

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA



**METALES PESADOS EN ALGAS MARINAS (*Ulva lactuca* y *Padina gymnospora*)
DE VENEZUELA**

Trabajo Especial de Grado presentado ante
la Universidad Central de Venezuela por la
Br. María José Camaray Pérez para optar al
título de Licenciada en Química.

Caracas, Octubre 2012

Los abajo firmantes designados por la Universidad Central de Venezuela, como integrantes del jurado examinador del Trabajo Especial de Grado titulado:

**“METALES PESADOS EN ALGAS MARINAS (*Ulva lactuca* y *Padina gymnospora*)
DE VENEZUELA”**

Presentado por la *Br. María José Camaray Pérez*, certificamos que este trabajo cumple con los requisitos exigidos por nuestra Magna Casa de Estudios para optar por el título de Licenciado en Química.

Prof. María A. Álvarez

Prof. Santiago Gómez

Prof. Luis Gómez

Yo, Prof. María A. Álvarez, Investigadora del Centro de Química Analítica de la Escuela de Química de la Universidad Central de Venezuela certifico que, el presente Trabajo Especial de Grado, titulado:

**“METALES PESADOS EN ALGAS MARINAS (*Ulva lactuca* y *Padina gymnospora*)
DE VENEZUELA”**

Que presenta la Br. María José Camaray Pérez, para aspirar al título de Licenciado en Química, ha sido realizado en el Centro de Química Analítica de la Escuela de Química de la Universidad Central de Venezuela, bajo mi dirección, durante los años 2011 y 2012, y con esta fecha autorizo su presentación.

Caracas, 25 de Octubre del 2012

Prof. María A. Álvarez
(Tutora)

RESUMEN

En este trabajo se determinó el contenido de los metales Zn, Fe, Cu, Cr, Ni, Pb y Cd en diferentes muestras de especies de algas marinas, localizadas en zonas costeras de los estados Vargas y Aragua. En total se analizaron 32 muestras. El análisis químico de las muestras se realizó mediante Espectrometría de Absorción Atómica con Llama (FAAS) y Espectrometría de Absorción Atómica con Atomización Electrotérmica (ET AAS) luego de llevarlas a solución ácida, mediante su digestión en un digestor de microondas. Los datos fueron analizados empleando diferentes herramientas estadísticas (ANOVA de una vía, Cluster Análisis, Correlaciones Múltiples y Análisis de Componentes Principales).

Se encontraron los mayores valores de concentración de Cu, Ni y Pb en La Gonzalera y de Cd y Cr en la localidad de Taguao, ambas del Edo. Vargas, encontrándose diferencias significativas en estas localidades con respecto al resto. Las localidades con menor contenido metálico fueron Isla de Aves, Dependencias Federales, Cepe y Puerto Escondido del Edo. Aragua, las cuales se consideraron como zonas de referencias de valores base. De acuerdo a los resultados la especie *Padina gymnospora* presentó mayor capacidad de preconcentración de Hg, Cd y Fe que *Ulva lactuca* por lo que resulta mejor especie biomonitora.

Se confirmó la existencia de dos valores para la relación Pb/Ni, la cual fuera previamente observada en el estudio que fundamentó esta tesis, la cual se asocia a la existencia de dos fuentes de contaminación por Pb (derrame e crudos en la zona y empleo de gasolinas). Esta doble relación fue también observada en este estudio para los elementos Cd, Cr y Cu.

Algunas de las muestras analizadas presentan concentraciones de Ni y Cr consideradas elevadas y derivadas de actividades antrópicas bien determinadas. Los valores de Cr, Ni y de Cd también superan los valores determinados en 2010 en algas de las mismas localidades, lo cual se atribuyó al incremento de las actividades en la localidad de Taguao, desembarco y consumo de combustible, debido a introducción de las barcazas generadoras de energía que actualmente complementan la actividad de la planta eléctrica Josefa Joaquina Sánchez.

Este trabajo fue financiado por el proyecto CDCH UCV PG-06-7155-2008/2.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre, por ser un ejemplo a seguir e inculcarme los valores y principios que han hecho de mí lo que soy.

