques de hojas caducas alcanzan eficiencia fotosintética entre 0,5 a 1,0 % el bioma del desierto tiene la eficiencia más baja del uso solar de la radiación las plantas en este bioma convierten solamente 0,01 a 0,2 % de radiación fotosintético activa en biomasa en promedio, la productividad del bosque tropical lluvioso puede ser semejante a la productividad primaria neta de los bancos de algas y arrecifes que alcanza a  $2.500 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{año}^{-1}$  (Salisbury & Ross 2000).

### **Mediciones de fotosíntesis**

Todo método que ha sido efectivo en medir la producción de biomasa vegetal en sistemas biológicos terrestres podría ser adaptado y eventualmente utilizado en especies algales (UNESCO 1973, israel 1995).

La producción primaria, entendida como el incremento en materia orgánica de un organismo fotosintetizador por unidad de tiempo, puede ser estimada de diferentes métodos que incluyen tanto técnicas de laboratorio como de terreno.

Sin embargo, considerando la ecuación básica de la fotosíntesis ( $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ ), se ha recomendado como los dos métodos más directos a: la cuantificación de producción de materia orgánica (hexosas, en la ecuación) y a la evolución del oxígeno (Fase primaria de la fotosíntesis, reacción dependiente de la luz).

La producción de materia orgánica puede ser obtenida desde mediciones directas de biomasa a intervalos de tiempo y en un área determinada (productividad primaria), o estimada desde mediciones indirectas de procesos que estarían conduciendo a incrementos de la biomasa algal. La tasa de producción de biomasa en los organismos fotoautótrofos, generalmente referida como “standing stock”, es un reflejo de las tasas de crecimiento y desarrollo, gobernadas principalmente por procesos fisiológicos y bioquímicos la fotosíntesis es el principal proceso vinculado con la producción de biomasa en los vegetales, y su medición puede ser considerada representativa de tal proceso (Israel 1995).

Durante la fotosíntesis se produce liberación de oxígeno en una proporción cercana a la unidad del índice fotosintético, que expresa el número de moles de  $\text{CO}_2$  fijados/número de moles de  $\text{O}_2$  liberado. Midiendo la tasa de liberación de oxígeno en un alga es posible obtener la tasa de fijación de carbono, y estimar su productividad en condiciones determinadas de crecimiento.



La evolución de la concentración de oxígeno disuelto en botellas claras (producción neta) y oscuras (respiración) puede ser medida con electrodos de oxígeno (método polarográfico), o por un método químico de titulación clásicamente utilizado (método de Winkler).

Este último método a pesar de ser algo laborioso es de gran precisión y constituye un excelente método alternativo, especialmente cuando las disponibilidades logísticas son limitadas.

Por otra parte, la fijación de carbono durante la fotosíntesis también puede ser cuantificada a través de la asimilación de carbono radiactivo  $^{14}\text{C}$  (incorporación de carbón, reacción independiente de la luz) bajo condiciones experimentales.

En este caso, se asume que la fijación y reducción del  $^{14}\text{CO}_2$  puede igualarse a la tasa de utilización del  $^{12}\text{CO}_2$ , incluyendo un pequeño factor de discriminación, debido a las distintas velocidades de asimilación y reducción entre estas formas isotópicas (Holm-Hansen & Helbling 1995).

Al igual que el método de la liberación de oxígeno, las tasas de fijación de  $\text{CO}_2$  radioactivo pueden ser expresadas, con cierto margen de error, en términos de incorporación diaria para permitir estimaciones de productividad primaria a largo plazo (Israel 1995).

En macroalgas, y como ha sido desarrollado en plantas terrestres, investigaciones destinadas a evaluar respuestas fisiológicas y ecofisiológicas, principalmente ante factores ambientales estresantes como altos niveles de RFA/UV son frecuentemente realizadas combinando cambios en la evolución del  $\text{O}_2$  y en pulsos de amplitud modulada (PAM) de los parámetros de fluorescencia de la clorofila (Franklin & Forster 1997) desde mediciones de la fluorescencia de la clorofila, que ocurre principalmente en el Fotosistema II (FSII) de la Cadena transportadora de electrones, es posible obtener una medida indirecta de la capacidad fotosintética.

El principio del análisis de fluorescencia de la clorofila radica en que la energía absorbida por las moléculas de clorofila puede tener uno de tres destinos: puede ser usada para direccionar la fotosíntesis (proceso fotoquímico), el exceso de energía puede ser disipado como calor (proceso no-fotoquímico) o este puede ser re-emitido como luz fluorescente de la clorofila.

Estos tres procesos ocurren bajo competencia, por lo que cualquier mejora en la eficiencia de uno de ellos resulta en la disminución del

rendimiento de los otros dos procesos de esta forma midiendo el rendimiento de fluorescencia de la clorofila, es posible obtener información sobre cambios en la eficiencia de las reacciones fotoquímicas (rendimiento quantum del FSII,  $\Phi$ FSII) y de la disipación de calor (Maxwell & Johnson 2000).

Aunque la cantidad total de fluorescencia de la clorofila, es baja, solo entre un 1 y 2% del total de energía absorbida, sus medidas son fáciles y rápidas el espectro de la fluorescencia es diferente al de la luz absorbida, con un máximo de emisión de fluorescencia en longitudes de onda largas (> 670 nm). Por lo tanto, el rendimiento de fluorescencia puede ser cuantificado exponiendo el tejido fotosintético a una definida longitud de onda y midiendo la cantidad de luz re-emitida a longitudes de onda larga. La fluorescencia de la clorofila entrega información del estado del FSII, principalmente permitiendo entender como se está usando la energía absorbida por la clorofila, y que tan extenso puede llegar a ser el daño producido en el aparato fotosintético cuando ocurre una perturbación por exceso de luz.

Además, permite examinar la habilidad de las plantas a tolerar el estrés ambiental, así como la aclimatación a diferentes microambientes y factores ambientales.

El flujo de electrones a través del FSII es indicativo, bajo muchas condiciones, de la tasa global de fotosíntesis, permitiendo estimar el potencial fotosintético bajo condiciones en que muchos otros métodos fallan (Maxwell & Johnson 2000).

En términos generales es aceptado que el FSII es la parte más vulnerable del aparato fotosintético al daño inducido por la luz, siendo su decaimiento en el transporte de electrones frecuentemente la primera manifestación del estrés aunque la fluorescencia es una técnica poderosa, también es limitada a pesar de que es fácil de medir y con mínima invasión en la muestra de análisis, si los experimentos no están correctamente diseñados es casi imposible interpretar sus resultados. Además, las mediciones deben ser consideradas como relativas, debido a que la luz se pierde inevitablemente, y el análisis requiere de cierta normalización al calcular una amplia variedad de diferentes parámetros de fluorescencia (Maxwell & Johnson 2000).

En la mayoría de los casos, lo recomendable es combinar con otras técnicas, en particular medidas de intercambio gaseoso, para obtener una visión completa de la respuesta fotosintética de un organismo

fotoautótrofo al ambiente detalles del conocimiento teórico, consideraciones técnicas y de los diferentes parámetros calculados pueden ser obtenidos de Maxwell & Johnson (2000).

Problemas particulares asociados a medidas de fluorescencia de clorofila en algas son discutidos por Büchel & Wilhelm (1993) y Schreiber et al. (1995).

Estimaciones de producción primaria en algas, con uno u otro método, son de importancia en estudios biológicos acuáticos, como por ejemplo para estimaciones de productividad en praderas de macroalgas de importancia económica pudiendo estimar los efectos de la explotación pesquera, para evaluar el efecto de factores ambientales en poblaciones algales de gran importancia ecológica, para evaluar impacto ambiental de actividades contaminantes, para realizar interpretaciones de balance energético en ecosistemas locales y eventualmente a gran escala, entre otros una descripción más detallada de los diferentes métodos que permiten estimaciones de fotosíntesis y producción primaria, tanto para fitoplancton como macroalgas, pueden ser revisados en Lobban et al. (1988), Holm-Hansen & Helbling (1995) e Israel (1995).

Detalles del método Winkler pueden ser consultados en Strickland & Parsons (1972) y Dawes (1988) con respecto a otros métodos, refiérase a Ulloa et al. (1995) para técnicas satelitales, a Peña & Harrison (1995) para el método del nitrógeno- 15, y a Keen & Evans (1988) para Actividad de la enzima Ribulosa 1,5-bifosfato carboxilasa/ oxigenasa.

### **Luz y productividad**

La luz que llega a las zonas templadas sigue un patrón anual bimodal al igual que la temperatura con máximos en el verano y mínimos en el invierno la productividad de algas como *Gracilaria chilensis* sigue estos mismos patrones sin embargo, hay un período a fines de la primavera donde el alga logra su máxima productividad.

A pesar que la luz y la temperatura se tornan favorables, el crecimiento del alga se detiene durante los meses de enero y febrero.

Esto se debe a que los niveles de nutrientes en el agua han disminuido y no logran sustentar la productividad del alga (Edding 1988).

Las agregaciones de grandes algas, altamente productivas de la zona de los bosques de huiros de la costa sureste del Pacífico, de algas tales como *Lessonia* y *Macrocystis*, la última creciendo hasta 50 metros en

longitud, con máximas elongaciones registradas hasta 25 centímetros cada día.

Dependiendo de la especie, la productividad de *Lessonia* puede alcanzar valores de 42 g seco m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (254 g frescos m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>; 11.46 gC m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) para la especie intermareal *L. nigrescens*, y 11 g seco m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (64 g frescos m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>; 2.46 gC m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) para la especie submareal *L. trabeculata*.

En ambos casos, aunque producción de biomasa se genera durante todo el año, los máximos valores son registrados en primavera

De la biomasa producida por estas especies, entre un 20 a 50% es perdido anualmente como materia orgánica particulada, que proviene de la pérdida de tejido en el extremo de sus láminas, generando una gran contribución para organismos filtradores y detritívoros de ambientes intermareales y submareales de la zona costera (Tala & Edding 2005).

En términos generales y considerando la fenología en un ciclo anual, es posible distinguir entre las algas un grupo que se “anticipa” a la estación favorable, mientras otro “responde” a esta (Kain 1989).

Especies que responden a la estación, crecen y se reproducen cuando las condiciones ambientales son favorables, mostrando una alta correlación con la luz, donde la fotosíntesis y crecimiento muestran su máximo durante el solsticio de verano, a menos que otro factor sea limitante mientras que especies que se anticipan a la estación, crecen y se reproducen en una estrategia conveniente de un ritmo anual, donde interviene un gatillador ambiental, principalmente el fotoperíodo (horas de día versus horas de noche).

El crecimiento es bajo aunque la fotosíntesis sea máxima junto con la irradiancia, así el exceso de materia orgánica producida es almacenado como reservas, las que son ocupadas en crecimiento cuando la luz es aún baja pero la disponibilidad de nutrientes es alta como ocurre en invierno (Kain 1989).

### **Radiación Ultravioleta y productividad**

Cambios en las condiciones atmosféricas, producto de los aumentos en las concentraciones de gases como dióxido de carbono –CO<sub>2</sub>, metano –CH<sub>4</sub>, óxido nitroso –N<sub>2</sub>O, clorofluorocarbonos – CFCs y organohalogenados –OCI, -Obr, están estrechamente relacionados con la utilización de combustibles fósiles, actividades agropecuarias y deforestación (Houghton & Woodwell 1989, Kerr 1992) algunos de estos

gases (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub>), radiactivamente activos, absorben y reflejan radiación térmica emitida desde la superficie de la tierra, incrementando la temperatura media superficial contribuyendo al efecto invernadero (Kerr 1992).

Por otro lado, algunos compuestos de vida larga, como CFCs, halogenados, carbón tetraclorado (CCl<sub>4</sub>), cloroformo metilado y HCFCs (hidroclorofluorcarbonos), acumulados principalmente en la estratosfera, participarían en la destrucción del ozono, molécula que forma una capa protectora del espacio exterior permitiendo la vida en la tierra (Houghton & Woodwell 1989, Kerr & McElroy 1993, Madronich et al. 1995).

El ozono muestra un alto coeficiente de absorción en la región ultravioleta-B, mostrando una clara relación entre la reducción del ozono y el aumento en los niveles de RUV-B que llegan a la superficie de la tierra, desplazando la distribución espectral del sol hacia longitudes de ondas cortas, altamente energéticas (Smith et al. 1992, Kerr & McElroy 1993, Madronich et al. 1995).

En los casos más extremos, la disminución de ozono ha alcanzado entre 60-70% para la Antártica a principios de 1990; mientras que para el Ártico, las mayores pérdidas de ozono han sido de un 25% hacia fines de los noventa y principios del 2000 (WMO 2003). Se estiman que la RUV ha aumentado, desde principios de 1980, entre un 6 y 14% en más de 10 sitios distribuidos sobre latitudes medias y altas para ambos hemisferios. La RUV se descompone en tres clases: UV-A ( $\lambda = 320-390$  nm), UV-B ( $\lambda = 280-320$  nm), y UV-C (bajo 280 nm). RUV-C no alcanzaría la superficie terrestre ya que es rápidamente absorbida en la estratosfera, aún a bajas concentraciones de ozono (Caldwell et al. 1989).

