

# CIÊNCIAS DO MAR:

Estudos Sobre  
o Ambiente  
Marinho e Costeiro

Paulo Alexandre de Sousa Falé  
(organizador)



EDITORA  
ARTEMIS

2024

# CIÊNCIAS DO MAR:

Estudos Sobre  
o Ambiente  
Marinho e Costeiro

Paulo Alexandre de Sousa Falé  
(organizador)



EDITORA  
ARTEMIS

2024



O conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons Atribuição-Não-Comercial NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0). Direitos para esta edição cedidos à Editora Artemis pelos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento, desde que sejam atribuídos créditos aos autores, e sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

A responsabilidade pelo conteúdo dos artigos e seus dados, em sua forma, correção e confiabilidade é exclusiva dos autores. A Editora Artemis, em seu compromisso de manter e aperfeiçoar a qualidade e confiabilidade dos trabalhos que publica, conduz a avaliação cega pelos pares de todos manuscritos publicados, com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

<b>Editora Chefe</b>	Prof. <sup>a</sup> Dr. <sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira
<b>Editora Executiva</b>	M. <sup>a</sup> Viviane Carvalho Mocellin
<b>Direção de Arte</b>	M. <sup>a</sup> Bruna Bejarano
<b>Diagramação</b>	Elisangela Abreu
<b>Organizador</b>	Paulo Alexandre de Sousa Falé
<b>Imagem da Capa</b>	Vvoenny/123RF
<b>Bibliotecário</b>	Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

#### Conselho Editorial

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ada Esther Portero Ricol, *Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”*, Cuba  
Prof. Dr. Adalberto de Paula Paranhos, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil  
Prof. Dr. Agustín Olmos Cruz, *Universidad Autónoma del Estado de México*, México  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Amanda Ramalho de Freitas Brito, Universidade Federal da Paraíba, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Clara Monteverde, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Júlia Viamonte, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal  
Prof. Dr. Ángel Mujica Sánchez, *Universidad Nacional del Altiplano*, Peru  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Angela Ester Mallmann Centenaro, Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Begoña Blandón González, *Universidad de Sevilla*, Espanha  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Carmen Pimentel, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Catarina Castro, Universidade Nova de Lisboa, Portugal  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cirila Cervera Delgado, *Universidad de Guanajuato*, México  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cláudia Neves, Universidade Aberta de Portugal  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cláudia Padovesi Fonseca, Universidade de Brasília-DF, Brasil  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil  
Prof. Dr. David García-Martul, *Universidad Rey Juan Carlos de Madrid*, Espanha  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Deuzimar Costa Serra, Universidade Estadual do Maranhão, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Dina Maria Martins Ferreira, Universidade Estadual do Ceará, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Edith Luévano-Hipólito, *Universidad Autónoma de Nuevo León*, México  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Eduarda Maria Rocha Teles de Castro Coelho, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal  
Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers, Universidade de São Paulo (USP), Brasil  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elvira Laura Hernández Carballido, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, México



Prof.ª Dr.ª Emilas Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste/ Universidad Tecnológica Nacional, Argentina*  
Prof.ª Dr.ª Erla Mariela Morales Morgado, *Universidad de Salamanca, Espanha*  
Prof. Dr. Ernesto Cristina, *Universidad de la República, Uruguay*  
Prof. Dr. Ernesto Ramírez-Briones, *Universidad de Guadalajara, México*  
Prof. Dr. Fernando Hitt, *Université du Québec à Montréal, Canadá*  
Prof. Dr. Gabriel Díaz Cobos, *Universitat de Barcelona, Espanha*  
Prof.ª Dr.ª Gabriela Gonçalves, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal  
Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil  
Prof.ª Dr.ª Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis, Argentina*  
Prof.ª Dr.ª Glória Beatriz Álvarez, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*  
Prof. Dr. Gonçalo Poeta Fernandes, Instituto Politécnico da Guarda, Portugal  
Prof. Dr. Gustavo Adolfo Juarez, *Universidad Nacional de Catamarca, Argentina*  
Prof. Dr. Guillermo Julián González-Pérez, *Universidad de Guadalajara, México*  
Prof. Dr. Håkan Karlsson, *University of Gothenburg, Suécia*  
Prof.ª Dr.ª Iara Lúcia Tescarollo Dias, Universidade São Francisco, Brasil  
Prof.ª Dr.ª Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura, Peru*  
Prof.ª Dr.ª Isabel Yohena, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*  
Prof. Dr. Ivan Amaro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil  
Prof. Dr. Iván Ramon Sánchez Soto, *Universidad del Bío-Bío, Chile*  
Prof.ª Dr.ª Ivânia Maria Carneiro Vieira, Universidade Federal do Amazonas, Brasil  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz, *University of Miami and Miami Dade College, Estados Unidos*  
Prof. Dr. Jesús Montero Martínez, *Universidad de Castilla - La Mancha, Espanha*  
Prof. Dr. João Manuel Pereira Ramalho Serrano, Universidade de Évora, Portugal  
Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, UniFIMES - Centro Universitário de Mineiros, Brasil  
Prof. Dr. Jorge Ernesto Bartolucci, *Universidad Nacional Autónoma de México, México*  
Prof. Dr. José Cortez Godinez, Universidad Autónoma de Baja California, México  
Prof. Dr. Juan Carlos Cancino Diaz, Instituto Politécnico Nacional, México  
Prof. Dr. Juan Carlos Mosquera Feijoo, *Universidad Politécnica de Madrid, Espanha*  
Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, *Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín, Colômbia*  
Prof. Dr. Juan Manuel Sánchez-Yañez, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México*  
Prof. Dr. Juan Porras Pulido, *Universidad Nacional Autónoma de México, México*  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil  
Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil  
Prof.ª Dr.ª Livia do Carmo, Universidade Federal de Goiás, Brasil  
Prof.ª Dr.ª Luciane Spanhol Bordignon, Universidade de Passo Fundo, Brasil  
Prof. Dr. Luis Fernando González Beltrán, *Universidad Nacional Autónoma de México, México*  
Prof. Dr. Luis Vicente Amador Muñoz, *Universidad Pablo de Olavide, Espanha*  
Prof.ª Dr.ª Macarena Esteban Ibáñez, *Universidad Pablo de Olavide, Espanha*  
Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodriguez, *Universidad Santiago de Compostela, Espanha*  
Prof. Dr. Manuel Simões, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal  
Prof.ª Dr.ª Márcia de Souza Luz Freitas, Universidade Federal de Itajubá, Brasil  
Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil  
Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, Universidade Federal de Sergipe, Brasil  
Prof.ª Dr.ª Mar Garrido Román, *Universidad de Granada, Espanha*  
Prof.ª Dr.ª Margarida Márcia Fernandes Lima, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil  
Prof.ª Dr.ª María Alejandra Arecco, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*  
Prof.ª Dr.ª Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia, Brasil  
Prof.ª Dr.ª Maria Carmen Pastor, *Universitat Jaume I, Espanha*



Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Maria da Luz Vale Dias – Universidade de Coimbra, Portugal  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Maria do Céu Caetano, Universidade Nova de Lisboa, Portugal  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, Universidade Federal do Maranhão, Brasil  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> M<sup>ª</sup>Graça Pereira, Universidade do Minho, Portugal  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Maria Gracinda Carvalho Teixeira, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> María Guadalupe Vega-López, *Universidad de Guadalajara, México*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Maria Lúcia Pato, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Maritza González Moreno, *Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Mauriceia Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras, Brasil  
Prof. Dr. Melchor Gómez Pérez, Universidad del País Vasco, Espanha  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Ninfa María Rosas-García, Centro de Biotecnología Genómica-Instituto Politécnico Nacional, México  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Odara Horta Boscolo, Universidade Federal Fluminense, Brasil  
Prof. Dr. Osbaldo Turpo-Gebera, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Peru*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras, Brasil  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Paula Arcoverde Cavalcanti, Universidade do Estado da Bahia, Brasil  
Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará, Brasil  
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares, Universidade Federal do Piauí, Brasil  
Prof. Dr. Sérgio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí, Brasil  
Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Silvia Inés del Valle Navarro, *Universidad Nacional de Catamarca, Argentina*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Solange Kazumi Sakata, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)- USP, Brasil  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Stanislava Kashtanova, *Saint Petersburg State University, Russia*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Susana Álvarez Otero – Universidad de Oviedo, Espanha  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Teresa Cardoso, Universidade Aberta de Portugal  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Teresa Monteiro Seixas, Universidade do Porto, Portugal  
Prof. Dr. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa, Brasil  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Vera Lúcia Vasilévski dos Santos Araújo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil  
Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilar, *Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Colômbia*  
Prof. Dr. Xosé Somoza Medina, *Universidad de León, Espanha*

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

C569 Ciências do mar [livro eletrônico] : estudos sobre o ambiente marinho e costeiro / Organizador Paulo Alexandre de Sousa Falé. – Curitiba, PR: Artemis, 2024.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

Edição bilingue

ISBN 978-65-81701-30-7

DOI 10.37572/EdArt\_281024307

1. Ciências do mar. 2. Oceanografia. 3. Recursos marinhos. I. Falé, Paulo Alexandre de Sousa.

CDD 333.9164

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



## INTRODUÇÃO

As ciências do mar desempenham um papel crucial na compreensão dos ecossistemas marinhos e costeiros, que são essenciais para a biodiversidade e a saúde do planeta.

Neste contexto, o presente livro, "Ciências do Mar: Estudos Sobre o Ambiente Marinho e Costeiro", reúne uma série de pesquisas que exploram aspectos fundamentais desses ambientes, desde a ecologia de assembleias de peixes até os impactos ambientais causados por atividades industriais.

Os estudos apresentados aqui abordam questões relevantes, como a dinâmica das comunidades de peixes em manguezais e a avaliação dos efeitos de poluentes em solos portuários. Além disso, são discutidos aspectos da biologia marinha, como os hábitos alimentares de espécies de cefalópodes, contribuindo para uma melhor compreensão da dinâmica das cadeias alimentares marinhas.

A governança e a sustentabilidade são temas centrais nas investigações, destacando a importância de uma gestão adequada dos recursos marinhos e costeiros para a resiliência desses ecossistemas. A reflexão sobre práticas de governança portuária e suas implicações para o meio ambiente é fundamental para promover um futuro mais sustentável.

Este livro visa não apenas compartilhar conhecimentos científicos, mas também inspirar novas discussões e ações voltadas para a conservação e o uso sustentável dos ambientes marinhos. Ao explorar as interconexões entre a biologia, a ecologia e as práticas de gestão, esperamos contribuir para um entendimento mais amplo sobre a importância de proteger nossos oceanos e costas.