A mi padre, por creer siempre en mí aun cuando yo había perdido la fe. A mis hermanas por el apoyo y la confianza.

A Max por acompañarme en los buenos y malos momentos por estos 4 años y contando... Espero que sean muchísimos más.

A mi tutora, por brindarme su ayuda, conocimiento y ánimo durante todo este proceso.

A mis profesores y compañeros del CQA, en especial a Oriana, por darnos ánimo mutuamente y no dejar caer a ninguno. Son un equipo maravilloso.

A las chicas Tharis, porque aun cuando no estamos juntas físicamente, siempre mantenemos el contacto para apoyarnos.

A Alexis, por facilitarme los libros que usé a lo largo de la carrera, con su sonrisa habitual.

¡Gracias a todos!

TABLA DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	2
La contaminación.....	2
Tipos de contaminación	2
Contaminación industrial.....	3
Contaminación por descargas humanas.....	4
Contaminación atribuida a la navegación.....	4
Contaminación derivada de la agricultura y la ganadería.....	4
Normativas sobre la contaminación por metales pesados en aguas marinas.....	5
Organismos marinos como indicadores de contaminación por metales pesados	9
Estudios de contaminación por metales pesados en especies de algas <i>U. lactuca</i> y <i>P. gymnospora</i>	17
Estudios de metales pesados en especies marinas de Venezuela	22
III. OBJETIVOS	27
Objetivo General	27
Objetivos específicos	27
IV. PARTE EXPERIMENTAL	28
Equipos	28
Reactivos	29
Metodología	30
Muestreo.....	30

Tratamiento de las muestras	34
Análisis químico.....	35
Determinación total de Hg mediante CV-AFS.....	35
Análisis simultáneo de Cd, Cu, Ni, Cr y Pb mediante ET AAS.....	36
Análisis de Fe y Zn mediante FAAS	37
Determinación del contenido metálico en las muestras de algas.....	38
Estudio ambiental de las muestras	39
Lugar de trabajo.....	39
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
Validación y Figuras de Mérito de las metodologías de análisis	40
Población de algas analizadas	41
Contenido metálico de muestras de algas analizadas	42
Contenido metálico por localidad de muestreo	44
Concentraciones por especie de alga	47
Estudios de agrupamiento	51
Análisis realizado para la totalidad de la data	52
Análisis de agrupamiento	52
Estudio de Correlaciones Múltiples	53
Análisis de Componentes principales	59
Estudio del efecto de las variables Localidad y Especie	61
Posibles fuentes de entrada de metales pesados en las aguas marinas en distintas localidades de la costa central, Venezuela	62
Análisis realizado para las especies <i>U. lactuca</i> y <i>P. gymnospora</i> para el conjunto de datos de Urdaneta ^[47] y el presente	65

VI. CONCLUSIONES	67
VII. RECOMENDACIONES	68
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
IX. APÉNDICES	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales sustancias contaminantes de acuerdo al sector industrial.....	3
Tabla 2. Clasificación de las aguas en Venezuela, según Decreto 883 (1995) Venezuela.....	6
Tabla 3. Parámetros físicos, químicos y biológicos de las aguas Tipo 3 y Tipo 4, según el Decreto 883 (1995) Venezuela.....	7
Tabla 4. Límites máximos de concentración de las descargas al medio marino-costero según decreto.....	8
Tabla 5. Concentraciones máximas de metales permitidas en aguas saladas, según la EPA	9
Tabla 6. Organismos que pueden ser empleados como indicadores de la calidad del agua	11
Tabla 7. Estudios de metales pesados en organismos marinos.....	14
Tabla 8. Estudios de metales pesados en algas, <i>Ulva lactuca</i> y <i>Padina gymnospora</i>	20
Tabla 9. Estudios de metales pesados en aguas saladas de Venezuela.....	25
Tabla 10. Muestras recolectadas.....	33
Tabla 11. Programa de digestión de las algas en el digestor de Microondas	35
Tabla 12. Programa térmico para la determinación simultánea de Cd, Cu, Cr, Ni y Pb por ETAAS.....	37
Tabla 13. Intervalo de concentración para la determinación mediante FAAS y CV-AFS	38
Tabla 14. Concentraciones en la muestra certificada Oyster Tissue NIST - 1566b*	40

