

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA ECONÓMICA, ESTADÍSTICA Y CIENCIAS SOCIALES



## **“PREDICCIÓN DE AMBIENTES DE DEPOSICIÓN SEDIMENTARIA EN BASE A CARACTERÍSTICAS BATIMÉTRICAS, MORFOLÓGICAS Y SEDIMENTARIAS EN EL MARGEN CONTINENTAL PERUANO MEDIANTE MODELOS DE ESTADÍSTICA ESPACIAL”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ESTADÍSTICO  
POR LA MODALIDAD DE TESIS

ELABORADO POR

**B.Sc. ERICK ALBACHARRO CHACON MONTALVAN**

Lima - Perú

2014

*A quien ha sido mi motivación, mi inspiración, mi  
soporte, mis ganas de ser mejor, con quien siempre  
estaré en deuda por todo lo que me ha dado, mi  
madre, Marilú.*

*Y a quien me ha brindado su apoyo, me ha  
enseñado mucho de la vida, y me acercó a la  
ciencia, mi padre y profesor, Alfredo.*

*Los amo con todas mis fuerzas, Marilú y Alfredo.*

# Agradecimientos

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis

urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

## Resumen

Los organismos bióticos y abióticos del hábitat marino erosionan fragmentos de partículas que se van acumulando en lugares estratégicos (ambientes de deposición) caracterizados por la estructura del relieve marino y la dinámica existente en este. Los sedimentos finos, útiles para obtener información sedimentaria de calidad, generalmente se acumulan en zonas que favorecen la deposición continua de sedimentos. Estos ambientes son caracterizados por la morfología del relieve marino y el comportamiento de ciertos agentes externos como la energía hidrodinámica, los vientos, las corrientes marina, entre otros. El conocimiento de estas zonas brinda aportes significativos para el desarrollo de trabajos geológicos *in situ* y como base para estudios de investigación en el Sistema de la Corriente de Humboldt (SCH) del Perú, el cual es el ecosistema marino con mayor cantidad de condiciones extremas e incógnitas. Por ello, con el objetivo de predecir la ubicación de probables ambientes de deposición continua en el margen continental peruano, se modela espacialmente la presencia de ambientes de deposición continua en base a las características de morfología y batimetría. En el estudio se obtuvo grillas de alta resolución de batimetría y de probables ambientes de deposición continua. El modelo del kriging logístico corrobora la asociación entre los ambientes de deposición continua y las características morfológicas del fondo marino tales como la profundidad, pendientes, lejanía a las costas entre otras.

**Palabras clave:** Ambientes de sedimentación continua, Batimetría, Correlación Espacial, Geoestadística, Morfología, Kriging.

## Abstract

Biotic and abiotic organisms in the marine habitat erode particle fragments that are accumulated in strategic locations, called environments of deposition, characterized by the structure of the topography and the ocean dynamics. Thin sediments, useful to obtain high-quality sedimentary information, are generally accumulated in areas favoring the continuous deposition of sediments. These environments are characterized by the morphology of the marine topography and the behavior of certain external agents such as hydrodynamic energy, winds, marine currents, and so on. Knowledge of these areas offers significant contributions for the development of *in situ* geological work and it is the basis for research studies in the northern Humboldt Current System (HCS) in Peru, which is the marine ecosystem with the most extreme conditions and unknowns. Therefore, in order to predict the location of continuous deposition environments in Peruvian Continental Margin, the presence of continuous deposition environments are modeled spatially based on the morphology and bathymetry characteristics. In the study, high-resolution grids of bathymetry and likely continuous deposition environments were obtained. The logistic kriging model confirms the association between continuous deposition environments and morphological characteristics of the seabed such as depth, slope, distance to the coast, among others.

**Keywords:** Bathymetry, Continuous sedimentation environments, Geostatistics, Kriging, Morphology, Spatial Correlation.

# Índice general

<b>Dedicatoria</b> . . . . .	<b>I</b>
<b>Agradecimientos</b> . . . . .	<b>II</b>
<b>Resumen</b> . . . . .	<b>IV</b>
<b>Índice de Cuadros</b> . . . . .	<b>VI</b>
<b>Índice de Figuras</b> . . . . .	<b>VIII</b>
<b>Introducción</b> . . . . .	<b>1</b>
<b>1. Planteamiento del Problema</b> . . . . .	<b>2</b>
1.1. Antecedentes . . . . .	2
1.2. Descripción del problema . . . . .	2
1.3. Formulación del problema de investigación . . . . .	3
1.4. Objetivos, Preguntas de Investigación e Hipótesis . . . . .	3
1.4.1. Objetivos . . . . .	3
1.4.2. Preguntas de Investigación . . . . .	4
1.4.3. Hipótesis . . . . .	4
1.5. Limitaciones y Delimitaciones . . . . .	5
1.5.1. Limitaciones . . . . .	5
1.5.2. Delimitaciones . . . . .	5
1.6. Importancia y Justificación . . . . .	5
<b>2. Marco Teórico</b> . . . . .	<b>7</b>
2.1. Tema Principal 1 (Ejm. El Ecosistema Marino) . . . . .	7
2.1.1. Subsección (Ejm. Clasificación del Ambiente Marino) . . . . .	7
2.2. Tema Principal 2 (Ejm. El Fondo Marino y sus Sedimentos) . . . . .	9
2.3. Otra sección . . . . .	9
2.4. Técnica Estadística 1 (Ejm. Geoestadística) . . . . .	10
2.4.1. Introducción Histórica . . . . .	10
2.4.2. Descripción General . . . . .	10
2.4.3. Correlación Espacial . . . . .	10
2.4.4. Mas subsecciones . . . . .	12
2.5. Otra Técnica (Ejm. Regresión Lógica Espacial) . . . . .	12
2.5.1. Mas subsecciones . . . . .	12