Convidamos o leitor a embarcar nesta jornada de descoberta e reflexão, explorando as contribuições que moldam o nosso entendimento sobre os oceanos e seus ecossistemas.

Paulo Alexandre de Sousa Falé

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1.....1**

O MODELO DE GOVERNAÇÃO PORTUÁRIA E SUA INFLUÊNCIA NA CRIAÇÃO DE RESILIÊNCIA

Paulo Alexandre de Sousa Falé

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_2810243071](https://doi.org/10.37572/EdArt_2810243071)

### **CAPÍTULO 2.....17**

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LAS PLANTAS TERMOELÉCTRICAS EN LA CONCENTRACIÓN DE As, Cu, Ni, Pb Y V EN SUELOS DEL PUERTO DE CORONEL-CHILE

Elizabeth González

Pedro Tume

Felipe Neira

José Neira

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_2810243072](https://doi.org/10.37572/EdArt_2810243072)

### **CAPÍTULO 3..... 29**

SIMILARIDADE DE UMA ASSEMBLEIA DE PEIXES TELEÓSTEOS EM UM MANGUEZAL, ILHA DE SÃO LUÍS, MARANHÃO, BRASIL

Maria do Socorro Saraiva Pinheiro

Nivea Fernanda Maria Ferreira Costa

João Filipe Soares da Silva

Denilson da Silva Bezerra

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_2810243073](https://doi.org/10.37572/EdArt_2810243073)

### **CAPÍTULO 4..... 41**

ANNUAL STOMACH CONTENTS OF THE CUTTLEFISH *SEPIA OFFICINALIS*, L., 1758 FROM THE CENTRAL ALGERIAN COAST

Hanane Kennouche

Ahmed Noaur

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_2810243074](https://doi.org/10.37572/EdArt_2810243074)

### **SOBRE O ORGANIZADOR..... 53**

### **ÍNDICE REMISSIVO ..... 54**

## CAPÍTULO 2

### EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LAS PLANTAS TERMOELÉCTRICAS EN LA CONCENTRACIÓN DE As, Cu, Ni, Pb Y V EN SUELOS DEL PUERTO DE CORONEL- CHILE

Data de submissão: 15/09/2024

Data de aceite: 04/10/2024

#### Elizabeth González

Departamento de Química Ambiental  
Facultad de Ciencias  
Universidad Católica de la Santísima  
Concepción-Chile  
<https://orcid.org/0009-0002-0785-8969>

#### Pedro Tume

Departamento de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Católica de la Santísima  
Concepción-Chile  
<https://orcid.org/0000-0002-8616-0771>

#### Felipe Neira

Unidad de Innovación  
Investigación y Desarrollo  
Viña de Neira, Chile  
<https://orcid.org/0009-0000-9835-0292>

#### José Neira

Departamento Análisis Instrumental  
Facultad de Farmacia  
Universidad de Concepción-Chile  
<https://orcid.org/0000-0002-3910-6203>

**RESUMEN:** En este trabajo se investigaron las concentraciones de metales pesados (como As, Cu, Ni, Pb y V) en suelos superficiales (0-10 cm) y subsuperficiales (10-20 cm) de la comuna de Coronel, Chile. El estudio se centró en analizar la influencia de las termoeléctricas locales en la variabilidad de estos metales, dado que la quema de combustibles fósiles por estas instalaciones puede llevar a la emisión atmosférica de metales que luego son depositados en el suelo por diferentes mecanismos, como partículas en suspensión, lluvia, niebla o viento. El rápido desarrollo comercial e industrial en el Puerto de Coronel, ha generado preocupaciones sobre la contaminación provocada por las termoeléctricas en la zona. El objetivo de este estudio fue determinar y comparar las concentraciones de As, Cu, Ni, Pb y V en suelos de diferentes zonas geográficas cercanas a las termoeléctricas. Para el análisis de metales se realizó la digestión de las muestras con agua regia y se analizaron por Espectrofotometría de Absorción Atómica. Los resultados mostraron un incremento significativo, para la mayoría de los metales estudiados, en las zonas más cercanas a las termoeléctricas.

**PALABRAS CLAVES:** Metales pesados. Termoeléctrica. Contaminación suelos.



## EVALUATION OF THE EFFECT OF THERMOELECTRICS PLANTS ON THE CONCENTRATION OF As, Cu, Ni, Pb AND V IN SOILS OF THE PORT OF CORONEL-CHILE

**ABSTRACT:** In this work, the concentrations of heavy metals (such as As, Cu, Ni, Pb and V) in superficial (0-10 cm) and subsurface (10-20 cm) soils from the commune of Coronel, Chile were investigated. The study focused on analyzing the influence of local thermoelectric plants on the variability of these metals, given that the burning of fossil fuels by these facilities can lead to the atmospheric emission of metals that are then deposited in the soil by different mechanisms, such as particles in suspension, rain, fog or wind. The rapid commercial and industrial development in the Port of Coronel has raised concerns about pollution caused by thermoelectric plants in the area. The objective of this study was to determine and compare the concentrations of As, Cu, Ni, Pb and V in soils from different geographical areas close to thermoelectric plants. For the analysis of metals, the samples were digested with aqua regia and analyzed by Atomic Absorption Spectrophotometry. The results showed a significant increase, for most of the metals studied, in the areas closest to the thermoelectric ones.