RUV-A, así como RFA (400-700 nm) serían relativamente insensibles a los cambios en la concentración de ozono.

En zonas Antárticas con aguas transparentes, la productividad primaria se ha visto disminuida entre un 6 y 12%, registrando además, la máxima penetración de RUV-B a 70 m de profundidad (Smith et al. 1992).

En estos ambientes, la RUV-B afectaría estrategias adaptativas en el fitoplancton, como movilidad y orientación, causando daño en ADN y proteínas, afectando a los organismos en su desarrollo, con cambios en las tasas de crecimiento y supervivencia, disminución en la productividad primaria considerando que el fitoplancton, importantes productores primarios, son la base de las cadenas tróficas, cualquier cambio en su productividad o población estarían afectando a las especies que se

encuentran en los niveles tróficos superiores, con cambios principalmente en la biodiversidad (Klisch & Häder 1999).

Al contrario de las zonas oceánicas, en áreas costeras los mayores contenidos de sustancias captadoras de RUV limitan su profundidad de penetración, alcanzando sólo unos centímetros o metros.

Áreas de surgencia en la costa centro-norte de Chile han registrado coeficientes de atenuación de un 10% a profundidades promedio de 6.6 m para longitud de onda 308 nm (UV-B), 16 m para 380 nm (UV-A), y 27 m para el rango PAR (Montecino & Pizarro 1995).

En la costa de Coquimbo (32°S - 71°W), valores promedios de 18 W m<sup>-2</sup> y 1,3 W m<sup>-2</sup> para UV-A y UV-B respectivamente fueron registrados a 4 cm de profundidad durante el verano 2001, correspondiente a un 60% y 90% de los niveles de radiación superficial (Wahl et al. 2004).

Tanto el calentamiento global como la acidificación del ambiente, son factores que disminuyen la cantidad de carbón orgánico disuelto (COD) en las masas de agua, con un incremento en la profundidad de penetración de la RUV dentro de ecosistemas acuáticos (Schindler et al. 1996) el COD es un factor principal que limita la penetración de RUV en la columna de agua, protegiendo a los organismos e influyendo en el límite inferior de la zona eufótica.

A pesar que la RUV representa una pequeña fracción de todo el espectro electromagnético solar tiene un efecto foto-biológico desproporcional. Una de las principales razones es que la RUV es absorbida por importantes macromoléculas como proteínas y ácidos nucleicos, interfiriendo en procesos de replicación y transcripción dentro del ciclo celular (Britt 2004).

Por lo tanto, no es sorprendente que tanto la vida vegetal y animal se vea afectada por el incremento en la RUV-B. Las plantas han desarrollado adaptaciones (anatómicas, morfológicas y bioquímicas), para protegerse de la RUV-B, las que han sido relacionadas con el origen geográfico de las especies (Teramura & Sullivan 1991).

En plantas terrestres se han identificado 5 respuestas principales a la radiación UV-B que también han sido referidas en fitoplancton y macroalgas: cambios fotomorfogénicos, inactivación de hormonas (e.g. auxinas), destrucción de ATPasa, daño fotosintético (e.g. ruptura en membranas tilacoidales, daños en el FSII), e inducción a la síntesis de compuestos fotoprotectores (e.g. flavonoides).

En conjunto con el efecto del calentamiento global y aumento en los niveles de RUV-B, el incremento en el CO<sub>2</sub> atmosférico también podría tener implicancias en la actividad fotosintética y productividad de los sistemas vegetales (Amthor 1995, Short & Neckles 1999).

Bajo el escenario de un incremento en el nivel global de CO<sub>2</sub>, los autótrofos deberían tener un mayor suplemento de carbón para el metabolismo secundario, pudiendo incrementar su habilidad para bloquear y protegerse de la RUV-B (Caldwell et al. 1989).

Todos los cambios ambientales mencionados anteriormente forman parte de los diferentes procesos descritos dentro de un escenario de cambio climático global, impactando significativamente en la productividad de ambientes terrestres como acuáticos.

### **Radiación UV en macroalgas marinas**

A diferencia del fitoplancton, las macroalgas permanecen gran parte de su ciclo de vida adheridas al mismo lugar físico, por lo cual los mecanismos de respuesta ante situaciones ambientales estresantes son cruciales para la supervivencia al contribuir como lugar de hábitat, refugio y alimento para diversas especies de invertebrados y peces, su respuesta influye en otras especies asociadas.

La gran mayoría de los estudios del efecto de la RUV se han centrado en los estados adultos vegetativos del ciclo de vida, revelando alteraciones fisiológicas que incluyen modificaciones de las tasas de crecimiento (Altamirano et al. 2000, van de Poll et al. 2001, Bañares et al. 2002); fotoinhibición crónica (sin recuperación) y dinámica (con recuperación) de la fotosíntesis (Gómez et al. 1998, 2004); variaciones en los niveles de pigmentos fotosintéticos (Figueroa et al. 1997); incremento en la síntesis de compuestos fotoprotectores (Gómez et al. 1998, Swanson & Druehl 2003, Huovinen et al. 2004); cambios en la actividad enzimática (Gómez et al. 1998, Figueroa & Viñegla 2001) y daños en el ADN (e.g. formación de dímeros de timina) que impiden la actividad de la ARN polimerasa e inhiben la transcripción (Parkker et al. 2000, Buma et al. 2001, van de Poll). Las longitudes de onda de RUV-A han sido relacionadas principalmente con procesos de foto- reactivación de la molécula de ADN, al activar la enzima fotoliasa (Sancar & Sancar 1988).

Sin embargo en condiciones de elevada radiación podría ejercer efectos perjudiciales al causar un aumento en el estrés oxidativo celular (Mora et al. 2000).

A niveles comunitarios, la RUV-A ejercería un efecto negativo al reducir la biodiversidad en los primeros estados sucesionales de comunidades de fondo duro, mientras que la RUV total (UV-A+UVB) reduciría la biomasa total (Wahl et al. 2004).

Mecanismos como síntesis y activación de sustancias (ácido ascórbico, vitamina E, glutatión, carotenos, fenoles) y enzimas antioxidantes (superóxido dismutasa, catalasa, glutatión peroxidasa, ascorbato peroxidasa) estarían involucrados en las respuestas de protección (Franklin & Forster 1997, Aguilera et al. 1999).

Sin embargo, la actividad de estos procesos en algas ha sido poco estudiada por otra parte, si se considera la irradiancia en una base de dosis diaria ( $\text{kJ m}^{-2}$ ), la RUV-A excede en un factor de 10 o más a la dosis total de RUV-B, el mayor efecto dañino de esta última se generaría por unidad de radiación, mientras que el daño generado por UV-A es incrementado por la mayor dosis diaria total recibida por los organismos (Cullen & Neale 1994, Wahl et al. 2004).

A pesar que Chile representa un buen lugar para evaluar la respuesta a la RUV en un gradiente latitudinal y en profundidad, pocos estudios han sido desarrollados en macroalgas.

Gómez et al. (2004) muestra patrones de fotosíntesis para 18 especies de macroalgas intermareales del sur de Chile (Valdivia, 39°S), concluyendo que las especies muestran características de plantas adaptadas al sol, con una reducción del rendimiento quantum efectivo ( $\phi\text{PSII}$ ) hacia el mediodía, con una marcada tolerancia a los niveles altos de radiación que ocurren en verano, y la capacidad fotosintética estaría determinada por la posición batimétrica de las algas.

Los compuestos fotoprotectores del tipo amino-ácidos micosporinas (MAAs) han sido descritos para algas rojas, con concentraciones generalmente altas en localidades geográficas con altas intensidades de irradiación solar (Huovinen et al. 2004).

La gran mayoría de las algas muestran en sus ciclos de vidas una alternancia entre estados ontogénicos, en algunos casos con diferentes morfológicas y tamaño los estados tempranos de desarrollo (microscópicos) constituyen etapas claves para la mantención de poblaciones adultas a través del reclutamiento y crecimiento de una nueva generación (Reed 1990, Coelho et al. 2000) respuestas a la RUV, tanto de los estados adultos como tempranos, han sido relacionadas con los patrones de distribución batimétrica de las distintas especies



(Swanson & Druehl 2000, Wiencke et al. 2000), y con una reducción del reclutamiento en condiciones de elevada intensidad solar (Huovinen et al. 2000, Makarov & Voskoboinikov 2001), en desmedro de la renovación, crecimiento y productividad de la población.

La temprana simplicidad morfológica, estructural y fisiológica de los estados tempranos facilitaría la transmisión y absorción de radiación a través del citoplasma causando daño celular.

La habilidad y éxito de aclimatación a elevadas condiciones lumínicas incrementarían con la edad y tamaño del talo (Hanelt et al. 1997).

Reporta para los primeros estados del desarrollo de dos especies de *Lessonia*, grandes Laminariales de importancia ecológica y económica, una respuesta diferencial a la RUV asociada principalmente al rango de distribución batimétrica (intermareal vs. submareal) y al estado de desarrollo ontogénico (esporas móviles, esporas asentadas, gametofitos, esporofitos juveniles) recibiendo la radiación muestra los BED50 estimados para ambas especies de *Lessonia* y en diferentes estados del desarrollo, apreciándose un incremento en la tolerancia a la RUV-B con el aumento en el desarrollo del organismo, y para la especie intermareal, *L. nigrescens* para esporas del alga roja *Chondracanthus chamiso* (C.Agardh) Kützing existe antecedentes que indicarían que tetrasporas (2n) serían más resistente que cistocarpos (n), ambas con una mayor resistencia que esporas de *Lessonia* y sin efecto a largo plazo del UV (Véliz & Bulboa, datos sin publicar).

Mecanismos como:

- fotoinhibición dinámica, foto-protegiendo al FSII a través de la disipación del exceso de energía como energía termal
  - actividad del ciclo de las xantofilas, con la formación de zeaxantina en algas verdes (*Chlorophytas*) y pardas (*Phaeophyceae*)
  - movimiento de cloroplastos, movimiento hacia posiciones paralelas con respecto a la luz, disminuyendo el daño
  - síntesis de compuestos pantallas o protectores como caroteonides, fenoles, MAAs (Hanelt et al 1997, Häder & Figueroa 1997, Swanson & Druehl 2003, Huovinen et al. 2004), estarían actuando como importantes mecanismos de foto-protección ante condiciones de exceso de radiación solar, principalmente UV-B.
- de que forma logren sobrevivir y adaptarse durante su todas sus etapas del desarrollo las algas a agentes estresante, podrá

repercutir en cambios del crecimiento, reproducción y productividad, así como especies relacionadas dentro de la comunidad.

### **2.3.5. Servicios ecosistémicos**

Los “servicios ecosistémicos” son aquellos beneficios que la gente obtiene de los ecosistemas esos beneficios pueden ser de dos tipos: directos e indirectos.

Se consideran beneficios directos la producción de provisiones –agua y alimentos (servicios de aprovisionamiento), o la regulación de ciclos como las inundaciones, degradación de los suelos, desecación y salinización, pestes y enfermedades (servicios de regulación).

Los beneficios indirectos se relacionan con el funcionamiento de procesos del ecosistema que genera los servicios directos (servicios de apoyo), como el proceso de fotosíntesis y la formación y almacenamiento de materia orgánica; el ciclo de nutrientes; la creación y asimilación del suelo y la neutralización de desechos tóxicos.

Los ecosistemas también ofrecen beneficios no materiales, como los valores estéticos y espirituales y culturales, o las oportunidades de recreación (servicios culturales).

Existe, entonces, una amplia gama de servicios ecosistémicos, algunos de los cuales benefician a la gente directamente y otros de manera indirecta. obviamente, el cambio de uso del suelo también hace una diferencia en cuanto al tipo de servicios que el ecosistema puede producir algunos servicios se consideran “bienes públicos”, de cuyo disfrute no se puede excluir a nadie; el uso de ese servicio por una persona no disminuye significativamente la disponibilidad del mismo para otros usuarios sin embargo, la gente puede degradar la capacidad del ecosistema de seguir ofreciendo el servicio, ya sea porque se cambia la composición y estructura del sistema o su funcionamiento, o porque se extraen materiales del ecosistema a un ritmo superior a su capacidad de recuperación el pago por los servicios del ecosistema busca ofrecer un incentivo a los usuarios de la tierra para que no degraden los ecosistemas y sus servicios y para que más bien los protejan.

A menos que los diferentes elementos de un ecosistema –y por lo tanto los varios servicios que ofrece – estén funcionalmente interconectados, es más probable que un comprador de “servicios ecosistémicos” (más comúnmente conocidos como servicios ambientales) esté interesado en

los beneficios mensurables, o al menos verificables, de un servicio en particular, más que en la totalidad de los mismos.

El manejo necesario para ofrecer esos servicios también variará según el servicio ofrecido por ello, los servicios ambientales se clasifican en cuatro categorías.