2.6. Mas técnicas . . . . .	12
<b>3. Metodología . . . . .</b>	<b>14</b>
3.1. Diseño de Investigación . . . . .	14
3.1.1. Tipo de Estudio . . . . .	14
3.1.2. Área de Estudio . . . . .	14
3.1.3. Muestra . . . . .	15
3.2. Operacionalización de las Variables . . . . .	18
3.3. Recolección y Tratamiento de los datos . . . . .	20
3.3.1. Recolección de Datos . . . . .	20
3.3.2. Pre-procesamiento de los Datos . . . . .	20
3.3.3. Procesamiento de los Datos . . . . .	20
3.4. Metodología del Modelamiento . . . . .	20
3.4.1. Modelamiento de la Detección de Ambientes Deposicionales . . . . .	21
<b>4. Resultados . . . . .</b>	<b>22</b>
4.1. Predicción de la Batimetría del Mar Peruano . . . . .	22
4.1.1. Comparación del Mapa de Batimetría Obtenido con la Batimetría del Proyecto SRTM30 . . . . .	22
4.1.2. Comparación entre un Modelo que no Considera la Diferencia entre Fuentes de Datos y el Modelo Empleado . . . . .	23
4.2. Identificación de Clusters Sedimentarios . . . . .	23
4.2.1. Clusters Encontrados Según los Perfiles de Sedimentología . . . . .	23
4.3. Modelamiento de Presencia de Depocentros Sedimentarios . . . . .	23
4.3.1. Variables Consideradas y Factores Incorporados al Modelo . . . . .	24
4.4. Predicción de la Ubicación de Depocentros Sedimentarios . . . . .	24
4.4.1. Características Generales del Mapa de Probabilidades sobre la Presencia de Depocentros . . . . .	24
<b>5. Discusión . . . . .</b>	<b>25</b>
5.1. Acerca de la Batimetría . . . . .	25
5.2. Acerca de los Posibles Ambientes de Deposición Continua . . . . .	25
<b>6. Conclusiones . . . . .</b>	<b>26</b>
6.1. De la Batimetría . . . . .	26
6.2. De los Posibles Ambientes de Deposición Sedimentaria . . . . .	26
6.3. De los Modelos Espaciales . . . . .	27
<b>Appendices . . . . .</b>	<b>28</b>
A. Explicación del Diseño de Investigación . . . . .	29
B. Estadística y Probabilidades . . . . .	30
B.1. Definición de Probabilidad . . . . .	30
B.2. Estadística Inferencial . . . . .	30
B.3. Procesos Estocásticos . . . . .	30
B.4. Teoría de la Información . . . . .	31
B.5. Procesos Estocásticos . . . . .	31
B.6. Estadística Bayesiana . . . . .	31
<b>Bibliografía . . . . .</b>	<b>32</b>

# Índice de cuadros

3.1. Matriz de consistencia (i) . . . . .	18
3.2. Matriz de consistencia . . . . .	19
4.1. Comparación del Mapa de Batimetría Obtenido con la Batimetría del Proyecto SRTM30 . . .	23



# Índice de figuras

2.1. Principales divisiones del ambiente marino. <b>Fuente:</b> Elements... <a href="#">Gumiaux et al. (2003)</a> . . . .	9
2.2. Ejemplo de Aplicación de Geoestadística. El signo de interrogación representa la ubicación en donde se desea estimar el valor de la profundidad ( $y_0$ ); los $y_i$ , para $i = 1, 2, 3, \dots, 10$ , representan los datos obtenidos del trabajo de campo. La degradación del color del fondo significa que a mayor distancia, existe menor similaridad entre el dato $y_i$ y el valor de la profundidad de interés ( $y_0$ ). . . . .	11
3.1. Área de Estudio para la Batimetría (Celeste) . . . . .	15
3.2. Distribución de las fuentes de datos batimétricos. . . . .	16
3.3. Esquema del modelamiento general del estudio . . . . .	21

# Introducción

En esta sección se tiene que familiarizar al lector con el tema(s) principal del estudio y crear el deseo de que el lector quiera conocer más sobre el estudio. [Gumiaux et al. \(2003\)](#)

Primero redacta de que se tratará el estudio, porque es importante y prudente. Establece el escenario para lo que viene después, poniendo partes importantes del tema en su propia perspectiva. [Diggle and Ribeiro \(2007\)](#)

Sé directo, no tedioso. Diríjete a una persona inteligente y bien informada pero que no está profundamente relacionada con el tema. [Diggle and Ribeiro \(2007\)](#)

Aprovecha la introducción para proporcionar información relacionada a las razones de porque el estudio es propuesto, que se conseguiría y los resultados anticipados. [Sun et al. \(2012\)](#); [Gumiaux et al. \(2003\)](#)

For this template, the reference examples are not related with the text.

# Capítulo 1

## Planteamiento del Problema

Conecta el capítulo anterior con este capítulo resumiendo lo principal de la Introducción en 3 o 4 oraciones. Resaltando la razón fundamental, significancia o necesidad del estudio.

### 1.1. Antecedentes

Introducir los antecedentes y la razón fundamental para el presente estudio. Hacer una pequeña historia de lo conocido hasta antes de la realización del estudio y no una lista aburrida de estudios.