**KEYWORDS:** Heavy metal. Thermoelectric. Soil contamination.

### 1 INTRODUCCIÓN

Dentro de los diferentes tipos de contaminación del suelo, la más peligrosa y preocupante es la contaminación por metales pesados. Estos elementos químicos resultan ser altamente tóxicos para el ser humano, y representan un grave riesgo ambiental. Entre los metales pesados más peligrosos estudiados, se encuentran el As, Cu, Ni, Pb y V. La peligrosidad de estos contaminantes se debe principalmente a su uso extensivo, alta toxicidad y amplia capacidad de dispersión. Estos metales pesados tienen la capacidad de trasladarse de una matriz, siendo finalmente depositados tanto en sedimentos como en suelos. Por ello, en términos de toxicidad, los metales pesados resultan particularmente peligrosos cuando se encuentran en su forma catiónica y están enlazados a cadenas cortas de átomos de carbono. La razón de esta peligrosidad radica en la afinidad de estos cationes metálicos por el azufre, lo que les permite formar compuestos con este elemento presente en las enzimas que catalizan las reacciones metabólicas en el cuerpo humano. Esta interacción interfiere con el funcionamiento de las enzimas y por ende, afecta negativamente la salud del organismo (Baird, 2001).

Una de las razones por las que las concentraciones de metales pesados en los suelos presentan variaciones, es debido a la climatología del lugar. La movilización de estos contaminantes se ve favorecida por la alternancia entre períodos de humedecimiento y la desecación del suelo. Este ciclo de cambios provoca la oxidación de compuestos, lo que resulta en la liberación de metales pesados y, al mismo tiempo, en la acidificación del suelo. (Gómez *et al.*, 2013). Adicionalmente, los metales pesados se encuentran de forma

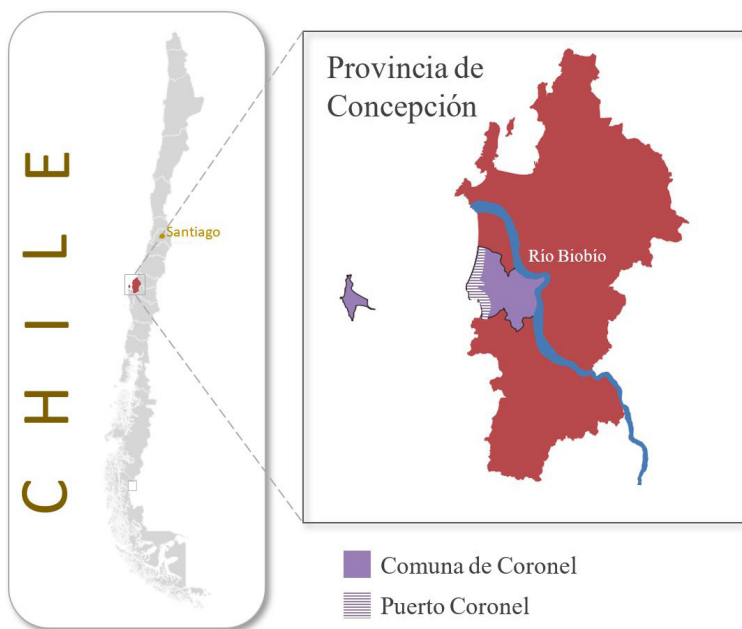
natural en la corteza terrestre presentes en sales, minerales u otros compuestos. Dado que estos metales no desempeñan funciones metabólicas específicas en los seres vivos, no pueden ser degradados ni destruidos fácilmente por procesos naturales o biológicos generando un gran impacto en la cadena trófica (Abollino *et al.*, 2002).

La principal preocupación respecto a los peligros de los metales pesados en el suelo radica en su tendencia a bioacumularse, tanto en los cultivos como en el propio suelo. La bioacumulación se refiere al incremento en la concentración de un producto químico dentro de un organismo vivo a lo largo del tiempo, en comparación con la concentración de dicho producto químico en el ambiente circundante (Angelova *et al.*, 2004).

Coronel experimenta un significativo crecimiento demográfico, colocándola como la cuarta comuna con mayor crecimiento en la Región del Biobío - Chile. Además, Coronel se conoce como la “zona de sacrificio” más al sur del país. En figura 1 se muestra la ubicación del Puerto de Coronel.

Hasta el año 2023, el Puerto de Coronel albergaba dos centrales termoeléctricas de Enel (anteriormente Endesa), central Termoeléctrica Bocaminas 1 y central Termoeléctrica Bocaminas 2. El principal problema asociado a estas instalaciones es la liberación de metales pesados durante el proceso de generación de energía, como As, Cu, Pb, Ni y V entre otros. Estos elementos representan serios riesgos para la salud. Por ejemplo, el Arsénico puede causar problemas gastrointestinales y cardíacos, así como alteraciones neurológicas y renales (Yu, H., et al., 2020).

Figura 1: Localización del Puerto Coronel, Chile.