- A. Servicios de aprovisionamiento de los bienes en sí, como alimentos, agua, madera y fibras.
- B. Servicios de regulación del clima y las precipitaciones del agua (por ejemplo, las inundaciones), de los residuos y de la propagación de enfermedades.
- C. Servicios culturales que proporcionan la belleza, inspiración y los valores recreativos que contribuyen a nuestro bienestar espiritual.
- D. Servicios esenciales u de soporte, como la formación del suelo, la fotosíntesis y el ciclo de los nutrientes, que son el sustento del crecimiento y la producción.

## CAPITULO III

### SOLUCIÓN PROPUESTA

#### 3.1 Generalidades

El formato de estudio que aplicará en esta investigación se desarrolló utilizando la metodología del Ministerio del Ambiente del Perú implementado por el Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático basándose en el libro Estimación de los contenidos de carbono de la biomasa aérea en los bosques de Perú.

La Tesis a desarrollar, pretende realizar estudios en el prado de algas marinas el cual interviene en el Subproceso de la captura de carbono por *caulerpa filiformis* (*suhr.*) hering.

El formato de estudio será la herramienta a aplicar para lograr cumplir el objetivo propuesto, soportando al Subproceso de la captura de carbono, el cual permitirá que este estudio tenga una finalidad como servicio eco sistémico.

#### 3.2 Estudio de factibilidad

Para aceptar una solución, es necesario evaluar los recursos que se tienen, las restricciones presentes en el contexto en las que esta solución será la más cercana a la ideal, por este fin es necesario evaluar las factibilidades que involucra dicha solución.

##### 3.2.1 Factibilidad técnica

En el estudio de la factibilidad técnica se busca cumplir con los requerimientos técnicos necesarios para desarrollar la tecnología propuesta, por lo cual se buscan los componentes y elementos para su implementación.

##### **Descripción de las técnicas para el desarrollo tecnológico.**

- A. Muestreo de playa:** se recolectara muestras de algas que van a parar en la costa de playa de paracas

**B. Comparación de peso de las muestras de algas entre la captura de carbono:** se estimara la captura de carbono del prado de algas mediante su tasa de baracion la cual podrá permitirnos darnos una idea de su capacidad de renovación algas nuevas en crecimiento las cuales absorben carbono y la continuidad este ciclo de renovación mediante una fórmula de que determinara la capacidad de carbono absorbido por el prado.

**C. calculo de la distribución de la pradera:** se estimara el total de carbono captado mediante el área total de prado de algas.

#### **Descripción de los instrumentos para el desarrollo tecnológico.**

**D. Mapas del área de distribución de las praderas de C. filiformis:** material gráfico que describe el área de nuestro estudio

**E. Equipo Posicionador Satelital Portátil, Sistema de Posicionamiento Global (GPS):** equipo que no indicara las coordenadas de los puntos de las áreas que examinaremos.

**F. Cámara fotográfica:** equipo para referencias visuales en lo largo de la ejecución del trabajo.

**G. Ficha de registro en campo:** material de nota que argumentara cada análisis y etapa del proyecto.

#### **3.2.2 Factibilidad operativa**

El prado de algas consta con estudios realizados que contribuyen a la fluidez de nuestra idea los cuales sustentan y prueban la operabilidad de la hipótesis del área de estudio y la biomasa que ocupa este son variantes que se utiliza para demostrar la captación de carbono por medio del área que ocupa la *Caulerpa filiformis* (Suhr.) Hering.

#### **3.2.3 Factibilidad económica**

Se ha tomado en consideración todas aquellas variables sensibles a la puesta en marcha del proyecto, definiendo así el presupuesto de inversión, tomando en consideración los requerimientos de recursos tecnológicos y humanos para ello, ha sido necesario revisar y estudiar el comportamiento

de cada componente asociado al ciclo del desarrollo los cuales muestran sus gastos en el presupuesto del estudio realizado.

#### **3.2.4 Factibilidad legal**

Se define que este estudio tiene un grado de manejo factible en relación que hay una ley que justifica la importancia del manejo sustentable y los aportes que brinda el prado de algas hacia su entorno como servicio eco sistémico de acuerdo a la ley general del ambiente ley 28611. Decreto supremo n° 006-2008-minam.

### **3.3 Análisis del área Caulerpa Filiformis (Suhr.) Hering en la Bahía de Paracas**

#### **3.3.1 Evaluación de la distribución de caulerpa filiformis en la Bahía de Paracas**

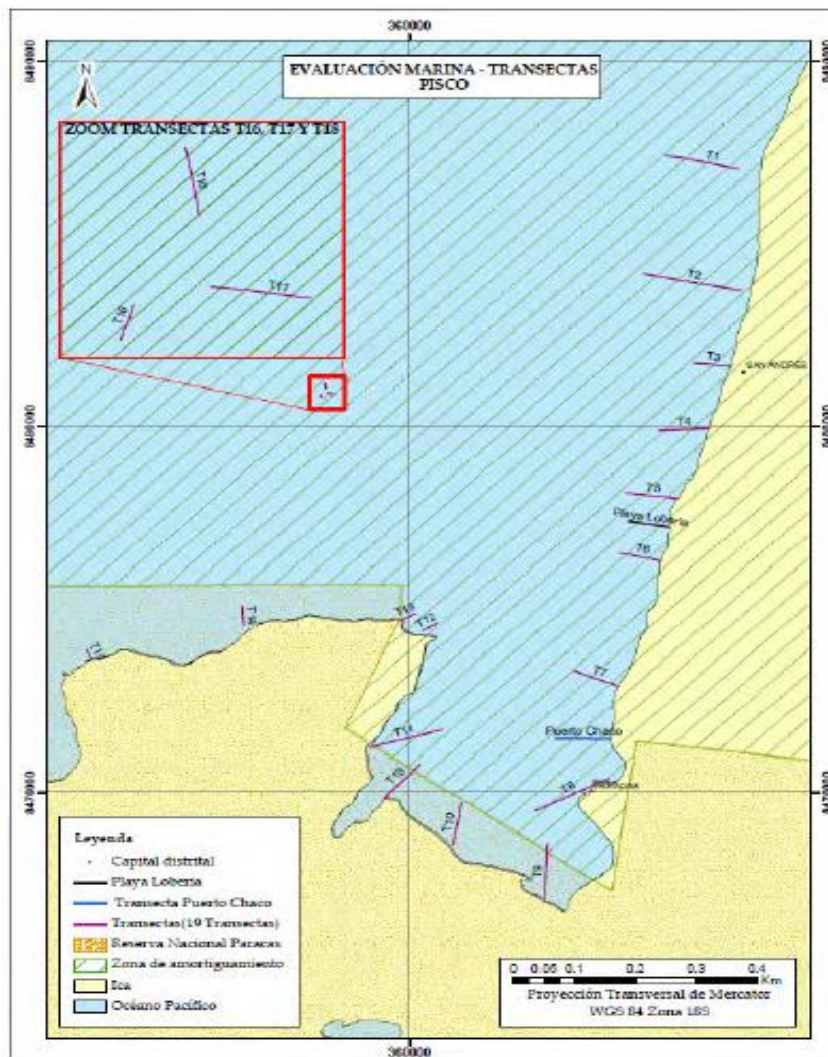
Esta evaluación se realizó para determinar las principales áreas donde se evidencia la presencia de Caulerpa filiformis, formando praderas con distribución significativa.

La evaluación consistió en la investigación base de IMARPE la cual utilizamos como fuente de información esta ejecuta la verificación visual de la especie, mediante buceo autónomo y semi-autónomo, utilizando para ello una embarcación con compresora de aire equipado con tanques de buceo autónomo (SCUBA) para la Bahía de Paracas, se contempló la evaluación de las 19 transectas evaluadas el año anterior para febrero 2011 y dos transectas adicionales en el Puerto Chaco y en Playa Lobería).

En lo que respecta a Lagunillas y Laguna Grande, las cuales son parte de la bahía de paracas se evaluaron 11 estaciones en cada área; para Lagunillas se evaluaron 06 estaciones ubicadas entre 3 - 4 m de profundidad y 05 estaciones entre 5 – 6 m de profundidad; mientras que en laguna Grande se evaluaron 06 estaciones a 2 m de profundidad, 02 estaciones a 3 m de profundidad y 03 estaciones a 5 m de profundidad.

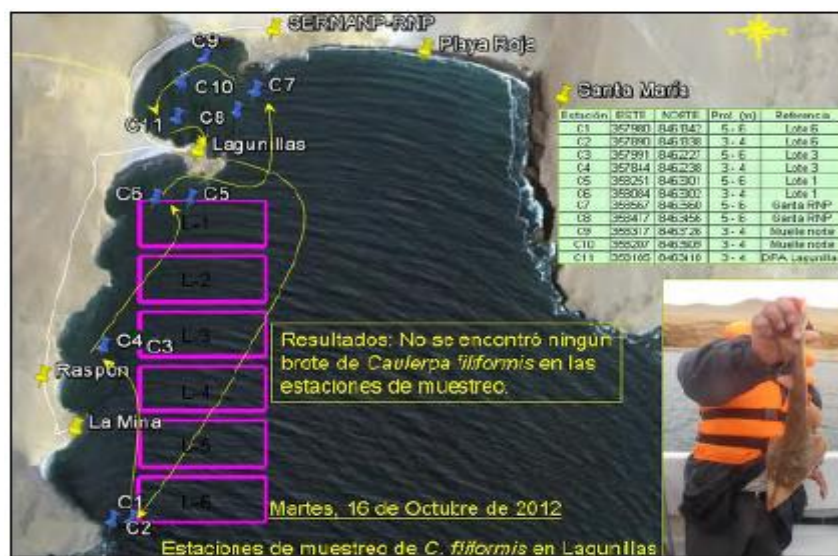
Una vez identificada la presencia de C. filiformis, se procedió a registrar su distribución y posición a través de GPS, con su consiguiente reconfirmación de las ubicaciones y los datos batimétricos presentados en un mapa con las transectas de evaluación. Adicionalmente, se llevó a cabo un registro fotográfico de los hallazgos como complemento del reporte inicial.

Figura N° 02: mapa de puntos de distribución de c.filiformes en la Bahía de Paracas



Fuente: ERM.

Figura N° 03: mapa de puntos de distribución de c.filiformes en lagunilla



Fuente: ERM.

Figura N° 04: mapa de puntos de distribución de c.filiformes en laguna grande



Fuente: ERM.

Para determinar el área de distribución de la *Caulerpa filiformis* se empleó el estadístico de la componente espacial, que hace referencia a la posición geográfica, expresada como Longitud y Latitud; y, la componente temática que detalla los atributos (área en Ha) para cada una de las coordenadas geográficas y que son representadas en los mapas.

La información espacial es susceptible de ser analizada estadísticamente como cualquier otro tipo de información (Olaya, 2014).

Las medidas centrográficas representan descriptores básicos de los datos espaciales, la principal medida es el centro medio.

El centro medio es un punto cuyas coordenadas son la media en cada eje de las coordenadas de los puntos analizados; es decir, el punto  $(\overline{lon}, \overline{lat})$ , tal que:

$$\overline{lon} = \frac{\sum_{i=1}^n lon_i}{n}$$

$$\overline{lat} = \frac{\sum_{i=1}^n lat_i}{n}$$



El equivalente a la desviación típica es la denominada distancia típica, cuya expresión es la siguiente:

$$\text{Donde: } s_d = \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^n lon_i^2}{n} - \overline{lon}^2\right) + \left(\frac{\sum_{i=1}^n lat_i^2}{n} - \overline{lat}^2\right)}$$

$lon_i$  = longitud geográfica

$lat_i$  = latitud geográfica

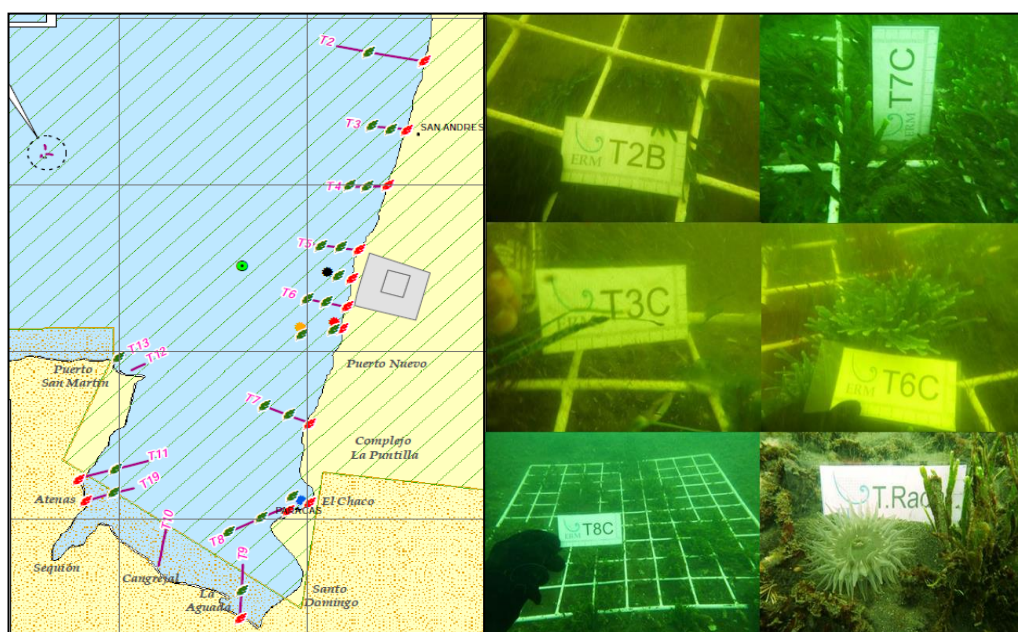
$n$  = número de datos geográficos

Los resultados del centro medio y distancia típica fueron empleados para representar la distribución espacial media del área de distribución de la *Caulerpa filiformis* en la bahía de Paracas.