¿De donde viene el problema? ¿Porqué piensas que es importante? ¿Porqué vale la pena estudiarlo? ¿Qué ya es conocido acerca de este problema? ¿Que otros métodos han intentado resolver esto?

### 1.2. Descripción del problema

Luego de mostrar los antecedentes del problema describir de manera resumida el problema fundamental.

### **1.3. Formulación del problema de investigación**

En el primer párrafo plantea el concepto del problema en una prosa clara.

¿De qué modo se presenta la posible solución del problema?.

Propósito del estudio.

¿Que se conseguiría?, y los resultados anticipados.

1. Problema 1
2. Problema 2
3. Problema 3
4. Problema 4
5. Problema 5

### **1.4. Objetivos, Preguntas de Investigación e Hipótesis**

#### **1.4.1. Objetivos**

Los objetivos deben ser acorde a la solución del problema planteado, pueden ser separados en objetivo general y objetivos específicos.

##### **1. Objetivo General**

- Predecir la ubicación de probables ambientes de deposición continua en el margen continental peruano.

##### **2. Objetivos Específicos**

- Modelar la distribución espacial...
- Identificar el perfil sedimentario...
- Determinar índices morfológicos que...
- Determinar un modelo espacial para...
- Detectar probables ambientes...

### 1.4.2. Preguntas de Investigación

Las preguntas de investigación deben dirigirse a los objetivos planteados.

#### 1. Objetivo Principal

- ¿En que lugares del fondo marino...?

#### 2. Objetivos Específicos

- ¿Cuál es la distribución...?
- ¿Qué tipos de...?
- ¿Qué índices...?
- ¿Qué modelo...?
- ¿En que zonas...?

### 1.4.3. Hipótesis

Las hipótesis son soluciones sugeridas al problema o a las relaciones de las variables especificadas. Son importantes porque ayudan a dar dirección al trabajo. Es importante que las hipótesis tengan un respaldo, puedan ser comprobados y respondan parte del problema.

#### 1. Hipótesis Principal:

- La ubicación de los ambientes de deposición continua...

## 2. Hipótesis Secundarias:

- El fondo marino...
- Los tipos de ambientes de deposición son caracterizados...
- Se puede obtener indicadores...
- La presencia de depocentros es explicada...
- Se puede detectar probables...

## 1.5. Limitaciones y Delimitaciones

Esta sección nos ayuda a aclarar los factores bajo estudio o no y sus implicancias.

### 1.5.1. Limitaciones

La limitación es un factor que podría o no afectar el estudio pero no está bajo control del investigador.

### 1.5.2. Delimitaciones

Una delimitación difiere, principalmente, en que es controlado por el investigador.

## 1.6. Importancia y Justificación

Esta sección se puede rellenar respondiendo a la pregunta ¿Por qué hay que hacer la investigación?

Esta consiste en fundamentar la importancia de abordar este problema y la necesidad de la misma. Se puede tener en cuenta: la pertinencia del estudio, el interés del investigador, el grado de novedad, entre otros.

## Capítulo 2

# Marco Teórico

### 2.1. Tema Principal 1 (Ejm. El Ecosistema Marino)

Explicación general del tema directamente relacionado con el desarrollo de la tesis.

Es de suma importancia referencias todas aquellas ideas que no son originales del investigador. Genrelamnete en esta sección, la mayoría del texto va referenciado. Las ideas del investigador se pueden dejar para la discusión.

#### 2.1.1. Subsección (Ejm. Clasificación del Ambiente Marino)

Aunque el efecto mixto de la circulación oceánica asegura mayor diversidad, pero pequeña a través de grandes cantidades de agua, hay, sin embargo, algunas diferencias de mayor contraste entre las diferentes partes del mar. Una capa fría, oscura, lenta y hondo del océano profundo es obviamente muy diferente de una capa bien iluminada, sacudida por olas de la superficie marina, o fuertes corrientes y fluctuaciones de temperatura y salinidad que ocurren cerca a la costa. Por ello se tiene clasificaciones de subdivisiones del ambiente marino (Fig. 2.1), el cual toma en cuenta las diferentes condiciones de vida en diferentes partes de los océanos.

(a) Epipelágico:



También llamada la zona eufótica, cubre desde la superficie hasta los 200 metros de profundidad. Es la capa donde llega la mayor iluminación del sol y es de lejos en donde más vida se encuentra. La vida en esta zona abarca desde los pequeños fitoplancton a el enorme tiburón ballena, el pez más grande en el océano. Esta capa no es considerada parte del fondo marino.

(b) Mesopelágico:

El fondo marino es considerado a partir de esta capa, en donde la corteza se quiebra. Es la zona más alta del fondo marino y comprende desde 200 hasta 1000 metros de profundidad. Esta zona es la capa oceánica con la mayor diferencia en temperatura. La comida es escasa debido a que no hay suficiente luz para que las plantas se desarrollen. Las criaturas que viven en esta zona están en continua competencia para su supervivencia por eso cuentan con distintos mecanismos de defensa como la bioluminiscencia.