Tabla 15. Límites de detección LOD y masas características <i>mo</i>	41
Tabla 16. Especie y localidad de las muestras de algas colectadas	41
Tabla 17. Concentraciones en la población de muestras analizadas.....	42
Tabla 18. Intervalos de concentraciones en algas examinadas en la Antártica ^[20]	44
Tabla 19. Concentración promedio por localidad	45
Tabla 20. Concentraciones determinadas en algas provenientes de diversas localidades de Venezuela ^[47]	47
Tabla 21. Concentraciones promedio por especie de alga	47
Tabla 22. Contenido metálico en las especies <i>U. lactuca</i> , <i>Padina sp.</i> y <i>Sargassum sp</i> obtenidos en localidades internacionales. Recopilación de Eisler ^[38]	50
Tabla 23. Concentraciones promedio por especie de alga obtenidas en localidades venezolanas* ^[47]	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Especies a ser empleadas	31
Figura 2. Zonas de recolección de muestras	32
Figura 3. Esquema de digestión total de las muestras de algas	34
Figura 4. Esquema de la oxidación en la determinación de Hg por CV- AFS	36
Figura 5. Diagrama de cajas y bigotes para las muestras analizadas	43
Figura 6. Diagrama de cajas y bigotes para las muestras analizadas excluyendo el Cr.....	43
Figura 7. Diagrama de cajas y bigotes para los elementos entre localidades.....	46
Figura 8. Diagrama de cajas y bigotes para cada especie de alga	48
Figura 9. Diagrama de cajas y bigotes para los elementos en distintas especies.....	49
Figura 10. Dendograma obtenido para las muestras de algas	52
Figura 11. Correlaciones significativas obtenidas en la data.....	53
Figura 12. Correlaciones del Ni con otros elementos.	56
Figura 13. Correlaciones del Cr con otros elementos.	57
Figura 14. Correlaciones entre el Hg y el Fe.....	58
Figura 15. Correlaciones entre el Zn y el Cu	59
Figura 16. Gráfico de Pesos de los componentes (PCA).....	60

I. INTRODUCCIÓN

La sociedad científica alrededor del mundo encara retos con el propósito de estudiar las causas, predecir las consecuencias y encontrar soluciones a la contaminación ambiental, la cual representa uno de los principales problemas que enfrenta actualmente nuestro planeta^[1].

El hábitat marino es afectado por la contaminación que conlleva a un aumento en la cantidad de metales pesados en sus lechos a causa de las actividades humanas, tales como la industria, agricultura, minería y otras. Los metales pesados son grandes contaminantes debido a su persistencia en condiciones naturales, toxicidad y debido a que pueden ser incorporados en la cadena alimenticia, por medio de la cual, aumenta la concentración a medida que se consumen alimentos que contienen metales pesados^[2].

Las algas marinas son productos esenciales en algunas regiones costeras. Algunas especies son consideradas como materia prima por la diversidad de productos de importancia económica en el consumo humano y de animales de manera directa o indirecta, por lo que es necesario monitorear la bioacumulación de contaminantes en ellas^[3].

Adicionalmente, la absorción de contaminantes por las algas se ha utilizado para monitorear y evaluar el escenario del ecosistema marino. Diferentes especies de algas pueden proporcionar resultados diferentes, ya que la absorción de los metales pesados varía con la especie. Debido a esto, es importante seleccionar aquellas que expresen los mejores y más acertados para llegar a resultados confiables y oportunos.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. La contaminación

La contaminación se define como la introducción de agentes biológicos, químicos o físicos a un medio al que no pertenecen, los cuales conllevan a una modificación no deseable de la composición natural de este medio. La contaminación ambiental se revela con la alteración del medio natural y con el aumento de las concentraciones de alguno o algunos de sus componentes naturales. Estas alteraciones pueden tener efectos adversos para la salud y el equilibrio ecológico, a corto o a largo plazo. La contaminación acuática es uno de los tipos de contaminación más frecuente, y puede surgir a partir de factores naturales, o bien debido a diferentes procesos desarrollados por el hombre a los cuales se denominan factores antrópicos ^[1].