En el sitio de la Unión de Científicos Comprometidos (UCS) con la ciencia digna, se establece que, en promedio, una planta Termoeléctrica de 500 MW, genera al año, aproximadamente 77 kilos de mercurio, 102 kilos de Arsénico, 51 kilos de plomo, 1,8 kilos de Cadmio, otros metales pesados tóxicos, e incluso, pequeñas cantidades de Uranio, (Medellín, 2002). Este riesgo, derivado de contaminación por metales pesados, está directamente relacionado con la concentración, especiación, y biodisponibilidad de cada metal, características que determinan su reactividad, la movilidad, y la capacidad de ser absorbido por las plantas y los animales que habitan en el medio (McBride, 1994). Demográficamente, hasta el año 2017, la Comuna de Coronel contaba con aproximadamente 113.074 habitantes, de los cuales el 97,3% vivía en la zona Urbana. Sin embargo, la densidad media de la población no proporciona una medida completa, ya que la distribución de los habitantes es muy desigual, siendo el Centro Urbano de Coronel de la Costa, la zona con la mayor concentración de la población. En los años posteriores al 2017, se ha observado un aumento de la población en esta zona, destacando la importancia de la ubicación industrial en este contexto.

La industria del Carbón, fue la que le proporcionó a la Comuna de Coronel, el impulso y sustento económico que le dio vida, así como también, fue responsable de marcar socioculturalmente a los habitantes del lugar. Una de sus primeras huellas se produjo cuando la industria carbonífera sufrió una caída significativa durante, aproximadamente, tres décadas, lo que generó un alto porcentaje de desempleo en la zona.

Durante el año 2005, la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) emitió un Informe de Gestión de la Calidad del Aire, en donde declara que la termoeléctrica Bocamina es la principal fuente emisora de material particulado (MP10), la cual aporta cerca de 11.000 toneladas al año de este contaminante. Debido a los contaminantes emanados por las termoeléctricas ubicadas en la zona de Coronel, los cuales son emitidos tanto en aire, como en suelo y en agua, es que se han realizado análisis de esta tres matrices en distintas áreas, teniendo en cuenta que durante los últimos, se ha mantenido un importante interés en la concentración de metales en los suelos. Además de los contaminantes emitidos por las industrias, existen factores geográficos que favorecen la dinámica de los contaminantes, así como también favorecen la distribución de éstos en los alrededores de la zona.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 ZONA DE ESTUDIO

La zona de muestreo corresponde a sectores cercanos a las termoeléctricas Bocamina y Santa María de la Comuna de Coronel, donde se recolectaron muestras de suelos urbanos en 15 puntos de muestreo (ver figura 2).

Figura 2: Localización de las estaciones de muestreo de suelos superficiales y subsuperficiales del Puerto de Coronel-Chile.



En cada punto se recolectaron muestras superficiales (0 a 10 cm) y subsuperficiales (10 a 20 cm).

### 2.2 PRETRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS

Las muestras de suelo recolectadas fueron secadas en estufa a 40°C por 24 horas, luego tamizadas con una malla de 2 mm, y almacenadas en bolsas de polietileno herméticas, para el posterior análisis.

Posteriormente las muestras secas de suelo (0,5 g) fueron digeridas con agua regia HCl/HNO<sub>3</sub>; (3:1), ambos ácidos de calidad Suprapur. Luego la muestra se filtró y diluyó con agua MilliQ, y aforó a un volumen de 25 mL.

## 2.3 DETERMINACIÓN DE LOS METALES EN LAS MUESTRAS DE SUELOS

La determinación de los metales As, Cu, Ni, Pb y V, se realizó por Espectrofotometría de Absorción Atómica a la llama, en un equipo GBC 902. Las que fueron leídas a las longitudes de onda 193,7 nm, 324,7 nm, 232,0 nm, 283,3 nm, 318,4 nm, para As, Cd, Ni, Pb y V respectivamente. La llama usada fue mezcla Aire-Acetileno y Óxido Nitroso-Acetileno. La cuantificación de los metales estudiados se realizó por curva de calibración a partir de estándares de concentración 1.000 ppm, procedencia Merck.

Para la validación de la metodología se utilizó el material de referencia certificado Sandy 2, Clay 2 y Sand 1.

El Arsénico se analizó mediante formación de hidrocarburos con Borohidruro de Sodio, mientras que el Vanadio se determinó usando una solución con Yoduro de Potasio. Ambos metales fueron detectados con llama de Óxido Nitroso-Acetileno.

## 2.4 NIVELES DE CONTAMINACIÓN EN LAS MUESTRAS DE SUELO

Con el objeto de evaluar el impacto que presentan las muestras de suelos superficiales y subsuperficiales del puerto Coronel por la concentración de metales estudiados, se determinó los índices de geoacumulación (Igeo). La cuantificación del índice de geoacumulación definido por Müller (Müller, G., 1969) como:

$$I_{geo} = \log_2 (C_n / 1,5 B_n)$$

donde:  $C_n$  = concentración del metal en este estudio,  $B_n$  = valor geoquímico de *background* correspondiente a los valores de la roca madre de la zona.

## 3 RESULTADOS

Los resultados muestran que las concentraciones medias de Ni y Pb subsuperficiales son menores a las obtenidas superficialmente, prácticamente en todos los casos. En todas las zonas de estudio, la media de las concentraciones de Pb, As y Cu fue superior a la del valor *background*, mientras que la concentración media de V superficial fue menor a la de su valor *background* (ver tabla 1).

Las concentraciones medias de Ni subsuperficiales se encuentra bajo el valor *background*, en todas las zonas de muestreo. El Ni a profundidad superficial supera el valor *background* en las zonas de muestreo 1, 2 y 4, que corresponden a las más cercanas a las termoeléctricas (ver tabla 1). El contenido medio de V fue únicamente superior al valor *background* en la profundidad subsuperficial de la zona 3 de estudio (ver tabla 1).