(c) Batipelágico:

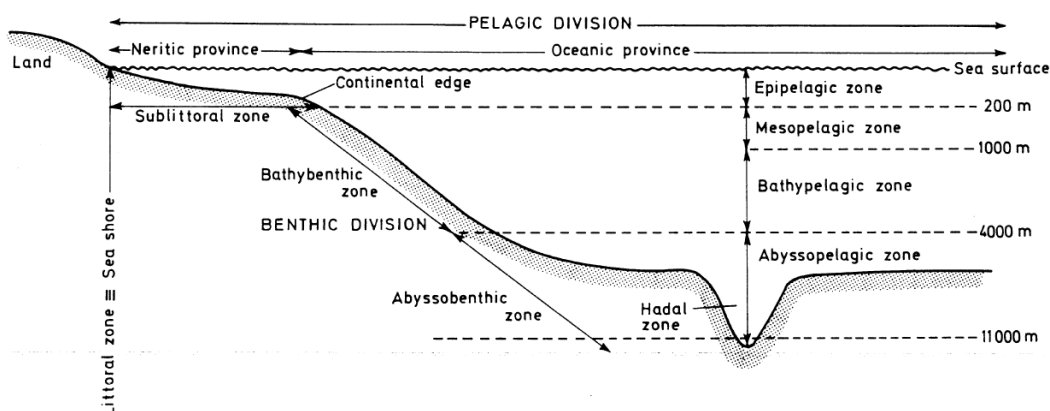
Esta zona es la parte donde más del 75 % del agua de los océanos recae. Abarca de los 1000 hasta los 4000 metros. Esta capa es denominada zona afótica por la absoluta falta de luz natural y Batipelágico por aguas profundas.

(d) Abisopelágico:

Comprende entre los 4000 y 6000 metros de profundidad. Su nombre significa sin fondo pero, en realidad, es donde la mayor parte del fondo marino se sienta. A menudo, es conocido como llano abisal porque la mayor parte del fondo marino es amplio y casi completamente plano.

(e) Zona Hadal:

Es absolutamente la parte más profunda del océano. Hadal significa *no visto* y es donde se encuentran las trincheras del océano profundo. Tiene un rango de profundidad de 6000 a 11000 metros.



**Figura 2.1:** Principales divisiones del ambiente marino.

Fuente: Elements... [Gumiaux et al. \(2003\)](#)

## 2.2. Tema Principal 2 (Ejm. El Fondo Marino y sus Sedimentos)

La dinámica de la interacción entre los seres bióticos y los agentes externos de un ecosistema marino...

## 2.3. Otra sección

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

## 2.4. Técnica Estadística 1 (Ejm. Geoestadística)

### 2.4.1. Introducción Histórica

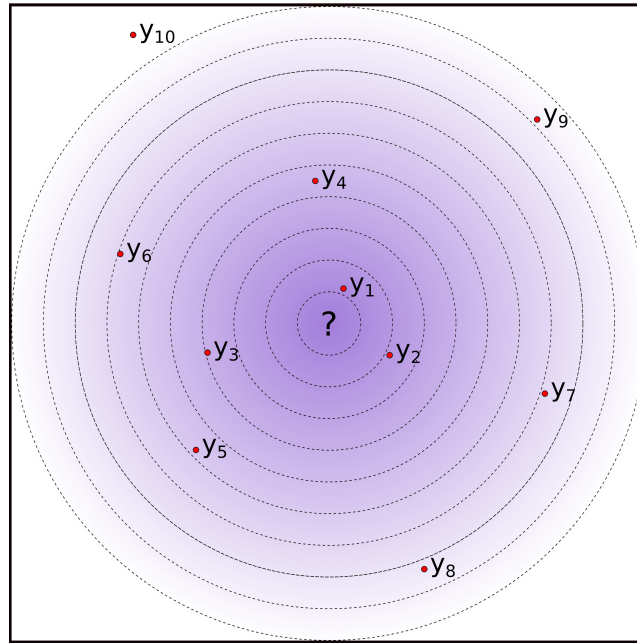
La Geoestadística es la sub-rama de la Estadística Espacial, en el cual los datos consisten de una muestra finita de medidas relacionadas a un fenómeno espacialmente continuo. Por ejemplo, la profundidad en un sondeo batimétrico. Los avances de la Geoestadística no se dieron exactamente en la teoría estadística sino en distintas áreas de aplicación. En agricultura, Fisher aportó con su pensamiento espacial de aleatoriedad y bloques. En minería, Matheron y sus colegas desarrollaron la mayoría de la teoría clásica de Geoestadística. Y en forestales, que fue el área de elección para la tesis de doctorado de Matheron (Considerado el padre de la Geoestadística) [Diggle and Ribeiro \(2007\)](#).

### 2.4.2. Descripción General

Imagine que estamos interesados en conocer la forma de la topografía del fondo marino en un área cuadrada de 100 metros de latitud por 100 metros de longitud. Para ello, mediante trabajos *in situ*, se obtuvo los niveles de profundidad  $y_1, y_2, y_3, \dots, y_{10}$  en 10 ubicaciones puntuales  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_{10}$ . La idea de conocer la topografía, indica que estamos interesados de obtener el valor de la profundidad en una ubicación arbitraria  $x_0$  en base a los datos disponibles de la muestra  $y_1, y_2, y_3, \dots, y_{10}$  (Fig. 2.2).

### 2.4.3. Correlación Espacial

El análisis de la correlación espacial, es la primera etapa de un análisis geoestadístico, algunos lo denominan estructura espacial (*Dos objetos cercanos son más similares que dos a mayor distancia*). Se realiza esta etapa porque se considera que los datos son autocorrelacionados espacialmente de acuerdo a la distancia entre las observaciones. Esta etapa enfatiza la diferencia con un análisis estadístico clásico, porque en este se considera que las observaciones son independientes. La correlación espacial puede ser



**Figura 2.2:** Ejemplo de Aplicación de Geoestadística. El signo de interrogación representa la ubicación en donde se desea estimar el valor de la profundidad ( $y_0$ ); los  $y_i$ , para  $i = 1, 2, 3, \dots, 10$ , representan los datos obtenidos del trabajo de campo. La degradación del color del fondo significa que a mayor distancia, existe menor similitud entre el dato  $y_i$  y el valor de la profundidad de interés ( $y_0$ ).

evaluada por funciones como la semivarianza, covarianza y correlación, las cuales pueden ser vistas por medio de las herramientas variograma, covariograma y correlograma. A continuación presentaremos estos conceptos a mayor detalle.