A las sustancias o formas de materia que causan estos efectos se les denomina contaminantes tóxicos. La toxicidad es la capacidad de una sustancia para causar daño a un organismo. También se puede decir que es una característica de aquellas sustancias o residuos que, a determinadas dosis y luego de haber estado en contacto con la piel o las mucosas o de haber penetrado el organismo por cualquier vía, poseen la capacidad de provocar, por acción química o fisicoquímica, un daño en la salud funcional u orgánica, reversible o irreversible ^[1].

2.2. Tipos de contaminación

Peña et al. (2005) ^[1] establece cuatro tipos principales de contaminación de las aguas, asociados a las actividades humanas: la industrial, por descargas urbanas, por la navegación y por la agricultura y la ganadería.

La contaminación industrial es uno de los tipos de contaminación que produce mayor impacto, por la gran variedad de materiales y fuentes de energía que puede aportar al agua, tales como: materia orgánica, incremento de pH y temperatura, radioactividad, concentración de aceites, grasas, etc. Entre las industrias más contaminantes se encuentran: las petroquímicas, lácteas, agroalimentarias, energéticas (térmicas, nucleares, hídricas, etc.), papeleras, siderúrgicas, alimenticias, textiles y mineras ^[1]. En la Tabla 1 se muestran los principales contaminantes del sector industrial.

Tabla 1. Principales sustancias contaminantes de acuerdo al sector industrial ^[1]

Sector industrial	Principales sustancias contaminantes
Automotor	Aceites lubricantes, pinturas y aguas residuales.
Construcción	Sólidos en suspensión, metales, pH.
Energía	Calor, hidrocarburos y productos químicos.
Fertilizantes	Nitratos y fosfatos.
Fibras químicas	Aceites minerales y otros que afectan el balance del oxígeno.
Minería	Sólidos en suspensión, metales pesados, materia orgánica, pH, cianuros.
Naval	Petróleo, productos químicos, disolventes y pigmentos.
Pasta y Papel	Sólidos en suspensión y otros que afectan el balance del oxígeno.
Pinturas, barnices y tintas	Compuestos organoestámicos, compuestos de Zn, Cr, Se, Mo, Ti, Sn, Ba, Co, etc.
Plaguicidas	Organohalogenados, organofosforados, compuestos cancerígenos, biocidas, etc.
Química inorgánica	Hg, P, fluoruros, cianuros, amoníaco, nitritos, ácido sulfhídrico, F, Mn, Mo, Pb, Ag, Se, Zn, etc. y los compuestos de todos ellos.
Química orgánica	Organohalogenados, organosilícicos, compuestos cancerígenos y otros que afectan el balance de oxígeno.
Siderurgia	Cascarillas, aceites, metales disueltos, emulsiones, sosas y ácidos.
Textil y Pielés	Cr, taninos, tensoactivos, sulfuros, colorantes, grasas, disolventes orgánicos, ácido acético y fórmico, sólidos en suspensión.

Contaminación por descargas humanas. Las actividades domésticas producen principalmente residuos orgánicos, pero el alcantarillado arrastra, además, todo tipo de sustancias provenientes de emisiones de los automóviles (hidrocarburos, plomo, otros metales), y otras. En la mayoría de las ciudades costeras de América Latina y el Caribe, las descargas de aguas domésticas ocurren en o muy cerca de playas de recreo. Las descargas de aguas servidas cerca del litoral ocasionan problemas de carácter estético, presentan riesgos potenciales a la ecología y a la salud pública y algunas veces implican consecuencias económicas negativas al restringir el turismo ^[1].

Contaminación atribuida a la navegación. La navegación produce diferentes tipos de contaminación, especialmente por hidrocarburos. Los derrames de hidrocarburos o mareas negras, constituyen una de las formas de contaminación más graves ya que no sólo invaden el hábitat de numerosas especies marinas, sino que en su dispersión alcanzan igualmente costas y playas ^[1].