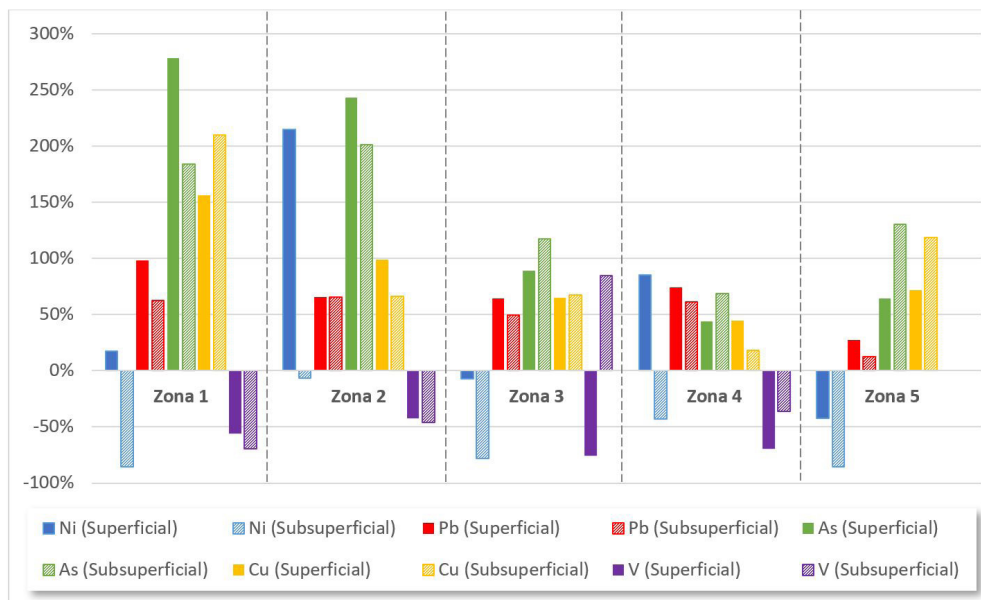
En las zonas de estudio 1, 2, 3 y 4 las concentraciones medias de Pb y As tanto en profundidad superficial como subsuperficial fueron superior en un 44% del valor *background* (ver figura 3). En la zona de muestro 1 las concentraciones medias de As y Cu superaron en más de un 150% el valor *background*, tanto en profundidad superficial como subsuperficial, manteniendo esta tendencia el As para la zona de muestreo 2 (ver figura 3).

La mayor diferencia de contenido medio entre distintas profundidades para un mismo metal en una misma zona de estudio fue el Ni en la zona 2, pasando de una concentración media de 115,8 mg/Kg en suelo superficial a 34,3 mg/Kg en profundidad subsuperficial, considerando el valor *background* de 36,8 mg/Kg. Otras diferencias considerables son las de, Ni en zona 1 de 43,2 mg/Kg en suelo superficial a 5,3 mg/Kg en profundidad subsuperficial, y V en zona 3 de 32,6 mg/Kg en suelo superficial a 249,3 mg/Kg en profundidad subsuperficial (ver figura 3).

Tabla 1: Concentraciones medias de metales en zonas de estudio para suelos superficial y subsuperficial.

	Zona	Concentraciones Media (mg/Kg)				
		Ni	Pb	As	Cu	V
Profundidad Superficial	1	43,2	142,2	1,2	31,5	59,5
	2	115,8	118,7	1,1	24,5	77,6
	3	34,0	117,9	0,6	20,3	32,6
	4	68,1	125,0	0,4	17,8	41,3
	5	21,1	91,2	0,5	21,1	-
Profundidad Subsuperficial	1	5,3	116,6	0,9	38,1	41,1
	2	34,3	118,7	0,9	20,4	73,1
	3	8,1	107,3	0,7	20,6	249,3
	4	20,9	115,8	0,5	14,5	86,0
	5	5,3	80,8	0,7	26,9	-
<b>Valor Background</b>		<b>36,8</b>	<b>71,7</b>	<b>0,3</b>	<b>12,3</b>	<b>134,8</b>

Figura 3: Variación porcentual de las concentraciones medias de As, Cu, Ni, Pb y V en muestras de suelos superficiales y subsuperficiales del puerto de Coronel – Chile, respecto al valor background.



### 3.1 ÍNDICE DE GEOACUMULACIÓN

Con el propósito de establecer el grado de contaminación de las muestras de suelo superficial y subsuperficial, se determinaron los Índices de Geoacumulación (Igeo), para cada metal estudiado. Este índice toma valores entre 0 (no contaminado) a 6 (extremadamente contaminado). (Müller, G., 1969). Se aplicó el índice de geoacumulación como una forma ampliamente utilizada de evaluación del grado de contaminación por metales pesados en ambientes impactados (Silva, L., 2002).

A continuación, se presentan las tablas con los valores de Igeo y su clasificación en cuanto a grado de contaminación, para las muestras superficiales y subsuperficiales respecto a los metales estudiados.

Tabla 2: Valores de Igeo para Ni, Pb, Cu, V y As de las muestras superficiales de los suelos del puerto Coronel.