La función del variograma puede ser descompuesta del siguiente modo:

$$V(x, x') = \frac{1}{2} [Var\{S(x)\} + Var\{S(x+h)\} - 2.Cov\{S(x), S(x+h)\}]$$

En caso de que el proceso sea estacionario se cumple que:

$$V(h) = \sigma^2 \{1 - \rho(h)\} \quad (2.1)$$

#### 2.4.4. Mas subsecciones

### 2.5. Otra Técnica (Ejm. Regresión Lógica Espacial)

A continuación consideramos un modelo lineal generalizado cuando la variable respuesta es dicotómica, cuyas respuestas podrían ser “éxito” o “fracaso”, vivo o muerto, presente o ausente, es un deportista o no lo es, etc. Así que, sea la función de probabilidad de una variable aleatoria binaria  $Z$ :

$$P(Y) = \begin{cases} \pi & , 1 : \text{el resultado es éxito} \\ 1 - \pi & , 0 : \text{el resultado es fracaso} \end{cases}$$

#### 2.5.1. Mas subsecciones

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

### 2.6. Mas técnicas

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales

commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

# Capítulo 3

## Metodología

En el presente capítulo se muestra los aspectos metodológicos considerados para la realización del estudio. Tales como la naturaleza de los datos, tipo de estudio, el pre-procesamiento de los datos, técnicas estadísticas a emplear, entre otras.

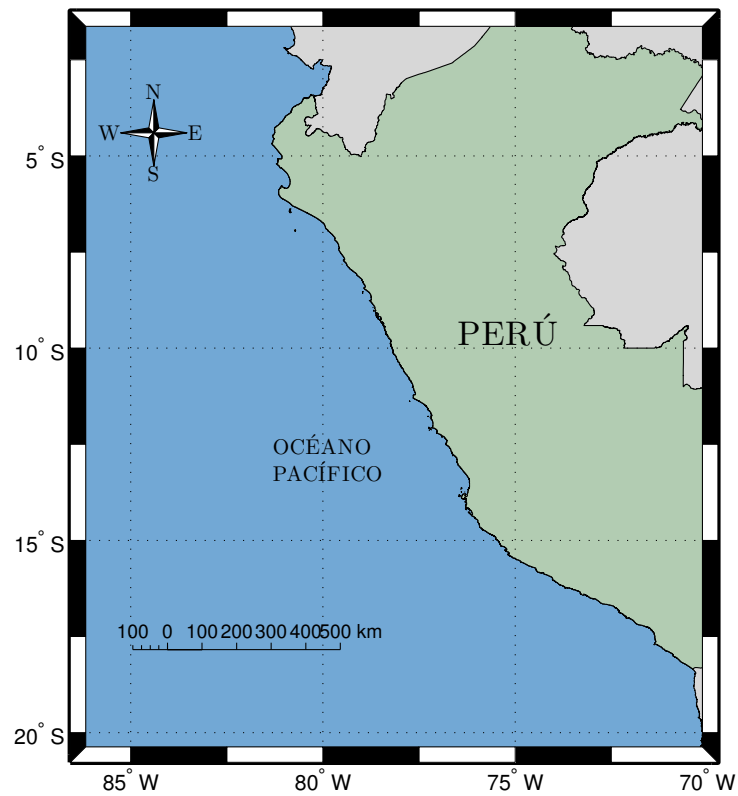
### 3.1. Diseño de Investigación

#### 3.1.1. Tipo de Estudio

Nuestro estudio... el tipo de estudio es Predictivo-Correlacional...

#### 3.1.2. Área de Estudio

El área de estudio cubre la región delimitada por los rangos de latitud  $[-20,7, -1,3]$  y de longitud  $[-85,6, -69,8]$  (Fig. 3.1). Note que esta área cubre la parte norte del Sistema de la Corriente de Humboldt.