Contaminación derivada de la agricultura y la ganadería. La agricultura afecta los cuerpos de agua provocando principalmente dos tipos de impacto ^[1]:

- a) Impactos relacionados con la utilización de insumos: son todos los efectos relacionados con la utilización del agua para actividades agrícolas, como por ejemplo, la extracción de recursos acuíferos subterráneos por encima de la recarga media anual o interanual; extracción de recursos acuíferos superficiales sin respetar los caudales mínimos, etc.
- b) Impactos derivados de la emisión de agentes contaminantes: se relaciona con la introducción de elementos, energía o sustancias extrañas al medio, que resultan im procesables o sus cantidades son superiores a la capacidad de asimilación del medio en que se vierten.

Entre las sustancias contaminantes aportadas se encuentran los plaguicidas clorados y fosforados, solventes clorados, dioxinas, nitritos y nitratos, fosfatos, etc.

2.2. Normativas sobre la contaminación por metales pesados en aguas marinas

Para diagnosticar el estado ambiental de un sistema natural se establecen ciertos criterios. Uno de los principales es comparar las concentraciones de los metales analizados con los valores máximos permitidos, establecidos en regulaciones por organismos nacionales e internacionales, para un ambiente determinado.

Considerando que es deber del Estado la protección de las cuencas hidrográficas, la clasificación y control de la calidad de los cuerpos de agua, así como el control de los vertidos o efluentes líquidos susceptibles de degradar el medio acuático y alterar los niveles de calidad exigibles para preservar y mejorar el ambiente, en Venezuela se ha establecido una legislación para el manejo de las costas que incluyen los Parques Nacionales y otras áreas de regulación especial. Asimismo, el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MinAmb) ha establecido los criterios para la clasificación de las aguas, así como los niveles de calidad exigibles, de acuerdo con los usos a que se destinen ^[4]. En la Tabla 2 se encuentra la clasificación de las aguas venezolanas establecidos en el Decreto 883.

A los efectos del Decreto 883 (1995) de la Gaceta Extraordinaria de Venezuela ^[4], a la luz de la situación actual de calidad de aguas en las diversas cuencas hidrográficas del país, para obtener una mejor adecuación a la realidad ambiental y socio-económica del país y en atención a la dinámica científica y técnica, se establecieron los niveles de calidad exigibles de acuerdo con los usos a que se destinen. Algunos de los parámetros físicos, químicos y biológicos de las aguas marinas o de medios costeros establecidos en este decreto se presentan en la Tabla 3.

Tabla 1. Clasificación de las aguas venezolanas, según Decreto 883 (1995) Venezuela [4].

Clasificación	Características
Tipo 1	Aguas destinadas al uso doméstico y al uso industrial que requiera de agua potable, siempre que ésta forme parte de un producto o sub-producto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él.
Sub Tipo 1A	Aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes.
Sub Tipo 1B	Aguas que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración.
Sub Tipo 1C	Aguas que pueden ser acondicionadas por proceso de potabilización no convencional.
Tipo 2	Aguas destinadas a usos agropecuarios.
Sub Tipo 2A	Aguas para riego de vegetales destinados al consumo humano.
Sub Tipo 2B	Aguas para el riego de cualquier otro tipo de cultivo y para uso pecuario.
Tipo 3	Aguas marinas o de medios costeros destinadas a la cría y explotación de moluscos consumidos en crudo.
Tipo 4	Aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia.
Sub Tipo 4A	Aguas para el contacto humano total.
Sub Tipo 4B	Aguas para el contacto humano parcial.
Tipo 5	Aguas destinadas para usos industriales que no requieren de agua potable.
Tipo 6	Aguas destinadas a la navegación y generación de energía.
Tipo 7	Aguas destinadas al transporte, dispersión y desdoblamiento de poluentes sin que se produzca interferencia con el medio ambiente adyacente.