### 3.3.2 Evaluación de cobertura, área de distribución, densidad relativa, *Caulerpa filiformis* en la Bahía de Paracas

En los puntos o estaciones en las cuales se observó presencia de *C. filiformis* se llevó a cabo la evaluación de cobertura porcentual empleando un cuadrado metálico de 1 m<sup>2</sup> subdividida en fracciones de 10 cm x 10 cm

**Figura N° 05: mapa de puntos de medida de área y biomasa de c.filiformes en la bahía de paracas**



**Fuente: ERM.**

Análisis estadísticos de centralización y dispersión

Los valores de las medidas de tendencia central (media, mediana y moda), de dispersión (desviación estándar, varianza y coeficiente de variación), y de posición (cuartiles, deciles y percentiles), fueron estimados, de acuerdo a las fórmulas de estadística descriptiva para datos agrupados:

Media ( $\bar{x}$ ):

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^k f_i x_i}{n}$$

Mediana ( $Me$ ):

$$Me = L_{i-1} + \frac{\left(\frac{n}{2} - N_{i-1}\right)}{n_i} * a$$

Moda ( $Mo$ ):

$$Mo = L_{i-1} + \frac{n_{i+1}}{n_{i+1} + n_{i-1}} * a$$

Desviación estándar ( $S$ ):

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 * n_i}{n - 1}}$$

Varianza ( $S^2$ ):

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 * n_i}{n - 1}$$

Coeficiente de variación ( $C.V.$ ):

$$C.V. = \left(\frac{S}{\bar{x}}\right) * 100$$

Cuartil ( $Q_i$ ):

$$Q_k = L_{i-1} + \frac{\left(\frac{k * n}{4} - N_{i-1}\right)}{n_i} * a \quad k = 1, 2, 3$$

Decil ( $D_i$ ):

$$D_k = L_{i-1} + \frac{\left(\frac{k * n}{10} - N_{i-1}\right)}{n_i} * a \quad k = 1, 2, \dots, 9$$

Percentil ( $P_i$ ):

$$P_k = L_{i-1} + \frac{\left(\frac{k * n}{100} - N_{i-1}\right)}{n_i} * a \quad k = 1, 2, \dots, 99$$

Donde:

$L_{i-1}$  = límite inferior del intervalo analizado

$a$  = amplitud de clase

$n_{i-1}$  = frecuencia absoluta anterior al intervalo analizado

$n_{i+1}$  = frecuencia absoluta posterior al intervalo analizado

$n$  = número de datos

$N_{i-1}$  = frec. abs. acum. anterior al intervalo analizado

$x_i$  = marca de clase

Cálculos estadísticos para determinar la biomasa poblacional de *Caulerpa filiformis* en la bahía de Paracas

Los datos contenidos en las matrices de biomasa poblacional fueron empleados para calcularla biomasa media y la varianza respectiva, según:

Biomasa por estación de muestreo ( $b_i$ ):

$$b_i = \sum x_{b1} \dots \dots \dots x_{bn}$$

Biomasa media ( $\bar{B}$ ):

$$\bar{B} = \frac{1}{n_r} \sum_{i=1}^n b_i$$

Varianza de la biomasa media ( $V(\bar{B})$ ):

$$V(\bar{B}) = \frac{\sum_{i=1}^n (b_i - \bar{B})^2}{n_r - 1}$$

Donde:

$x_{b1\dots n}$  = peso de todos los ejemplares en cada réplica

$n_r$  = número de réplicas

Los cálculos estadísticos de la captura de carbono por el alga *Caulerpa filiformis* en la bahía Paracas es como sigue:

La biomasa tenida en cuenta para el estudio, fue aquella contenida en los individuos de cosecha, (o también denominada biomasa útil) se hizo el cálculo pasando el peso de la biomasa útil contenida en la parcela original a la cantidad contenida en las hectáreas (unidad de medida sobre la cual se elaboran los cálculos del presente estudio principalmente). Este parámetro fue calculado para fincas y departamentos (promedio de fincas), a continuación se expone la fórmula utilizada para hacer los cálculos (con base en garcia, 2002)

$$B_A = \frac{B_{UTA} * U_A}{A}$$

Donde:

$B_A$  = Rendimientos de biomasa (Ton/10.000 mts<sup>2</sup> ó Ton/ha) de la especie

$U_A$  = Unidad de área (ha transformada a mts<sup>2</sup>)

$B_{UTA}$  = Biomasa útil (Ton) contenida en área muestreada (mts<sup>2</sup>)

$A$  = Área muestreada (mts<sup>2</sup>)

### 3.4 Contraste de hipótesis

Se realizaron análisis estadísticos para contrastar la hipótesis nula de que es posible estimar la cantidad de carbono capturado por *Caulerpa filiformis* en la bahía de Paracas, frente a la hipótesis alternativa (propuesta en esta Tesis) de que no es posible realizarlo, en cuanto a su valor esperado.

$$H_0 \rightarrow u_1 = u_2 = u_3 = u_4$$

$$H_1 \rightarrow u_1 \neq u_2 \neq u_3 \neq u_4$$

Para determinar el método estadístico apropiado que permita tomar la decisión correcta de aceptar o rechazar la hipótesis planteada, en primer lugar, se realizaron pruebas estadísticas para comprobar si las poblaciones tienen una distribución normal (criterio de normalidad); las muestras son independientes (obtenidas por muestreo aleatorio simple); y, las varianzas son homogéneas (criterio de homocedasticidad) (Field, 2013; Gravetter&Wallnau, 2016).

La prueba de normalidad se realizó empleando el Test de Kolmogórov-Smirnov.

Cuando ésta prueba se aplica para contrastar la hipótesis de normalidad de la población, el estadístico de prueba es la máxima diferencia:

$$D = \max|F_1(x_i) - F_0(X_i)|$$

$$F_n(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \begin{cases} 1 & \text{si } y_i \leq x_i \\ 0 & \text{alternativa} \end{cases}$$

Donde:

$F_n(x)$  = frecuencias relativas acumuladas

$D$  = estadístico para compara con datos de la tabla  $K - S$

La distribución del estadístico de Kolmogorov-Smirnov es independiente de la distribución poblacional especificada en la hipótesis nula y los valores críticos de este estadístico se presentan en una tabla.

Si la distribución postulada es la normal y se estiman sus parámetros, los valores críticos se obtienen aplicando la corrección de significación propuesta por Lilliefors (Leech et al, 2015).

También se realizó el Test de Shapiro-Wilk, para efectuarla se calculó la media y la varianza muestral, y se ordenaron las observaciones de menor a mayor.

Luego se calcularon las diferencias entre el primero y el último; el segundo y el penúltimo; el tercero y el antepenúltimo, etc.

La hipótesis nula de normalidad es rechazada si el estadístico  $W$  es menor que el valor crítico proporcionado por la tabla elaborada por los autores para el tamaño muestral y el nivel de significación dado.

El estadístico de prueba es:

$$SW = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Donde:

$x_i$  = número que ocupa la  $i$  - ésima posición en la muestra

$\bar{x}$  = media muestral

$a_i$  se calcula:

$$(a_1, \dots, 1a_n) = \frac{m^T V^{-1}}{(m^T V^{-1} V^{-1} m)^{1/2}}$$

Siendo:

$m = (m_1, \dots, m_n)^T = \text{valores medios del estadístico ordenado}$

$V = \text{matriz de covarianzas del estadístico ordenado}$

La evaluación de la homogeneidad de varianzas se realizó mediante la aplicación del Test de Levene, según:

$$W = \frac{(N - k) \sum_{i=1}^k N_i (Z_{i-} - Z_{..})^2}{(k - 1) \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (Z_{ij} - Z_{i-})^2}$$

Donde:

$k = \text{número de diferentes grupos}$

$N = \text{número total de casos en todos los grupos}$

$N_i = \text{número de casos en el grupo } i$

$$Z_{..} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{N_i} Z_{ij} \text{ es la media de } Z_{ij}$$

$$Z_{i-} = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} Z_{ij} \text{ es la media de } Z_{ij} \text{ para el grupo } i -$$

$$Z_{ij} = \begin{cases} |Y_{ij} - \bar{Y}_{i-}|, & \bar{Y}_{i-} \text{ es la media del "i" ésimo grupo} \\ |Y_{ij} - \tilde{Y}_{i-}|, & \tilde{Y}_{i-} \text{ es la mediana del "i" ésimo grupo} \end{cases}$$

$Y_{ij} = \text{es el valor de la variable para el } j \text{ ésimo caso del } i \text{ ésimo grupo}$

La significancia de  $W$  se prueba contra  $F(\alpha, k - 1, N - k)$  donde  $F$  es un cuantil del test de distribución F,  $k - 1$  y  $N - k$  son los grados de libertad, y  $\alpha$  es el nivel de significancia elegido (0,05 o 0,01).

En el caso que los resultados muestren los supuestos de normalidad y homocedasticidad, el contraste de hipótesis para determinar la igualdad de las poblaciones se realiza con el análisis de varianza (ANOVA).

Las expresiones matemáticas empleadas para el cálculo de los elementos que intervienen en el ANOVA son las siguientes:

Media Global:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij}}{n}$$

Variación Total:

$$SCT = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x})^2$$

Variación Intra-grupos:

$$SCD = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x}_j)^2$$

Variación Inter-grupos:

$$SCE = \sum_{j=1}^K (\bar{x}_j - \bar{x})^2 n_j$$

Donde:

$x_{ij}$  = i - ésimo valor de la muestra j - ésima

$n_j$  = tamaño de muestra

$\bar{x}_j$  = media de la muestra

En el ANOVA el contraste de hipótesis se realiza con el estadístico F de Fisher-Snedecor, según:

$$F = \frac{\left(\frac{RSS_0 - RSS_1}{m}\right)}{\left(\frac{1 - RSS_0}{n - k}\right)}$$

Donde:

$RSS_0$  = coeficiente de determinación del modelo sin restringir ( $R^2$ )

$RSS_1$  = coeficiente de determinación del modelo restringido ( $R^2$ )

$m$  = número de restricciones impuestas a los coeficientes estimados

$k$  = número de coeficientes estimados en el modelo sin restricciones

$n$  = número de observaciones del modelo

En el caso que los resultados no muestren los supuestos de normalidad y homocedasticidad, el contraste de hipótesis para determinar la igualdad de las poblaciones se realiza con análisis no paramétricos, siendo la prueba K de Kruskal-Wallis aplicable para varias muestras independientes.

Esta prueba se denota por:

$$K = (N - 1) \frac{\sum_{i=1}^g n_i (\bar{r}_i - \bar{r})^2}{\sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^{n_i} (r_{ij} - \bar{r})^2}$$

Donde:

$$n_i = \text{número de observaciones en el grupo } i$$

$$r_{ij} = \text{rango de la observación } j \text{ en el grupo } i$$

$$N = \text{es el número total de observaciones entre todos los grupos}$$

$$\bar{r}_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} r_{ij}}{n_i}$$

$$\bar{r} = \frac{(n+1)}{2} \text{ es el promedio de } r_{ij}$$

Asimismo, se realizará la prueba de la mediana, que es similar a la prueba de Chi-cuadrado con la diferencia que en lugar de utilizar dos variables categóricas, una de ellas es cuantitativa y se dicotomiza utilizando la mediana, según:

$$Mdn = \frac{(X_{[n/2]} + X_{[n/2+1]})}{2} \quad \text{si } n \text{ es par}$$

$$Mdn = X_{[(n+1)/2]} \quad \text{si } n \text{ es impar}$$

Donde:

$X_{[n]}$  = número mayor

$X_{[1]}$  = número menor

La variación latitudinal de la estructura poblacional de *L. trabeculata* en las regiones Ica, Arequipa, Moquegua y Tacna se observa con los gráficos y mapas presentados; sin embargo, se utilizaron pruebas estadísticas para demostrar la hipótesis planteada.

Para determinar la normalidad de los datos poblacionales se realizó el análisis exploratorio de los datos, los resultados se muestran en la siguiente Tabla:

**Tabla N° 01.- Estadística descriptiva de los principales parámetros poblacionales de *L.Caulerpa filiformis* del sur del Perú, durante 2004 – 2014.**

Descriptive Statistics					
	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
Densidad	1435	3,261	2,2642	0,3	16,5
Biomasa	1435	13,772	14,3011	0,0	122,3
DMR	1435	19,242	6,7217	1,0	48,0
Longitud	1435	207,124	62,7415	27,7	457,0
Peso	1435	4627,054	4435,8967	5,0	65000,0
Fronas Fértiles	1253	68,266	36,3685	0,0	100,0



Si los datos presentan una distribución normal, se procederá a realizar el contraste de hipótesis empleando ANOVA, caso contrario se utilizarán estadísticos no paramétricos, en la Tabla 05 se muestran los resultados de la prueba de Kolmogórov-Smirnov.