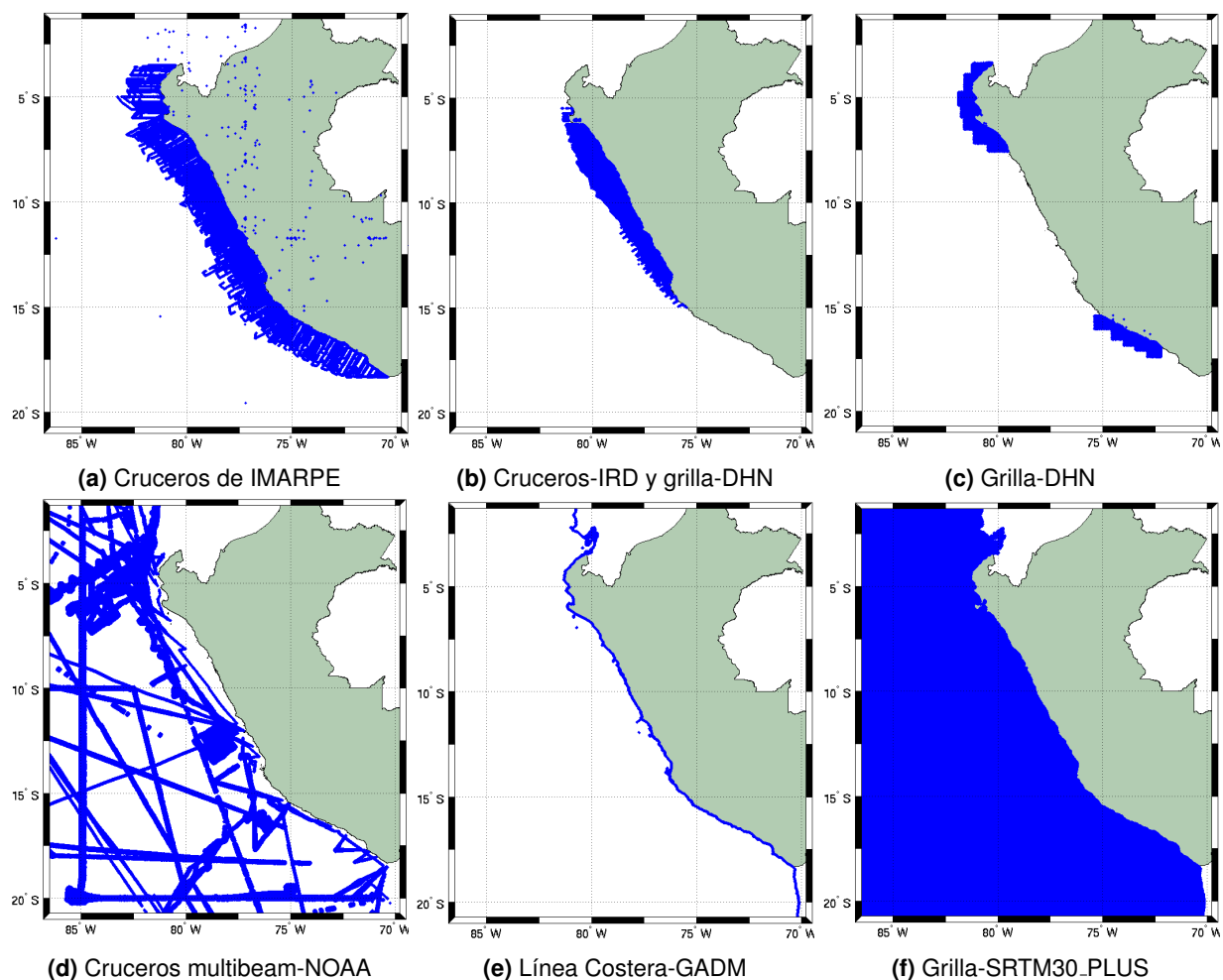


**Figura 3.1:** Área de Estudio para la Batimetría (Celeste)

### 3.1.3. Muestra

La **muestra** viene a ser los datos recolectados en las trayectorias de los cruceros científicos...





**Figura 3.2:** Distribución de las fuentes de datos batimétricos.

Se consideran los datos de estas fuentes porque son Institutos...

**Instituto del Mar del Perú (IMARPE):** Organismo Técnico Especializado del Sector Producción, Subsector Pesquería, orientado a la investigación científica, así como al estudio y conocimiento del Mar Peruano y sus recursos, para asesorar al Estado en la toma de decisiones con respecto al uso racional de los recursos pesqueros y la conservación del ambiente marino, contribuyendo activamente con el desarrollo del país (<http://www.imarpe.pe/>).

**Institut de recherche pour le développement (IRD):** Organismo de investigación original y único en el panorama europeo de la investigación para el desarrollo, tiene como vocación realizar investigaciones en el Sur, para el Sur y con el Sur (<http://es.ird.fr/>). En el Perú tiene un convenio internacional con IMARPE a través del proyecto (LMI-DISCOH)<sup>1</sup>, el cual tiene como objetivo el estudio de las dinámicas océano-atmósfera, bio-geoquímicas y ecológicas en el SCH con el fin de comprender y anticipar el efecto de las variabilidades intra-estacionarias, interanuales, decenales y de cambio climático sobre la dinámica del ecosistema costero (<http://es.discoh.ird.fr/>).

**Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN):** Su misión es administrar, operar e investigar las actividades relacionadas con las ciencias del ambiente en el ámbito acuático, con el fin de contribuir al desarrollo nacional, brindar apoyo y seguridad en la navegación a las Unidades Navales y a los navegantes en general (<https://www.dhn.mil.pe/>).

**National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA):** Es una agencia que enriquece la vida a través de la ciencia. Su alcance va desde la superficie del sol hasta las profundidades del mar, mientras que trabajan para mantener a los ciudadanos informados de los cambios del entorno que les rodea (<http://www.noaa.gov/>).

**Global Administrative Areas (GADM):** Es una base de datos espacial de la localización de las áreas administrativas del mundo (o límites Administrativas) para su uso en el SIG y software similar. Áreas administrativas de esta base de datos son los países y subdivisiones de menor nivel, como provincias, departamentos, etc. GADM describe dónde están áreas administrativas (las características espaciales), y para cada área proporciona algunos atributos, como los nombres y variantes (<http://www.gadm.org/>).

**SRTM30\_PLUS (SRTM30\_PLUS):** Es un proyecto realizado con el fin de obtener datos globales de elevación y batimetría con una resolución de 30 segundos. Se ha desarrollado a partir de una amplia variedad de fuentes de datos. La tierra y la topografía del hielo proviene de la topografía SRTM30 y ICESat, respectivamente. La batimetría del Océano se basa en un nuevo modelo de satélite gravedad, donde la proporción de la gravedad de la topografía se calibra con 298 millones de sondeos editados.

---

<sup>1</sup> Dinámicas del sistema de la Corriente de Humboldt

## 3.2. Operacionalización de las Variables

En los cuadros 3.1 y 3.2 se muestra la matriz de consistencia...