Tabla 3. Parámetros físicos, químicos y biológicos de las aguas Tipo 3 y Tipo 4, según el Decreto 883 (1995) Venezuela. ^[4]

Parámetro	Clase 3 (mg L ⁻¹)	Clase 4 (mg L ⁻¹)
Oxígeno Disuelto	>5*	> 5*
pH	6,5 – 8,5	6,5-8,5
Aceites minerales	0,3	0,3
Detergentes no biodegradables	<1	<1
Detergentes biodegradables	<0,2	<1
Residuos de petróleo, sólidos sedimentable y flotantes	ausentes	ausentes
Metales y otras sustancias tóxicas	no detectable**	no detectable**
Fenoles y sus derivados	0,002	0,002
Biocidas Organofosforados y carbamatos	0,1	0,1
Biocidas Organoclorados	0,2	0,2
Sólidos disueltos totales		desviación menor de 33% de la condición natural

* Este valor también se podrá expresar como porcentaje de saturación, el cual debe ser mayor de 60%.

** Según los métodos aprobados por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

Este decreto también establece que las descargas al medio marino-costero sólo podrán efectuarse en zonas donde se produzca mezcla rápida del vertido con el cuerpo receptor y deben cumplir con los rangos y límites máximos de concentración establecidos ^[4]. Estos límites de concentración están señalados en la Tabla 4.

Igualmente, la Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos (Environmental Protection Agency, EPA) ha establecido los valores máximos de algunos metales permitidos para aguas de mar ^[5], los cuales se muestran en la Tabla 5.

Tabla 4. Límites máximos de concentración de las descargas al medio marino-costero según decreto^[4]

Parámetros	Límite o rango de cumplimiento (mg L⁻¹)
Aceites minerales e hidrocarburos	20
Aceites y grasas vegetales y animales	20
Alkil Mercurio	No detectable
Aluminio total	5
Arsénico total	0,5
Bario total	5
Cadmio total	0,2
Cianuro total	0,2
Cobalto total	0,5
Cobre total	1
Color	500 Unidades de Pt/Co
Cromo total	2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO _{5,20})	60
Demanda Química de Oxígeno (DBO)	350
Detergentes	2
Dispersantes	2
Espuma	Ausente
Fenoles	0,5
Fluoruros	5
Fósforo	10
Mercurio total	0,01
Níquel total	2
Nitrógeno	40
pH	6-9
Plata total	0,1
Plomo total	0,5
Selenio	0,2
Sólidos flotantes	Ausentes
Sulfuros	2
Zinc	10
Biocidas Organofosforados y carbamatos	0,25
Biocidas Organoclorados	0,05

Tabla 5. Concentraciones máximas de metales permitidas en aguas saladas, según la EPA ^[5]

Contaminante	Concentración ($\mu\text{g L}^{-1}$)
As	69
Au	1,9
Cd	40
Cu	4,8
Cr	0,016
Fe	----
Mn	----
Hg	1,8
Se	290
Ni	74
Pb	210
V	----
Zn	90

2.3. Organismos marinos como indicadores de contaminación por metales pesados

Los metales pesados son elementos químicos que se pueden encontrar en la naturaleza tanto en los medios sólido, líquido y gaseoso, así como formando parte de los organismos vivos. La mayoría de ellos cumplen funciones importantes en el metabolismo de los organismos ya que son constituyentes enzimáticos. No obstante a altas concentraciones y determinadas condiciones del medio ambiente estos elementos pueden resultar tóxicos. Generalmente, los organismos vivos cuentan con mecanismos para mantener el equilibrio interno y evitar la intoxicación. Sin embargo, bajo ciertas circunstancias, estos mecanismos pueden ser insuficientes y los metales pesados

pueden producir daños tanto a nivel del metabolismo de los organismos, como a nivel de la transmisión de información genética y, por tanto perturbar el crecimiento o la composición genética de las poblaciones y así afectar la estructura y función de los ecosistemas a través de la alteración de la estructura de las comunidades y los flujos de materia y energía ^[6].

El uso de organismos ha sido propuesto con éxito como una medida indirecta de la abundancia de metales del medio donde se encuentran, ya que proporciona una medida integrada del tiempo de la disponibilidad del metal, la cual es responsable de los efectos potencialmente nocivos en los componentes vivientes de los ecosistemas ^[7].