**Tabla N° 02.- Prueba de Kolmogórov-Smirnov para determinar la normalidad de los datos de la estructura poblacional de *L.Caulerpa filiformis* en el sur del Perú.**

One-SampleKolmogorov-Smirnov Test							
		Densidad	Biomasa	DMR	Longitud	Peso	Frondas Fértiles
N		1435	1435	1435	1435	1435	1253
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	3,261	13,772	19,242	207,124	4627,054	68,266
	Std. Deviation	2,264	14,301	6,722	62,742	4435,896	36,369
Most Extreme Differences	Absolute	0,134	0,168	0,028	0,047	0,149	0,238
	Positive	0,134	0,135	0,028	0,029	0,134	0,191
	Negative	-0,098	-0,168	-0,025	-0,047	-0,149	-0,238
Test Statistic		0,134	0,168	0,028	0,047	0,149	0,238
Asymp. Sig. (2-tailed)		0,000 <sup>c</sup>	0,000 <sup>c</sup>	0,010 <sup>c</sup>	0,000 <sup>c</sup>	0,000 <sup>c</sup>	0,000 <sup>c</sup>

a. Test distributionis Normal.

b. Calculatedfrom data.

c. LillieforsSignificanceCorrection.

No obstante los resultados obtenidos, se realizó el test de normalidad (que incluye nuevamente Kolmogórov-Smirnov y añade Shapiro-Wilk), para verificar la normalidad de las variables poblacionales estudiadas (Tabla 06).

**Tabla N° 03.- Test de Normalidad de la estructura poblacional de *L. Caulerpa filiformis* en el sur del Perú, durante 2004 – 2014.**

Tests of Normality							
	Región	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Densidad	Ica	0,087	500	0,000	0,927	500	0,000
	Arequipa	0,127	582	0,000	0,923	582	0,000
	Moquegua	0,182	150	0,000	0,819	150	0,000
	Tacna	0,285	21	0,000	0,714	21	0,000
Biomasa	Ica	0,194	500	0,000	0,775	500	0,000
	Arequipa	0,124	582	0,000	0,827	582	0,000
	Moquegua	0,173	150	0,000	0,766	150	0,000
	Tacna	0,187	21	0,053	0,875	21	0,012
DMR	Ica	0,021	500	0,200 <sup>*</sup>	0,996	500	0,167
	Arequipa	0,057	582	0,000	0,976	582	0,000
	Moquegua	0,058	150	0,200 <sup>*</sup>	0,973	150	0,004

	Tacna	0,176	21	0,088	0,875	21	0,012
Longitud	Ica	0,055	500	0,001	0,972	500	0,000
Total	Arequipa	0,030	582	0,200*	0,996	582	0,119
	Moquegua	0,069	150	0,076	0,984	150	0,074
	Tacna	0,151	21	0,200*	0,959	21	0,487
Peso	Ica	0,134	500	0,000	0,858	500	0,000
	Arequipa	0,131	582	0,000	0,742	582	0,000
	Moquegua	0,110	150	0,000	0,958	150	0,000
	Tacna	0,206	21	0,021	0,719	21	0,000
Fronδας	Ica	0,182	500	0,000	0,842	500	0,000
Fértiles	Arequipa	0,281	582	0,000	0,756	582	0,000
	Moquegua	0,264	150	0,000	0,786	150	0,000
	Tacna	0,183	21	0,066	0,822	21	0,001

Puesto que el valor del nivel crítico de la prueba Kolmogórov-Smirnovy de Shapiro-Wilk son muy pequeños (significación asintótica bilateral [Asymp. Sig. (2-tailed)], menor que 0,05, se rechaza la hipótesis de normalidad y se concluye que las variables poblacionales densidad, biomasa, DMR, LT, PI y fertilidad no se ajustan a una distribución normal.

Asimismo, los valores del nivel crítico de significancia ( $< 0,05$ ) obtenidos en el Test de Levene, muestran que no hay homogeneidad de varianzas (Tabla 07).

**Tabla N° 04.- Prueba de homogeneidad de varianzas o Test de Levene, de la estructura poblacional de *L. Caulerpa filiformis* en el sur del Perú, 2004 – 2014.**

	LeveneStatistic	df1	df2	Sig.
Densidad	17,576	3	1431	0,000
Biomasa	11,297	3	1431	0,000
DMR	15,093	3	1431	0,000
Longitud	11,506	3	1431	0,000
Peso	37,473	3	1431	0,000
Fronδας Fértiles	6,242	3	1249	0,000

Las pruebas realizadas permiten determinar que no se cumplen con los supuestos de normalidad y homocedasticidad, necesarios para realizar el ANOVA; por tanto, se opta por desarrollar pruebas no paramétricas para contrastar la hipótesis planteada.

Las pruebas no paramétricas Kruskal Wallis y de la Mediana, muestran que existen diferencias significativas entre las poblaciones de *Caulerpa filiformis* de las regiones estudiadas (significancia asintótica < 0,05), según se muestra en las Tablas 08 y 09.

**Tabla N° 05.- Prueba estadística de Kruskal Wallis de la estructura poblacional de *L. Caulerpa filiformis* en el sur del Perú, durante 2004 – 2014.**

Test Statistics <sup>a,b</sup>						
	Densidad	Biomasa	DMR	Longitud total	Peso	Fronchas Fértiles
Chi-Square	9,290	223,550	202,229	79,012	355,100	39,548
df	3	3	3	3	3	3
Asymp. Sig.	0,026	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

**Tabla N° 06.- Prueba estadística de la Mediana sobre la estructura poblacional de *L. Caulerpa filiformis* en el sur del Perú, durante 2004 – 2014.**

Test Statistics <sup>a,b</sup>						
	Densidad	Biomasa	DMR	Longitud	Peso	Fronchas Fértiles
N	1435	1435	1435	1435	1435	1253
Median	2,667	9,850	19,083	212,333	3557,143	83,333
df	3	3	3	3	3	3
Asymp. Sig.	,010	,000	,000	,000	,000	,000

En base a los resultados obtenidos, se demuestra la hipótesis que la ubicación latitudinal genera variación en la estructura poblacional de *L. Caulerpa filiformis* en el litoral sur del Perú.

## CAPITULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

#### 4.1 Análisis de los resultados

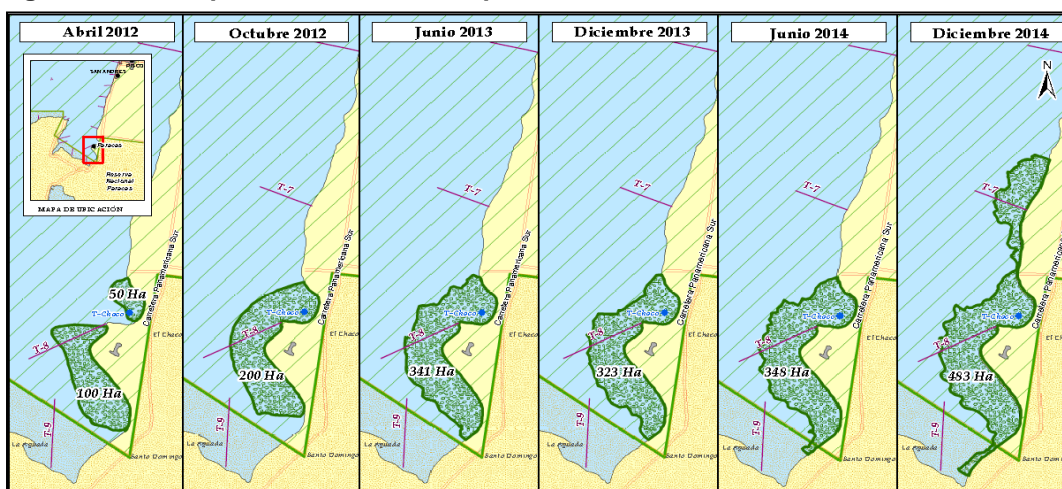
A continuación se despliegan los resultados obtenidos de la prueba de campo realizada, tanto para la variable independiente como para los grupos de control y experimental de la variable dependiente, aplicando las métricas correspondientes a los indicadores seleccionados dichos resultados son sometidos a un minucioso análisis para extraer los principales rasgos de su comportamiento y, de este modo tener elementos de juicio para interpretar de manera global el comportamiento de las dos variables involucradas.

El grafico simboliza el crecimiento del alga *Caulerpa filiformis* y como este sistema natural es interpretado según nuestro estudio como servicio eco sistémico

La línea roja del grafico entiende años y biomasa lo cual quiere decir que es el tiempo de crecimiento de la materia orgánica *Caulerpa filiformis* se mantiene estable teniendo altibajos leves pero su porcentaje es estable según muestra nuestro gráfico y el mapa de crecimiento

La línea azul muestra años y área que define cuanto terreno se extiende el prado de algas *Caulerpa filiformis*.

Figura N° 06: mapa de crecimiento de prado de c.filiformes en la Bahía de Paracas

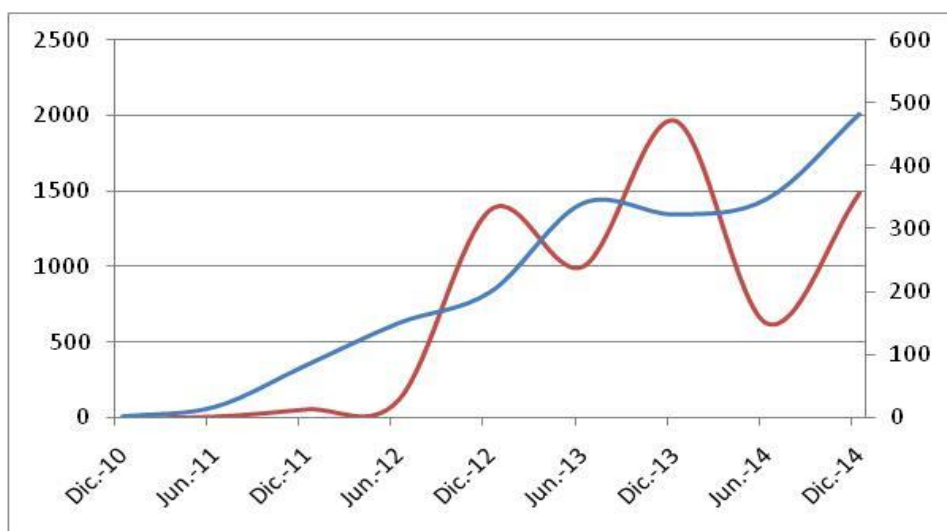


Fuente: ERM.

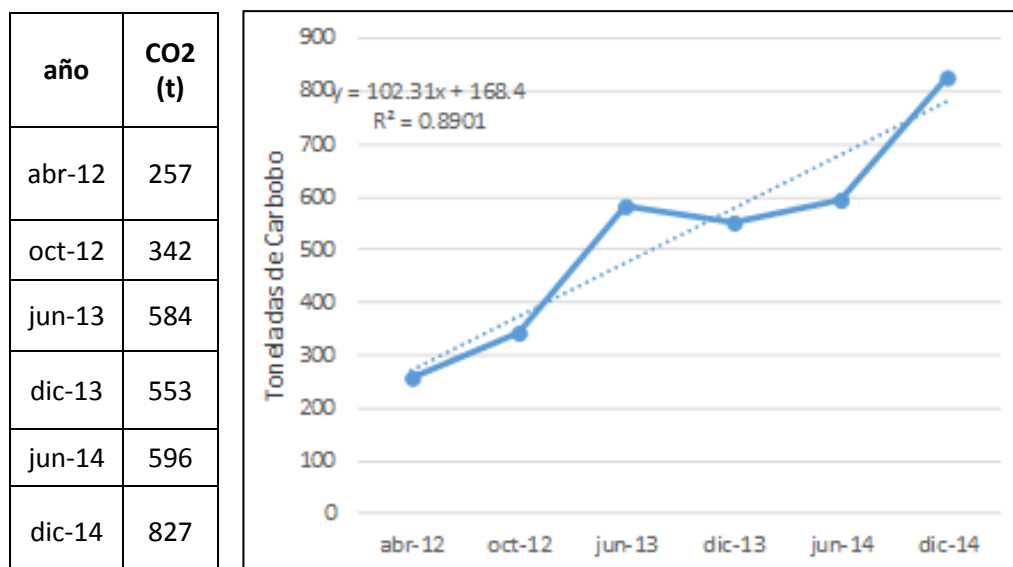
**Tabla N° 07.- Prueba estadística sobre capacidad de captación de la biomasa del  
ares de c. filiformes de la Bahía de Paracas**