**Cuadro 3.1:** Matriz de consistencia (i)

Problema Principal	Objetivo Principal	Hipótesis Principal	Variables
Se desconoce la ubicación precisa de ambientes de deposición continua en el margen continental peruano.	Predecir la ubicación de probables ambientes de deposición continua en el margen continental peruano.	La ubicación de los ambientes de deposición continua puede ser identificada mediante el tamaño de grano y la composición de la textura del sedimento, y modelada a través de factores batimétricos y morfológicos.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Variables de Batimetría</li> <li>2. Variables de la Morfología del fondo marino</li> <li>3. Variables de Sedimentología</li> </ol>

**Cuadro 3.2:** Matriz de consistencia

<b>Problema</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Variables</b>
1. No se tiene información a alta resolución que describa las características del fondo marino peruano. Lo cual es necesario para identificar características morfológicas relacionadas a los ambientes de sedimentación.	Modelar la distribución espacial de la profundidad del fondo marino a una alta resolución para obtener rasgos del fondo marino más detallados.	Existen datos de fuentes locales (Perú) que son más confiables en comparación a grillas batimétricas de baja resolución que se emplean a nivel internacional.	1. Ubicación Espacial 2. Profundidad
2. Se necesita conocer las características sedimentarias de los ambientes de deposición continua.	Identificar el perfil sedimentario del ambiente de deposición continua mediante clusters.	Los tipos de ambientes de deposición son caracterizados según el tamaño de grano y la composición de la textura del sedimento.	1. Fracciones granulométricas 2. Parámetros estadísticos del tamaño de grano
3. No se cuenta con índices morfológicos del fondo marino, así que es necesario definir indicadores de morfología y calcularlos de manera cuantitativa en base a un mapa de batimetría de alta resolución.	Determinar índices morfológicos (Pendiente, rugosidad, localización, dimensión, concavidad, entre otros) del fondo marino que sirvan como variables independientes para la detección de depocentros en el relieve marino.	Se puede obtener indicadores morfológicos a partir del mapa de batimetría.	1. Grilla Batimétrica
4. Teóricamente, se conoce que hay asociaciones entre los rasgos de morfología y los ambientes de deposición. Sin embargo, al momento, no se ha cuantificado y definido la significancia de estos rasgos morfológicos en el área del margen continental peruano.	Determinar un modelo espacial para la detección de ambientes de deposición continua en el relieve marino considerando las características morfológicas como covariables.	La presencia de depocentros es explicada por una tendencia en función a los índices de batimetría y morfometría y por un componente espacial.	1. Cercanía a las costas 2. Pendiente 3. Curvatura 4. Distancia a depresiones 5. Pendiente con dirección 6. Variabilidad 7. Tipo de Ambiente Depositional obtenido en el objetivo 2
5. Existen grandes áreas en las que no conocemos si hay presencia de ambientes de deposición continua, los cuales son importantes para obtener información de calidad de los procesos sedimentarios.	Detectar probables ambientes de deposición continua con el perfil de sedimentología identificado.	Se puede detectar probables ambientes de deposición en base al modelo espacial obtenido, incluso en zonas donde se tiene menor información de los perfiles sedimentarios.	1. Tipo de Ambiente Depositional obtenido en el objetivo 2 2. Variables morfológicas significativas obtenidas en el objetivo 4

### **3.3. Recolección y Tratamiento de los datos**

#### **3.3.1. Recolección de Datos**

Se realizó un trabajo de campo...

#### **3.3.2. Pre-procesamiento de los Datos**

Los datos provienen de distintas fuentes por lo que se tuvo que...

#### **3.3.3. Procesamiento de los Datos**

En los aproximadamente 200 millones de puntos que se tienen de muestra, existen ciertos problemas que deben ser solucionados antes de realizar el modelamiento de los datos...

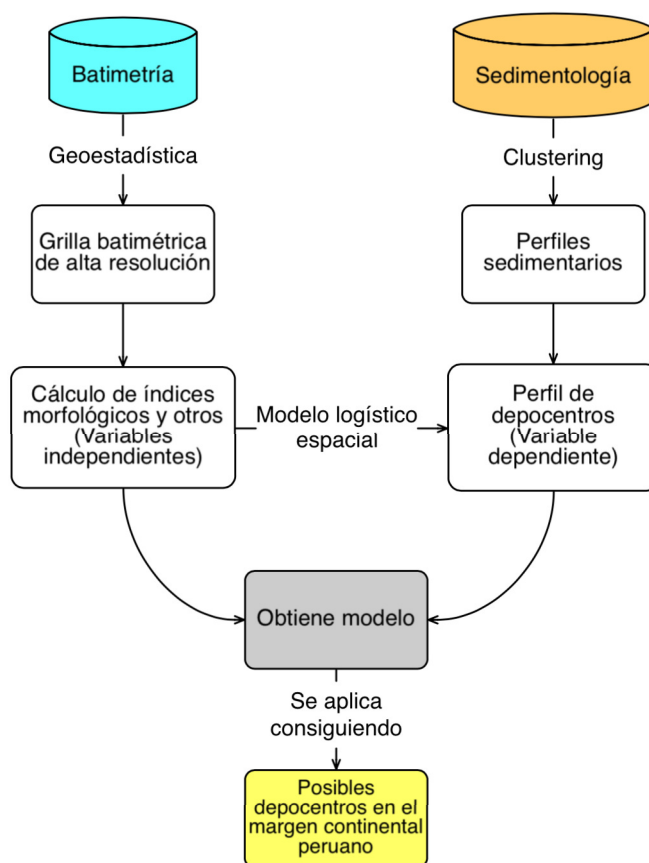
- a) **Detección de ubicaciones inconsistentes:**
- b) **Detección de datos repetidos:**
- c) **Detección de datos pseudo-repetidos:**
- d) **Detección de datos atípicos:**

### **3.4. Metodología del Modelamiento**

Después de realizar el procesamiento de los datos y un análisis exploratorio de datos, continuamos con...