Muestra		Igeo Ni	Igeo Pb	Igeo Cu	Igeo V	Igeo As
Zona 1	1	0,826	3,356	3,766	5,941	0,741
	2	0,534	3,322	4,286	0,989	0,806
	3	0,668	3,252	2,438		0,145
	<b>Promedio</b>	<b>0,676</b>	<b>3,310</b>	<b>3,497</b>	<b>3,465</b>	<b>0,564</b>

Zona 2	1	1,257	3,046	3,842		-0,304
	2	2,363	3,326	3,718		1,128
	3	2,420	3,371	1,289	1,525	0,145
	<b>Promedio</b>	<b>2,013</b>	<b>3,248</b>	<b>2,950</b>	<b>1,525</b>	<b>0,323</b>
Zona 3	1	0,135	3,014	3,012	0,085	0,161
	2	0,510	3,002	2,834	0,601	-0,790
	3	0,340	3,103	3,265	0,070	-0,822
	<b>Promedio</b>	<b>0,328</b>	<b>3,040</b>	<b>3,037</b>	<b>0,252</b>	<b>-0,484</b>
Zona 4	1	1,251	3,191	3,019		-1,581
	2	1,046	3,081	2,552		-1,758
	3	1,650	3,099	2,952	0,615	0,128
	<b>Promedio</b>	<b>1,315</b>	<b>3,124</b>	<b>2,841</b>	<b>0,615</b>	<b>-1,071</b>
Zona 5	1	-0,381	2,623	2,800		-0,474
	2	-0,671	2,713	3,196		-0,667
	3	-0,066	2,670	3,277		-0,697
	<b>Promedio</b>	<b>-0,373</b>	<b>2,669</b>	<b>3,091</b>		<b>-0,613</b>

Basados en la clasificación de los índices de geoacumulación las muestras de suelo superficiales del Puerto de Coronel en estudio se consideran como: “No contaminado a moderadamente contaminado”, para Ni y As; “fuertemente contaminado” para Pb y Cu y de “no contaminado a fuertemente contaminado” para V (ver tabla 2).

Para las muestras de suelo subsuperficiales del Puerto de Coronel en estudio se consideran como: “fuertemente contaminadas” para Pb y Cu, de “no contaminado a moderadamente contaminado” para Ni y As y de “no contaminado a fuertemente contaminado” para V (ver tabla 3).

Tabla 3: Valores de Igeo para Ni, Pb, Cu, V y As de las muestras subsuperficiales de los suelos del puerto Coronel.

	Muestra	Igeo Ni	Igeo Pb	Igeo Cu	Igeo V	Igeo As
Zona 1	1	-2,815	3,002	3,766	0,598	0,419
	2	-1,723	2,996	4,691	0,615	-0,015
	3	-2,783	3,075	2,842		0,093
	<b>Promedio</b>	<b>-2,440</b>	<b>3,024</b>	<b>3,766</b>	<b>0,606</b>	<b>0,166</b>
Zona 2	1	-0,355	2,997	3,144	1,501	-0,474
	2	0,678	3,115	3,313	0,615	0,827
	3	0,525	3,037	2,630	1,914	0,145
	<b>Promedio</b>	<b>0,283</b>	<b>3,050</b>	<b>3,029</b>	<b>1,343</b>	<b>0,166</b>



Zona 3	1	-0,704	2,826	3,443	0,964	0,161
	2	-2,782	2,885	2,792	4,202	-0,282
	3	-2,801	2,996	2,874	2,885	-0,609
	<b>Promedio</b>	<b>-2,096</b>	<b>2,902</b>	<b>3,036</b>	<b>2,684</b>	<b>-0,243</b>
Zona 4	1	-0,365	3,028	3,048	1,495	-0,449
	2	-0,707	2,975	2,265	0,090	-1,072
	3	-0,087	3,038	2,215	2,506	-0,304
	<b>Promedio</b>	<b>-0,386</b>	<b>3,014</b>	<b>2,509</b>	<b>1,364</b>	<b>-0,608</b>
Zona 5	1	-2,824	2,428	3,405		-0,527
	2	-1,718	2,486	3,677		0,684
	3	-2,773	2,567	3,247		-1,152
	<b>Promedio</b>	<b>-2,439</b>	<b>2,493</b>	<b>3,443</b>		<b>-0,332</b>

Determinar la materia orgánica en el suelo es crucial para el estudio de metales pesados porque influye en la disponibilidad y movilidad de estos. La materia orgánica puede formar complejos con metales, afectando su solubilidad y disponibilidad para las plantas. Además, actúa como un reservorio de metales, modula su toxicidad y puede influir en la movilidad y la capacidad de los metales para entrar en la cadena alimentaria (Chen, Z., 2018). En tabla 4 se presenta los valores medios y rangos de materia orgánica por zona.

A través de la prueba del análisis de varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis no se ha encontrado que existe diferencias entre el porcentaje de materia orgánica entre las zonas geográficas (valor-p=0.091), destacando que, en todas las zonas estudiadas, el valor medio de la MO no supera 1,31% (ver tabla 4).

Otro parámetro importante de determinar es el pH porque afecta la solubilidad y la disponibilidad. Un pH bajo puede aumentar la solubilidad de metales tóxicos, mientras que un pH alto puede precipitar ciertos metales, reduciendo su disponibilidad. Además, el pH influye en la interacción de los metales con la materia orgánica y los minerales del suelo, afectando su movilidad y toxicidad (McBride, 1994). Los valores de pH de las muestras van desde suelos ácidos a neutros (ver tabla 4).

Tabla 4: Valores de la media y rangos de los parámetros físico-químicos de las muestras de suelo.