“El uso sistemático de organismos vivientes o sus respuestas para determinar la condición o cambios del entorno”, es generalmente la definición del biomonitoreo ^[8, 9, 10]. Comparada con la anterior definición, la siguiente refleja mejor el contenido ecológico del biomonitoreo: “El biomonitoreo es un método por el cual se observa el impacto de factores externos en ecosistemas y su desarrollo durante un período, o de determinar las diferencias entre una zona y otra” ^{[11][12]}.

Por otra parte, un bioindicador es “un organismo (o parte de un organismo o una comunidad de organismos) que contiene información de la calidad de un entorno o una parte del entorno” ^[11, 13, 14]. Un indicador “ideal” debe tener al menos las siguientes características: a) solidez taxonómica (fácil de ser reconocido por no especialistas), b) distribución amplia o universal, c) poca movilidad (indicio local), d) características ecológicas conocidas, e) abundancia numérica, f) adecuación para experimentos de laboratorio, g) alta sensibilidad frente al estrés, h) elevada habilidad para cuantificación y estandarización ^[12]. En la Tabla 6 se muestra un grupo de organismos que pueden ser empleados como indicadores de la calidad del agua, así como las principales ventajas y desventajas de su empleo como indicadores ^[15].

Tabla 6. Organismos que pueden ser empleados como indicadores de la calidad del agua ^[15].

Organismo	Ventajas	Desventajas
Bacterias	Metodología rutinaria bien desarrollada; respuesta rápida a cambios incluyendo contaminación fecal. Indicadores de contaminación fecal. Fácil muestreo.	Células que no han sido originadas en el punto de muestreo. Poblaciones recuperadas rápidamente de una contaminación intermitente. Se requiere equipo especial.
Protozoarios	Valores sapróbicos bien conocidos. Rápida respuesta a cambios. Fácil muestreo.	Buena habilidad y conocimiento para identificar taxones. Células que no han sido originadas en el punto de muestreo.
Microalgas (fitoplancton)	Tolerantes a la contaminación bien documentada. Indicadores utilizados para la eutroficación e incremento de turbidez.	Experiencia en taxonomía. Problemas de muestreo con ciertos grupos. No muy usadas para la contaminación orgánica severa.
Macro-invertebrados	Diversidad de formas y hábitats. Muchas especies sedentarias que pueden identificar efectos en el sitio de muestreo. Todas las comunidades responden al cambio. Especies de larga vida. Pueden indicar efectos de contaminación en el tiempo.	Dificultades cuantitativas de muestreo. Sustrato importante durante las muestras. Algunas especies se deben transportar en aguas en movimiento. Conocimiento necesario de su ciclo de vida. Algunos grupos tienen dificultad para su identificación.
Macrofitas (Macroalgas y plantas acuáticas)	Especie fija a un sustrato, usualmente con facilidad de verse e identificarse. Buenos indicadores de material suspendido y enriquecimiento de nutrientes.	Respuesta a la contaminación no bien documentada frecuentemente a contaminación intermitente. Presencia principalmente estacional
Peces	Método bien desarrollado. Efecto fisiológico inmediato obvio. Pueden indicar el efecto en la cadena alimenticia. Fácil identificación.	Las especies pueden migrar para evitar la contaminación.

Las macroalgas se hallan entre los biomonitores más efectivos de contaminación ampliamente empleados, así como también los moluscos, ostiones, mejillones y almejas. La mayor cantidad de los estudios sobre bioacumulación en algas se han realizado principalmente con microalgas (fitoplancton) y los contaminantes más analizados han sido los metales pesados y los hidrocarburos organoclorados (plaguicidas). Entre las especies de macroalgas más empleadas como bioindicadores de metales se encuentran: *Fucus*, *Enteromorpha*, *Ulva*, *Laminaria*, *Porphyra* y *Ascophyllum* ^[16].