### 3.4.1. Modelamiento de la Detección de Ambientes Deposicionales

El esquema general se muestra en la Fig. 3.3...



**Figura 3.3:** Esquema del modelamiento general del estudio

## Capítulo 4

# Resultados

Los resultados pueden ser separados en secciones que recuerda que deben estar relacionados a los objetivos y preguntas de investigación planteadas...

### 4.1. Predicción de la Batimetría del Mar Peruano

Esta sección responde a los objetivos 1 y 2...

El primer resultado que se obtuvo es..

#### 4.1.1. Comparación del Mapa de Batimetría Obtenido con la Batimetría del Proyecto SRTM30

Una fuerte desventaja del mapa de SRTM30 ... En la tabla 4.1 se muestra las principales características entre las dos grillas.

**Cuadro 4.1:** Comparación del Mapa de Batimetría Obtenido con la Batimetría del Proyecto SRTM30

<b>Características</b>	<b>Mapa batimétrico del estudio</b>	<b>Mapa batimétrico de SRTM-30</b>
Resolución	Alta (50 metros)	Baja (1000 metros aprox.)
Detalle	Mayor detalle en zonas con mayor información	Menor detalle
Error de predicción	Si tiene	No tiene
Detalle	Mayor detalle en zonas con mayor información	Menor detalle
Información local	Cuenta con datos de DHN, IRD e IMARPE	No tiene
Cruceros internacionales	Cuenta con datos de la NOAA	Cuenta con datos de la NOAA

#### **4.1.2. Comparación entre un Modelo que no Considera la Diferencia entre Fuentes de Datos y el Modelo Empleado**

La discrepancia entre fuentes de datos no es homogénea espacialmente...

### **4.2. Identificación de Clusters Sedimentarios**

Responde a los siguientes objetivos

#### **4.2.1. Clusters Encontrados Según los Perfiles de Sedimentología**

Se encontraron cuatro clusters de perfiles sedimentarios según la granulometría y la composición de textura de los sedimentos...

#### **4.3. Modelamiento de Presencia de Depocentros Sedimentarios**

Responde a los siguientes objetivos...



#### **4.3.1. Variables Consideradas y Factores Incorporados al Modelo**

En primer lugar se considera un modelo lineal generalizado para capturar la tendencia explicada por la morfología y batimetría del fondo marino...

### **4.4. Predicción de la Ubicación de Depocentros Sedimentarios**

Responde al último objetivo...

#### **4.4.1. Características Generales del Mapa de Probabilidades sobre la Presencia de Depocentros**

La zona norte puede...

# Capítulo 5

## Discusión

Tu interpretación de los resultados según los objetivos...

### **5.1. Acerca de la Batimetría**

La grilla batimétrica obtenida en el estudio es de alta resolución ...

### **5.2. Acerca de los Posibles Ambientes de Deposición Continua**

El mapa de predicción de ambientes de deposición continua...

# Capítulo 6

## Conclusiones

El presente estudio tiene el objetivo principal de predecir ambientes de deposición continua en el margen continental peruano...

### 6.1. De la Batimetría

(Obj. 1) La nueva grilla de batimetría obtenida...

(Obj. 3) Gracias a la batimetría obtenida y herramientas útiles...

### 6.2. De los Posibles Ambientes de Deposición Sedimentaria

(Obj. 2) En primer lugar, se determinó el perfil sedimentario...

(Obj. 4) Las principales variables...

(Obj. 5) El mapa de la distribución de probables ambientes...

### **6.3. De los Modelos Espaciales**

La aplicación de técnicas espaciales para la limpieza, análisis y modelamiento de datos en un gran área...

# **Apéndice**

## **Apéndice A Explicación del Diseño de Investigación**

Los anexos son temas útiles que pueden ayudar a entender mejor la tesis.

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

## **Apéndice B Estadística y Probabilidades**

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum.

### **B.1 Definición de Probabilidad**

Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat.

### **B.2 Estadística Inferencial**

Nam liber tempor cum soluta nobis eleifend option congue nihil imperdiet doming id quod mazim placerat facer possim assum.

Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis.

### **B.3 Procesos Estocásticos**

At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum.

Consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum.

## **B.4 Teoría de la Información**

Nam liber tempor cum soluta nobis eleifend option congue nihil imperdiet doming id quod mazim placerat facer possim assum. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat. Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat.

Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis.

## **B.5 Procesos Estocásticos**

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed diam nonummy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum.

## **B.6 Estadística Bayesiana**

Consetetur sadipscing elitr, sed diam nonummy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonummy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonummy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.



# Bibliografía

Diggle, P. J. and Ribeiro, P. J. (2007). *Model-based Geostatistics (Springer Series in Statistics)*, volume 1. Springer.

Gumiaux, C., Gapais, D., and Brun, J. (2003). Geostatistics applied to best-fit interpolation of orientation data. *Tectonophysics*, 376(3-4):241–259.

Sun, Y., Li, B., and Genton, M. G. (2012). Geostatistics for Large Datasets. *Advances and Challenges in Space-time Modelling of Natural Events*, 207.