Biomasa total	Año	Año	Biomasa media (gr / m <sup>2</sup> )	área (ha)	Biomasa (t)	CO2 (t)	Ganancia por periodo	CO2/ha
40	2010	Dic-10	6	1	0	0		0.02
400	2011	Jun-11	57	16	9	3	3	0.21
481	2011	Dic-11	69	83	57	21	17	0.25
562	2012	Jun-12	80	150	120	44	23	0.29
4821	2012	Dic-12	689	200	1377	500	456	2.50
2054	2013	Jun-13	293	341	1001	363	-137	1.06
4254	2013	Dic-13	608	323	1963	712	349	2.21
1254	2014	Jun-14	179	348	623	226	-486	0.65
2150	2014	Dic-14	307	483	1484	538	312	1.11

**Grafico N°01.- muestra del crecimiento c. filiformes de la Bahía de Paracas**



**Grafico N°02.- crecimiento continuo c. filiformes de la Bahía de Paracas**



#### 4.1.1 Hipótesis de Investigación

**H1:** Si es posible estimar la cantidad de carbono capturado por *Caulerpa filiformis* en la bahía de Paracas.

#### 4.1.2 Hipótesis Estadística

**H1:**  $r_{XY} = 0$

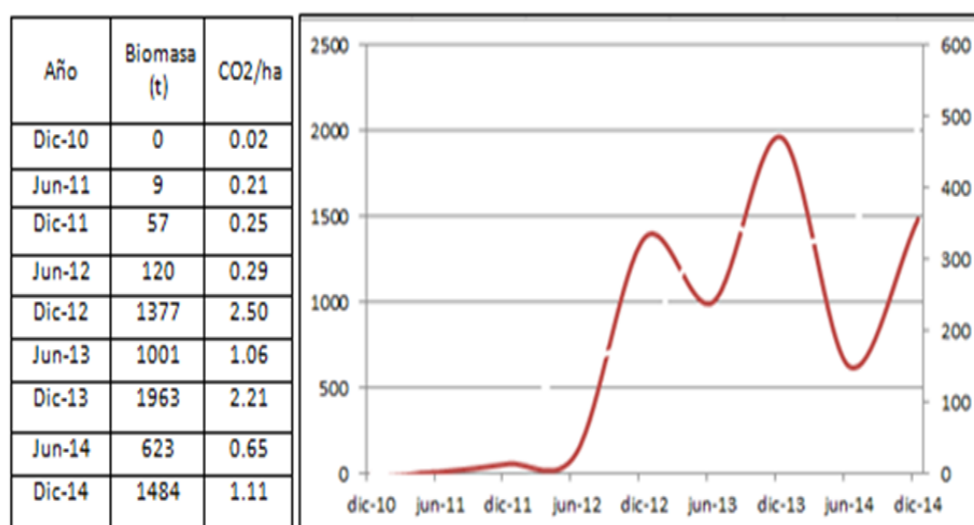
Existe correlación (**r**) entre la variable independiente(**X**) (Distribución y biomasa de *Caulerpa filiformis*) y la variable dependiente (**Y**) (Carbono capturado por *Caulerpa filiformis*).

### 4.2 Prueba estadística utilizada

#### 4.2.1 Prueba de Hipótesis para el indicador Eficiencia

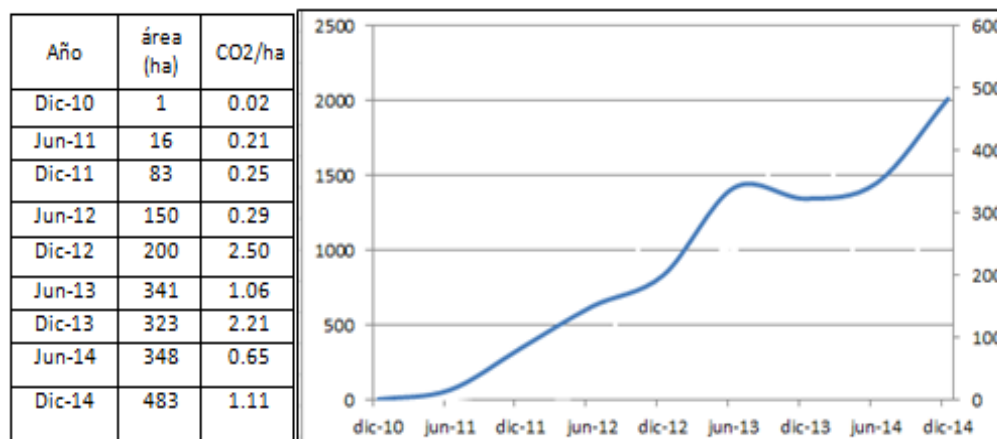
La tesis es eficiente por la razón que el prado de algas siempre se renueva esto demanda un ciclo perpetuo de absorción de carbono cosa que no pasa con los bosque ya que los arboles tienen un finito al crecer a su máximo desarrollo su captación baja

**Gráfico N°03.- crecimiento de biomasa, años c. filiformes de la bahía de paracas**



#### 4.2.2 Prueba de Hipótesis para el indicador Eficacia

Este estudio demuestra su eficacia ya que esta clase de ecosistema capta más carbono que los bosques por su renovación habitual y continua lo cual es el objeto de nuestra investigación

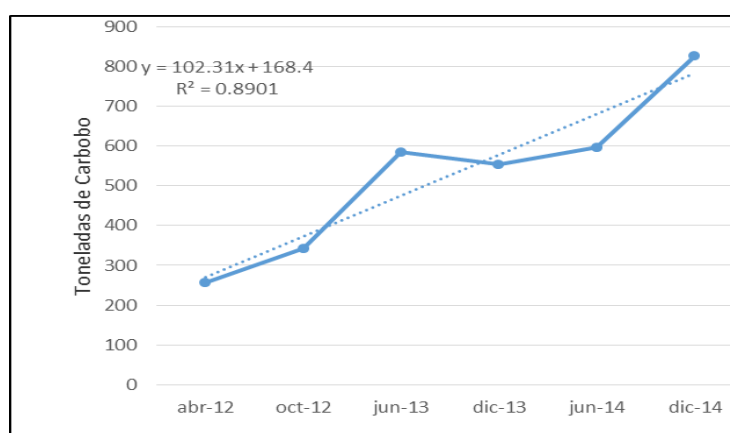
**Gráfico N°04.- crecimiento del área, c. filiformes de la Bahía de Paracas**

#### 4.2.3 Prueba de Hipótesis para el indicador Productividad

La productividad de este tema se puede mostrar mediante la tasa de crecimiento del área del prado de algas lo cual favorece a una mayor captación de carbono ya que la biomasa de este ecosistema se renueva y este procesa natural demanda una mayor absorción de carbono produciendo un servicio eco sistémico

$$Bc = B \text{ algas} \times 1,27 \text{ carbono}$$

3,5 toneladas de alga

**Gráfico N°05.- renovación del prado c. filiformes de la Bahía de Paracas**

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- Se determinò que la cantidad de carbono capturado por *Caulerpa filiformis* en la bahía de Paracas es 538,0 toneladas lo cual sustenta el estudio de tesis por ser una cantidad de carbono considerable ya que es el porcentaje que se absorbe por día.
- *Caulerpa filiformis* se le encontró distribuido entre playa Santo Domingo en la bahía de Paracas y el muelle fiscal de Pisco Playa, esto prueba que la pradera de algas está en constante crecimiento lo cual supone que su tasa de renovación es alta esto y la captura de carbono se mantiene en un porcentaje alto.
- La biomasa total estimada de *Caulerpa filiformis* en la bahía de Paracas fue de 215,0 toneladas de materia viva que se encuentra en renovación contante este ciclo natural demanda una captura de carbono que se mantiene ascendente.
- Se comprobó que el alga *Caulerpa filiformis* es el alga predominante en la bahía de paracas ya que es adaptable a nuestro entorno natural.
- El ecosistema marino que crea la *Caulerpa filiformis* tiene mayor capacidad de absorción de carbono que los ecosistema de bosque por su renovación continua lo cual permite una absorción mayor por el motivo que una planta en crecimiento demanda más captura de carbono porque el alga siempre renueva su tasa de crecimiento por individuo y los arboles llega hasta su crecimiento pleno y en ese proceso baja su demanda de carbono.



## 5.2 RECOMENDACIONES

- Es necesario determinar el valor del medio ambiente natural de la bahía de Paracas como servicio ecosistémico.
- Se debe fijar en valor el servicio eco sistémico de la captura de carbono por *Caulerpa filiformis* en la bahía de Paracas.
- Debería tomarse como factor determinante la captación de carbono de una zona para determinar su cuidado como haría protegida.
- Apoyar la investigación científica coordinada para una mejor cuantificación del papel del carbono azul en la mitigación del cambio climático y la inclusión del desarrollo de protocolos y metodologías de monitoreo, notificación y verificación de los sumideros marinos costeros.
- Facilitar la inclusión del valor del carbono acumulado por los ecosistemas marinos costeros en la contabilidad de los servicios ambientales que proveen.
- Establecer parámetros de referencia y sistemas de medición para la captura y el secuestro ambientalmente racionales del carbono en los océanos.
- Crear, como parte de los instrumentos normativos internacionales en materia de cambio climático, mecanismos que permitan el uso futuro de créditos de carbono por la captura y el almacenamiento eficaz de carbono de ecosistemas marinos y costeros a medida que se disponga de sistemas de medición adecuados. El carbono azul podría comercializarse y tratarse de manera semejante al carbono verde, en particular el de los bosques pluviales, e incluirse en los protocolos de emisiones y mitigación del cambio climático junto con otros ecosistemas que fijan carbono.

## FUENTES DE INFORMACIÓN

### i. Fuentes Bibliográficas

- Acleto C. 1986. Algas marinas del Perú de importancia económica. Museo de Historia Natural UNMSM. Serv. Div. N° 5 (2° Ed.); 107 pp.
- Betts, R. A. 2000. Offset of the potential carbon sink from boreal forestation by decreases in surface albedo. *Nature*, 408(6809), 187-190.
- Del pilar M, Ochoa E. 2014. Guía práctica para la valoración del servicio ecosistémico en Madre de Dios, Perú, WWF Perú y SNV, 63 pp.
- Díaz F. R, M. Acosta, F Carrillo, E. Buendía, E. Flores, J. Etchevers. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl.et Cham. *Madera y Bosques*, primavera, año/vol. 13, numero 001. Instituto de Ecología A.C., Xalapa, México. pp. 25-34.
- Edding M, Tala F, Vásquez J. 2006. Fotosíntesis, productividad y algas marinas, Universidad de La Serena, Chile.39pp.
- ERM. 2012. Informe final de la determinación de la distribución del alga verde *Caulerpa filiformis* en la bahía de Paracas, Lagunillas y Laguna Grande, Pisco, Perú. Ref. 001076. Noviembre de 2012.
- Field, A. 2013. *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*. Sage.
- Flores D, Céspedes L, Martínez A. 2013. Identificación del servicio ecosistémico en el santuario nacional manglares de tumbes informe técnico especial, Perú, Instituto Geofísico del Perú, ,84 pp.
- Flores D, Zavala J, Donayre S, Guardia A, Sarmiento H. 2015. Evaluación poblacional de *Chondracanthus chamissoi* (C. Agardh 1820) en las bahías de Pisco y Paracas, Otoño 2010. *Inf. Inst. Mar Perú*. 42(4): 504-509.
- Gayoso, J., & Schlegel, B. 2001. Proyectos forestales para la mitigación de gases efecto invernadero. Una tarea pendiente. *Ambiente y Desarrollo*, 1, 41-49.
- Gravetter, F., & Wallnau, L. 2016. *Statistics for the behavioral sciences*. Cengage Learning.

- Lakyda, I. 2011. Carbon-sequestering and oxygen producing functions of urban forests of Kyiv city and pre-urban forests of Stockholm city.
- Leech, N. L., Barrett, K. C., & Morgan, G. A. 2015. IBM SPSS for intermediate statistics: Use and interpretation. Routledge.
- Málaga N, Giudice R, Vargas C, Rojas E. 2014. Estimación de los contenidos de carbono de la biomasa aérea en los bosques de Perú, Perú, Ministro del Ambiente de Perú, 68 pp.
- Mendo J, M.C. Badjeck & M. Wolf. 2006. El manejo de la concha de abanico: desafíos y perspectivas. En: Variabilidad climática e El Niño Oscilación Sur: implicancias sobre los recursos naturales costeros y su manejo (CENSOR). Informe del Seminario.
- Nelleman C., Corcoran E, Duarte C, Valdés L, De Young C, Fonseca L, Grimsditch G. 2009. Carbono Azul. El papel de los océanos saludables en la fijación de carbono. Evaluación de una respuesta rápida. Programa de las naciones unidas para el Medio Ambiente, GRID-Arendal.
- Schlegel, B. 2001. Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempre verde. Universidad Austral de Chile. Symposium Internacional Medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales. 18 al 20 de octubre del 2001. Valdivia, Chile.
- Schlegel, B. 2010.
- Schulze, E., Ch. Wirt y M. Heimann. 2000. Managing forest after Kyoto. Science 289 (5487): 2058-2059.