	Zona	pH		Materia Orgánica (MO)	
		Media	Rango	Media	Rango
Profundidad Superficial	1	5,46	5,26 - 5,60	1,24	0,58 - 2,09
	2	5,21	4,60 - 5,52	0,56	0,41 - 0,75
	3	6,56	6,11 - 6,86	0,43	0,09 - 0,76
	4	6,15	5,91 - 6,50	0,71	0,24 - 0,99
	5	5,97	5,72 - 6,10	0,69	0,39 - 0,99
Profundidad Subsuperficial	1	6,16	5,91 - 6,39	1,31	0,35 - 1,89
	2	5,68	4,74 - 6,39	0,48	0,11 - 0,69
	3	6,52	6,05 - 7,42	0,27	0,11 - 0,38
	4	6,28	6,01 - 6,64	0,39	0,21 - 0,63
	5	6,08	5,92 - 6,17	0,69	0,38 - 0,90

## 4 CONCLUSIÓN

La mayoría de los metales analizados mostraron concentraciones más altas en las zonas de muestreo 1 y 2, cercanas a las plantas termoeléctricas.

En todas las zonas de estudio, la media de las concentraciones de Pb, As y Cu fue superior a la del valor *background*, mientras que la concentración media de V superficial fue menor a la de su valor *background*.

Las concentraciones medias de Ni subsuperficiales se encuentra bajo el valor *background*, en todas las zonas de muestreo.

Las muestras de suelo superficiales del Puerto de Coronel se consideran como: No contaminado a moderadamente contaminado, para Ni y As; fuertemente contaminado para Pb y Cu y de no contaminado a fuertemente contaminado para V. Mientras que las muestras de suelo subsuperficiales se consideran como: fuertemente contaminadas para Pb y Cu, de no contaminado a moderadamente contaminado para Ni y As y de no contaminado a fuertemente contaminado para V.

## 5 AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ciencias de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, por el apoyo brindado. Y al proyecto FONDECYT N°1130366.

## REFERENCIAS

Abollino, O., Aceto, M., Malandrino, M., Mentaste, E., Sarzanini, C. and Barberis, R., 2002. *Distribution and Mobility of Metals in Contaminated Sites*. Chemometric Investigation of Pollutant Profiles. Environmental Pollution.

Angelova V., Ivanova, R., Delibaltova, V. and Ivanov, K., 2004. *Bio-accumulation and distribution of heavy metals in fibre crops (flax, cotton and hemp)*. Industrial Crops and Products.

Baird C. 2001. *Química Ambiental*. Segunda Edición. Editorial REVERTÉ, S.A. Barcelona, España.

Chen, Z., & Liao, X., 2018. *Effects of Soil Organic Matter on the Availability and Mobility of Heavy Metals in Soils: A Review*. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(1), 123-137.

Gómez D., Gómez M.T., 2013. *Evaluación de Impacto Ambiental*. Ediciones Nobel, S.A. España.

McBride, M.B., 1994 *Environmental chemistry of soils*. Oxford University Press, Inc., New York.

Medellín P., 2002. *Impacto Ambiental de una Termoeléctrica*. Universidad Autónoma de San Luis de Potosí, México.

Müller, G.; 1969. *Geol. J.*, 2, 109.

Silva, L., W.; Matos, R.; Kristosch, G.; 2002. *Quim. Nova*, 25, 753.

Yu, H., Liu, Y., & Yan, Y., 2020. Health effects of arsenic exposure: A review of epidemiological and experimental studies. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(12), 14442-14458. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08479-0>

## SOBRE O ORGANIZADOR

**PAULO ALEXANDRE DE SOUSA FALÉ:** Engenheiro de Proteção Civil formado pela Universidade Lusófona do Porto (ULP, Portugal) e Mestre em Gestão de Emergência e Socorro pelo Instituto Superior de Ciências da Informação e da Administração (ISCIA, Portugal). Realizou duas pós-graduações: Em Gestão Municipal de Proteção Civil (ISCIA, Portugal) e Máster en Dirección y Gestión de Proyectos (IMF Business School, Espanha). Atualmente é Diretor de Operações Portuárias e Segurança e Oficial de Proteção Portuária, na Administração dos Portos da Região Autónoma da Madeira (APRAM S.A., Portugal) e foi durante vários anos oficial de operações do Subcentro de Busca e Salvamento Marítimo do Funchal (MRSC Funchal, Portugal). Foi facilitador da International Maritime Rescue Federation (IMRF, Suécia) em formações de Mass Rescue Subject-Matter Expert e impulsor do Plano de Resgate em Elevada Escala da Região Autónoma da Madeira. Autor do artigo *Challenges in bathing waters drowning risk management. A Case Study in the Madeira Island*, tem desenvolvido investigação e estudo contínuo nas áreas de avaliação e gestão do risco e resiliência portuária.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Administração 2, 6, 5, 7, 8, 11, 12, 14

Análise multivariadas 29, 30, 33

Associações de peixes 30, 38

### C

Contaminación suelos 17

Cuttlefish 41, 42, 43, 44, 45, 48, 49, 50, 51

### D

Diet 41, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51

Diet indices 41

### G

Gestão 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15

Governança 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 14

### M

Metales pesados 17, 18, 19, 20, 24, 26

### P

Portuária 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15

Prey frequency 41, 43, 44

### R

Resiliência 1, 2, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15

Risco 2, 8, 9, 10, 11, 13

### S

Sazonalidade 29, 30, 35, 36, 37, 38

Seasons 41, 45, 48

### T

Termoeléctrica 17, 19, 20, 21, 22, 27, 28