## ii. Fuentes Virtuales

- Guiry, M.D. 2007. Algae Base 4.0. Internet: <http://www.algaebase.org>.
- Peña P. 2014. El marco legal peruano para implementar REDD+, <http://www.spda.org.pe/wpfb-file/el-marco-legal-peruano-para-implementar-redd-pdf/>, Perú, 36pp.
- V. R. P. Sinha. 2001 Carbon dioxide utilization and seaweed production. [http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/01/carbon\\_seq/p14.pdf](http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/01/carbon_seq/p14.pdf), india, Proyecto del Banco Mundial ,6pp.

**iii. Tesis**

- Miñon J. 2013. Tesis. Modelo de biomasa algal para la captura de dióxido de carbono y su desarrollo en un software de evaluación. Valladolid. Universidad de Valladolid. 42 pp.
- Rubio M. 2010. Tesis. Determination of organic matter burial rate in the inner Cadiz Bay: Contribution of different habitats and possible sources of organic matter. Cádiz. Universidad de Cádiz. 48 pp.
- Quispe Karen. 2010. Tesis. Tecnología web como soporte al proceso de elaboración de nóminas de matrícula y actas de evaluación, aplicado en el área académica de la johannes karl friedrich gauss, Perú. Universidad las Peruanas, ,110 pp.
- Quitoran, G. 2010. Tesis. "Determinación del potencial de captura de carbono en cinco especies forestales de dos años de edad: cedro nativo (*Cedrela odorata*), caoba (*Swietenia macrophylla*), bolaina (*Guazuma crinita*), teca (*Tectona grandis*) y capirona (*Calycophyllum sprucearum*), en la localidad de alianza San Martín. Perú, Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto Perú, 113pp.
- Vidal C, Jamjachi S. 2012. Tesis. Sistema integrado de control como soporte al registro de incidentes en el proceso de abastecimiento de energía eléctrica y su influencia en la gestión de operaciones de la clínica Ricardo Palma, Perú, Universidad Alas Peruanas, 167 pp.

## ANEXOS

## iv. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INDICES	MÉTODOS	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
PROBLEMA PRINCIPAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL						
¿Es posible estimar la cantidad de carbono capturado por Caulerpa filiformis en la bahía de Paracas?	Determinar la cantidad de carbono capturado por Caulerpa filiformis en la bahía de Paracas.	Si es posible estimar la cantidad de carbono capturado por Caulerpa filiformis en la bahía de Paracas.	<p><b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL</b></p> <p><b>Variables Independiente:</b></p> <p>Distribución y biomasa de Caulerpa filiformis.</p> <p><b>Variables Dependiente :</b></p> <p>Carbono capturado por Caulerpa filiformis.</p>	<p>Distribución espacial de Caulerpa filiformis en bahía Paracas.</p> <p>Biomasa total de Caulerpa filiformis en bahía Paracas.</p> <p>Periodo con presencia de Caulerpa filiformis en bahía Paracas.</p> <p>Cantidad de carbono capturado por Caulerpa filiformis.</p>	<p>Se determinará el área total que está siendo ocupada por las praderas de C. filiformis en bahía Paracas, expresada en hectáreas (ha).</p> <p>Se calculará la biomasa total de la macroalga verde C. filiformis en las praderas de bahía Paracas, expresada en toneladas (t).</p> <p>Se considerará el periodo de presencia de C. filiformis en bahía Paracas, comprendido entre 2011 y 2015</p> <p>Se estimará la cantidad de carbono capturado por C. filiformis mediante proceso fotosintético en las praderas de bahía Paracas, en kg.</p>	<p><b>Tipo de Investigación:</b> Básica</p> <p><b>Nivel de investigación:</b> descriptivo</p> <p><b>Diseño de la investigación:</b> descriptivo</p> <p><b>Universo :</b> Estimación de captación de carbono</p> <p><b>Universo Social :</b> Costa de playa Bahía de Paracas</p> <p><b>Muestra :</b> La estimación de la cantidad en kilos de carbono capturado mediante el área total de biomasa de la pradera de Caulerpa filiformis de la Bahía de Paracas.</p>	<p>Muestreo de playa</p> <p>Comparación de peso de las algas entre la captura de carbono</p> <p>calculo de la distribución de la pradera</p>	<p>Mapas del área de distribución de las praderas de C. filiformis.</p> <p>Equipo Posicionador Satelital Portátil, Sistema de Posicionamiento Global (GPS), Balanza, Cámara fotográfica</p> <p>Ficha de registro en campo.</p> <p>Fichas de registro de información disponible.</p>

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Bonos de carbono:** El término se refiere a una iniciativa internacional para reducir las emisiones contaminantes en el ambiente; es uno de los tres mecanismos propuestos en el Protocolo de Kyoto para la reducción de emisiones causantes del calentamiento global y efecto invernadero, es decir los gases de efecto invernadero.
- **Captación de carbono:** Extracción y almacenamiento de carbono de la atmósfera en sumideros de carbono (como los océanos, los bosques o la tierra) a través de un proceso físico o biológico como la fotosíntesis.
- **Captura de carbono:** Fijación de carbono, retención de carbono, secuestro de carbono, absorción de carbono, captación de carbono: Conversión, mediante fotosíntesis, del carbono atmosférico que se traduce en el almacenamiento a largo plazo del carbono en el suelo y en la vegetación, viva o muerta. el carbono almacenado puede compensar el dióxido de carbono emitido.
- **Clasificación de los servicios ecosistémicos:** La clasificación probablemente más difundida y aceptada es la derivada de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio MA (2003) y que ofrece un sistema de clasificación con propósitos puramente operacionales basado en cuatro líneas funcionales dentro del marco conceptual de MA que incluyen servicios de soporte (necesarios para la producción de todos los demás servicios ecosistémicos), regulación (beneficios obtenidos de la regulación de los procesos del ecosistema), aprovisionamiento (productos obtenidos del ecosistema).
- **Fuente de carbono:** Un área de bosque es considerada como una fuente de carbono cuando el stock de carbono disminuye con el tiempo. lo contrario a un sumidero.
- **Fotosíntesis:** Proceso por el que las plantas absorben dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) del aire (o bicarbonato del agua) para producir carbohidratos, emitiendo oxígeno (O<sub>2</sub>) en el proceso. Existen varias vías para fotosíntesis con diferentes respuestas a las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub>.

- **Gases de Efecto Invernadero:** Se entiende aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y re emiten radiación infrarroja.
- **Secuestro de Carbono:** Una reserva o un depósito que absorbe o capta el carbono liberado por otros componentes en el ciclo del carbono y que absorbe más cantidad de la que libera.
- **Servicios Ecosistémicos:** Son los beneficios que los seres humanos obtienen de los ecosistemas sean económicos o culturales. Esos beneficios pueden ser de dos tipos: directos e indirectos. Se consideran beneficios directos la producción de provisiones –agua y alimentos (servicios de aprovisionamiento), o la regulación de ciclos como las inundaciones, degradación de los suelos, desecación y salinización, pestes y enfermedades (servicios de regulación). Los beneficios indirectos se relacionan con el funcionamiento de procesos del ecosistema que genera los servicios directos (servicios de apoyo), como el proceso de fotosíntesis y la formación y almacenamiento de materia orgánica; el ciclo de nutrientes; la creación y asimilación del suelo y la neutralización de desechos tóxicos. Los ecosistemas también ofrecen beneficios no materiales, como los valores estéticos y espirituales y culturales, o las oportunidades de recreación (servicios culturales). Existe, entonces, una amplia gama de servicios ecosistémicos, algunos de los cuales benefician a la gente directamente y otros de manera indirecta.
- **Sumidero de Carbono:** Un área determinada de bosque es considerada como un sumidero de carbono, si la cantidad almacenada de carbono aumenta con el tiempo. Es decir, si el cambio en el stock de carbono es positivo. Cualquier proceso o mecanismo que absorbe el carbono de la atmósfera.

## INDICE DE FIGURAS

<b>Fig N° 01:</b> taxonomía de la <i>Caulerpa filiformis</i> .....	<b>34</b>
<b>Fig N° 02:</b> mapa de puntos de distribución de c.filiformes en la Bahía de Paracas ....	<b>60</b>
<b>Fig N° 03:</b> mapa de puntos de distribución de c.filiformes en lagunilla.....	<b>60</b>
<b>Fig N° 04:</b> mapa de distribución de c.filiformes en laguna grande .....	<b>61</b>
<b>Fig N° 05:</b> mapa de área y biomasa de c.filiformes en la Bahía de Paracas.....	<b>62</b>
<b>Fig N° 06:</b> mapa de crecimiento de prado c.filiformes en la Bahía de Paracas .....	<b>73</b>

## INDICE DE GRÁFICOS

<b>Graf N°01.-</b> muestra del crecimiento c. filiformes Bahía de Paracas.....	<b>74</b>
<b>Graf N°02.-</b> crecimiento continuo c. filiformes de la Bahía de Paracas .....	<b>74</b>
<b>Graf N°03.-</b> crecimiento ,biomsa, años c. filiformes Bahía de Paracas .....	<b>75</b>
<b>Graf N°04.-</b> crecimiento del área, c. filiformes de la Bahía de Paracas.....	<b>76</b>
<b>Graf N°05.-</b> renovación continua del prado c. filiformes de la Bahía de Paracas .....	<b>76</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabl N° 01.-</b> Estadística descriptiva c. filiformis del sur del Perú.....	<b>69</b>
<b>Tabl N° 02.-</b> Prueba para determinar los datos de C. filiformis en el sur del Perú.....	<b>70</b>
<b>Tabl N° 03.-</b> Test poblacional de L. <i>Caulerpa filiformis</i> en el sur del Perú .....	<b>70</b>
<b>Tabl N° 04.-</b> Prueba poblacional de L. <i>Caulerpa filiformis</i> en el sur del Perú .....	<b>71</b>
<b>Tabl N° 05.-</b> Prueba estadística de C.filiformis en el sur del Perú.....	<b>72</b>
<b>Tabl N° 06.-</b> Prueba estadística Mediana de C. filiformis en el sur del Perú .....	<b>72</b>
<b>Tabl N° 07.-</b> Prueba estadística de captación de c. filiformes de Paracas .....	<b>74</b>

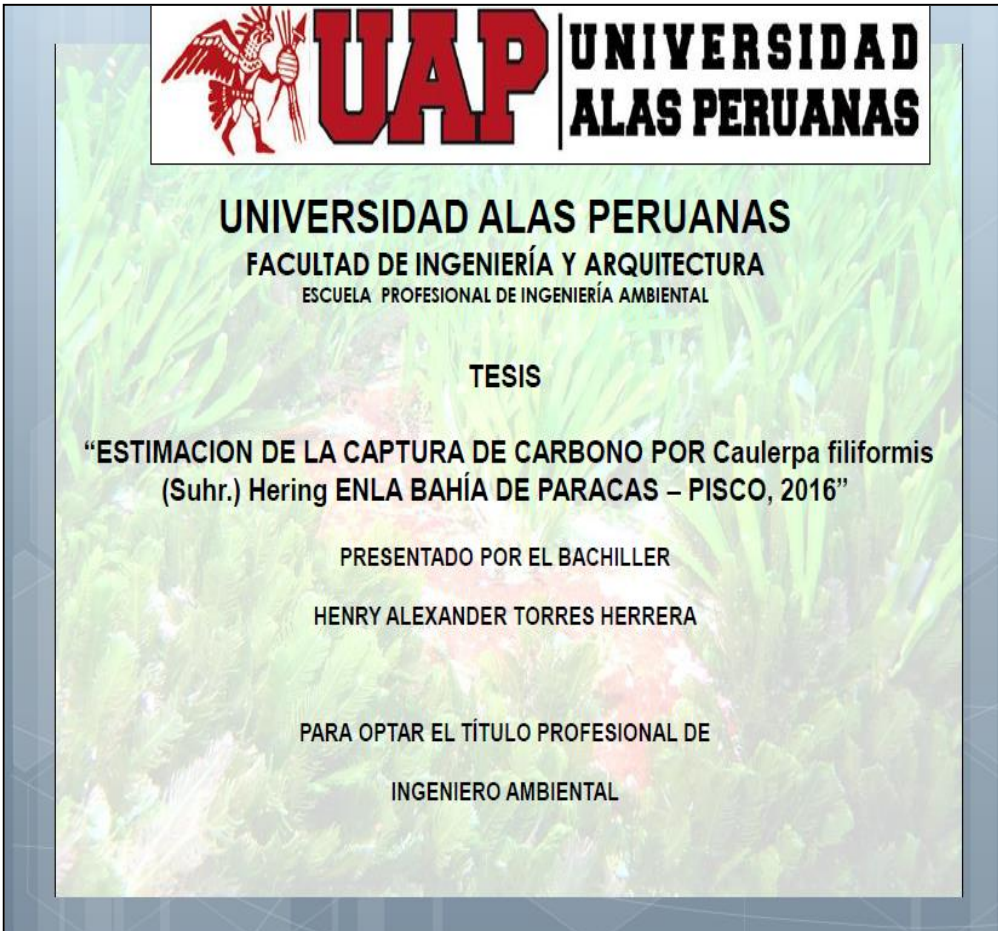
## INDICE DE ANEXOS


<b>Anexos N°01.-</b> Matriz de consistencia.....	<b>81</b>
<b>Anexos N°02.-</b> Diapositivas .....	<b>85</b>



## ANEXOS

## DIAPOSITIVAS DE SUSTENTACION





**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**TESIS**


**“ESTIMACION DE LA CAPTURA DE CARBONO POR *Caulerpa filiformis* (Suhr.) Hering ENLA BAHÍA DE PARACAS – PISCO, 2016”**

PRESENTADO POR EL BACHILLER

HENRY ALEXANDER TORRES HERRERA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE



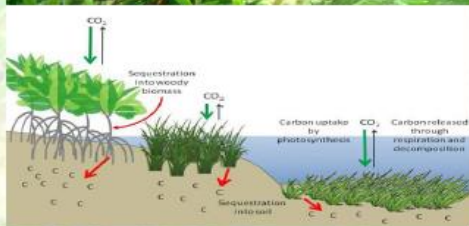
INGENIERO AMBIENTAL



**DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

En el ecosistema marino costero de la bahía de Paracas no estaba presente la macroalga verde *Caulerpa filiformis*. La presencia de esta fue reportada por primera vez en diciembre de 2010.

Si bien es cierto que *C. filiformis* es considerada una especie exótica invasiva, también estaría brindando un servicio ambiental contribuyendo con la mitigación de emisiones de gases de invernadero, a través de la reducción, captación, de carbono por medio de la fotosíntesis. Una de las ventajas de las algas marinas es su rápido crecimiento y por ende deberían tener una mayor captura de carbono, a diferencia de los bosques en donde la captura del carbono solo se realiza durante el crecimiento de los árboles, que además son de lento crecimiento.



<p><b>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.</b></p> <p><b>PROBLEMA PRINCIPAL.</b> ¿Cuál es la cantidad de carbono capturado por <i>Caulerpa filiformis</i> en la bahía de Paracas?</p> <p><b>PROBLEMA ESPECÍFICOS.</b> ¿Cuál es el área que ocupa la <i>Caulerpa filiformis</i> en la bahía de Paracas? ¿Cuánta biomasa de <i>Caulerpa filiformis</i> existe en la bahía de Paracas?</p>	<p><b>OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN</b></p> <p><b>OBJETIVO GENERAL.</b> Determinar la cantidad de carbono capturado por <i>Caulerpa filiformis</i> en la bahía de Paracas.</p> <p><b>OBJETIVO ESPECÍFICOS.</b> Estimar la distribución de la <i>Caulerpa filiformis</i> en la bahía de Paracas Determinar la biomasa de <i>Caulerpa filiformis</i> que existe en la bahía de Paracas</p>
--	---



### HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.

#### HIPÓTESIS GENERAL.

$H_0$ : Si es posible estimar la cantidad de carbono capturado por *Caulerpa filiformis* en la bahía de Paracas.

$H_1$ : No es posible estimar la cantidad de carbono capturado por *Caulerpa filiformis* en la bahía de Paracas.

#### HIPÓTESIS ESPECIFICA.

$H_2$ : Si es posible estimar el área de distribución de la *Caulerpa filiformis* en la bahía de Paracas.

$H_3$ : Si es posible determinar la biomasa de la *Caulerpa filiformis* en la bahía de Paracas.



### VARIABLES E INDICADORES

#### VARIABLE INDEPENDIENTE

X= Distribución y biomasa de *Caulerpa filiformis*.

#### INDICADORES

$X_1$ = Distribución espacial de *Caulerpa filiformis* en bahía Paracas.

$X_2$ = Biomasa total de *Caulerpa filiformis* en bahía Paracas.

Indicadores	Índices
$X_1$ =Distribución espacial de <i>Caulerpa filiformis</i> en bahía Paracas.	Se determinará el área total que está siendo ocupada por las praderas de <i>C. filiformis</i> en bahía Paracas, expresada en hectáreas (ha).
$X_2$ =Biomasa total de <i>Caulerpa filiformis</i> en bahía Paracas.	Se calculará la biomasa total de la macroalga verde <i>C. filiformis</i> en las praderas de bahía Paracas, expresada en toneladas (t).



#### VARIABLE DEPENDIENTE

Y= Carbono capturado por *Caulerpa filiformis*.

#### INDICADORES

Y<sub>1</sub>= Periodo con presencia de *Caulerpa filiformis* en bahía Paracas.

Y<sub>2</sub>= Biomasa de carbono capturado por *Caulerpa filiformis*.

Indicadores	Índices
Y <sub>1</sub> = Periodo con presencia de <i>Caulerpa filiformis</i> en bahía Paracas.	Se considerará el periodo de presencia de <i>C. filiformis</i> en bahía Paracas, comprendido entre 2016
Y <sub>2</sub> = Cantidad de carbono capturado por <i>Caulerpa filiformis</i> .	Se estimará la Biomasa de carbono capturado por <i>C. filiformis</i> mediante proceso fotosintético en las praderas de bahía Paracas, en kg.



#### JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.

##### JUSTIFICACIÓN

El tema de investigación se justifica porque es necesario contar con información sobre la cantidad de carbono capturado por *C. filiformis* en las praderas de bahía Paracas, para conocer y valorar los servicios ambientales que está prestando este escenario.

##### IMPORTANCIA.

El desarrollo del presente estudio permitirá estimar la cantidad de carbono capturado por los procesos fotosintéticos de *C. filiformis*, demostrando que la presencia de esta macroalga verde estaría contribuyendo con brindar un servicio ambiental, al constituirse como un mecanismo efectivo para mitigar el incremento del CO<sub>2</sub>.



## TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

### TIPO DE INVESTIGACIÓN.

De acuerdo al tipo de investigación resulta siendo de tipo "aplicada", en razón, que se utilizaran conocimientos pre-existentes sobre el estudio de la captura de carbono por *Caulerpa filiformis* (Suhr.) a fin de aplicar esta información para estimar el porcentaje de carbono capturado por la pradera de algas marinas de la bahía de paracas.

### NIVEL DE INVESTIGACIÓN.

La investigación inicia en el nivel explicativo, debido a que se describirá el proceso natural de captación de carbono por medio de la fotosíntesis del área del prado de algas de *C. filiformis* en el escenario marino costero de la bahía de Paracas. Luego, se continuará con el nivel correlacional, debido a que se estimará la cantidad de carbono capturado.



## MÉTODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

### MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN.

Para el desarrollo del trabajo de investigación se ha utilizado el método científico por brindar un planteamiento ordenado que empieza desde diseñar, formular planes de investigación. Se utilizarán técnicas para la obtención de la información, herramientas como la estadística para el análisis de la información y su comprobación.

### DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

Se trata de una investigación experimental por que proporciona al investigador la seguridad de que los resultados observados se deben a la variable experimental o independiente utilizada. Concretamente se trata de un diseño de prueba el cual se encargara de estimar la cantidad de carbono capturado mediante los factores de distribución de la biomasa de *Caulerpa filiformis*.

## TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

### TÉCNICAS.

- A. Muestreo de playa
- B. Comparación de peso de las muestras de algas entre la captura de carbono
- C. calculo de la distribución de la pradera

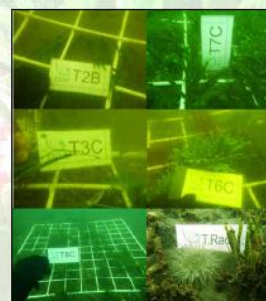
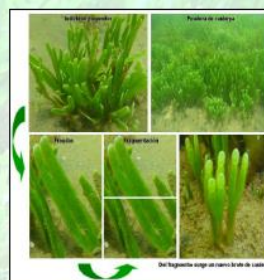
### INSTRUMENTOS.

- A. Mapas del área de distribución de las praderas de *C. filiformis*.
- B. Equipo Posicionador Satelital Portátil, Sistema de Posicionamiento Global (GPS).
- C. Cámara fotográfica
- D. Ficha de registro en campo.
- E. Fichas de registro de información disponible.

## ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DEL ÁREA CAULERPA

### FILIFORMIS (SUHR.) HERING EN LA BAHÍA DE PARACAS

*Caulerpa filiformis* (Suhr.), es un alga que crece de estolones horizontales y se reproduce manera sexual como asexual. También puede la fragmentarse de sus frondas (simples obifurcadas), naciendo una nueva alga de los fragmentos de 5 mm de tamaño. Su crecimiento es de 1 a 5 cm. por día, se adapta a temperaturas de 10 a 25 C°. cualidades que le brindan una mayor capacidad de ajustarse a distintos entornos requieren del CO<sub>2</sub> para su crecimiento, de acuerdo a estudios, la producción de 3.5 toneladas de algas requiere de 1.27 toneladas de carbonopara medir el área que ocupa el alga se llevó a cabo la evaluación de cobertura porcentual empleando un cuadrado metálico de 1 m<sup>2</sup> subdividida en fracciones de 10 cm x 10 cm





**ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS**

El grafico simboliza el crecimiento del alga *Caulerpa filiformis* y como este sistema natural es interpretado según nuestro estudio como servicio eco sistémico

La línea roja del grafico entiende años y biomasa lo cual quiere decir que es el tiempo de crecimiento de la materia orgánica *Caulerpa filiformis* se mantiene estable teniendo altibajos leves pero su porcentaje es estable según muestra nuestro gráfico y el mapa de crecimiento

La línea azul muestra años y área que define cuanto terreno se extiende el prado de algas *Caulerpa filiformis*.

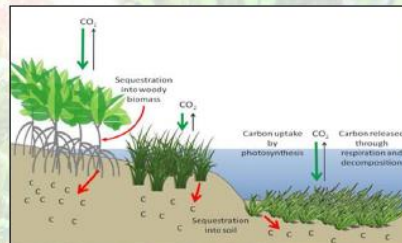
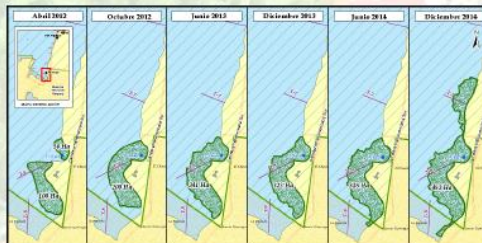
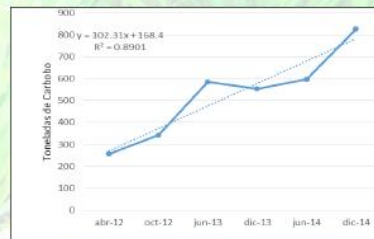
Biomasa total	Año	Año	Biomasa media (gr /m²)	área (ha)	Biomasa (t)	CO2 (t)	Ganancia por periodo	CO2/ha
40	2010	Dic-10	6	1	0	0		
400	2011	Jun-11	57	16	9	3	3	0.21
481	2011	Dic-11	69	83	57	21	17	0.25
562	2012	Jun-12	80	150	120	44	23	0.29
4921	2012	Dic-12	689	200	1377	500	456	2.50
2054	2013	Jun-13	293	341	1001	363	-337	1.06
4254	2013	Dic-13	608	323	1963	712	349	2.21
1254	2014	Jun-14	179	348	623	226	-486	0.65
2150	2014	Dic-14	307	483	1484	538	312	1.11



**ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS**

Este estudio demuestra la importancia de este tema ya que esta clase de ecosistema capta más carbono por su renovación habitual y continua esto demanda un ciclo perpetuo de absorción de carbono comparándolo con los bosques que tienen un finito al crecer a su máximo desarrollo su captación baja cosa que no pasa con las algas por sus renovación que demanda más absorción de carbono

**Bc=B algas x 1,27 carbono  
3,5 toneladas de alga**





## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- Se determinó que la cantidad de carbono capturado por *Caulerpa filiformis* en la bahía de Paracas es 538,0 toneladas
- *Caulerpa filiformis* se le encontró distribuido entre playa Santo Domingo en la bahía de Paracas y el muelle Fiscal de Pisco Playa.
- La biomasa total estimada de *Caulerpa filiformis* en la bahía de Paracas fue de 215,0 toneladas.
- Se comprobó que el alga *Caulerpa filiformis* es el alga predominante en la bahía de paracas
- El ecosistema marino que crea la *Caulerpa filiformis* tiene mayor capacidad de absorción de carbono que los ecosistema de bosque por su renovación continua

### RECOMENDACIONES

- Es necesario determinar el valor del medio ambiente natural de la bahía de Paracas como servicio ecosistemicos
- Se debe fijar en valor el servicio ecosistémico de la captura de carbono por *Caulerpa filiformis* en la bahía de Paracas.
- Debería tomarse como factor determinante la captación de carbono de una zona para determinar su cuidado como haria protegida
- Debe ponerse a conocimiento que la captura de carbono es un estudio ligado a cambio climático por tanto de importancia a nivel mundial al ser una de las metas de todas las naciones



# GRACIAS