El empleo de una gran diversidad de macroalgas marinas como indicadores de metales pesados ha proporcionado información cualitativa de la contaminación ocasionada por dichos metales en una determinada localidad ^[3]. Esto es porque las algas concentran metales pesados en niveles varias veces mayores que los encontrados en las aguas circundantes debido a la acumulación de metales por procesos activos y pasivos que responden esencialmente a la presencia de metales en solución ^[17].

La concentración de metales pesados en algas depende de factores externos (pH, salinidad, moléculas complejas inorgánicas y orgánicas) y de parámetros fisicoquímicos (temperatura, luz, oxígeno y nutrientes) ^[18]. Las algas marinas absorben los metales pesados, primero por un proceso fisicoquímico en su superficie y luego, pasando metabólicamente dentro de las células ^[18].

Las paredes celulares de las algas pardas contienen generalmente tres componentes: celulosa, el soporte estructural; ácido algínico, un polímero de los ácidos mannurónico y galacturónico y las correspondientes sales de Na, K, Mg y Ca; y polisacáridos sulfatados. Como consecuencia, los carboxilatos y sulfatos son los grupos activos predominantes en este tipo de alga. Las algas rojas también contienen celulosa, pero su interés en relación con la biosorción se encuentra en la presencia de polisacáridos sulfatados formados de galactanos (agar y carragenatos). Las algas verdes principalmente están

compuestas por celulosa, y un alto porcentaje de la pared celular son proteínas unidas a polisacáridos para formar glicoproteínas. Estos compuestos contienen varios grupos funcionales (amina, carboxilo, sulfato, hidróxido, etc.) los cuales podrían tener un papel importante en el proceso de biosorción ^[19].

En la Tabla 7 se muestran algunos trabajos sobre el contenido de metales en organismos marinos realizados para determinar posibles especies bioindicadoras (^[20] ^[21]) y en los que se emplean el organismo como especie biomonitora ambiental ^[6] ^[22].

Entre estos trabajos resaltan los siguientes resultados sobre algas:

Farías *et al.* (2002) ^[20] determinaron As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Sr, V, y Zn en once especies de algas de la Antártica. Las muestras se llevaron a solución mediante la digestión asistida por microondas y los elementos se determinaron por plasma inductivamente acoplado con espectrometría de emisión óptica (ICPOES). Los niveles más altos de elementos trazas se encontraron en *Monostroma hariatii* y *Phaeurus antarcticus* con concentraciones de hasta 3.095 $\mu\text{g g}^{-1}$ de Fe. Debido a los niveles de elementos trazas encontrados en *Monostroma hariatii* y su amplia distribución en la Península Antártica, los autores consideran que este organismo puede ser considerado como un adecuado biomonitor para futuros estudios.

Vodopivec C. *et al.* (2004) ^[21] recolectaron seis especies de algas antárticas (rojas y pardas), las cuales fueron examinadas con el objeto de evaluar su capacidad de acumulación de metales en el ambiente marino costero antártico. Las muestras fueron recolectadas en las proximidades de la estación Jubany, localizada en caleta Potter, Isla 25 de Mayo. Los elementos evaluados fueron, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, V y Zn y se midieron por ICP OES. Los mayores niveles de metales fueron observados en *Phaeurus antarcticus*, por lo que los autores discuten su posible empleo como biomonitor de metales pesados en los ecosistemas marinos costeros de la península antártica.

Tabla 7. Estudios de metales pesados en organismos marinos.

Referencia	Especie	Localidad	Resultados	Observaciones																																																								
Fariás et al. (2002) ^[20]	<i>Ascoseira mirabilis</i> <i>Palmaria decipiens</i> <i>Desmarestia anceps</i> <i>Monostroma hariotti</i> <i>Adenocystis utricularis</i> <i>Desmarestia antarctica</i> <i>Himantothallus grandifolius</i> <i>Iridaea cordata</i> <i>Phaeurus antarcticus</i> <i>Georgiella confluens</i> <i>Myriogramme mangini</i>	Antártica	Los rangos de concentraciones ($\mu\text{g g}^{-1}$) de metales en algas examinadas fueron:	Debido a los niveles de elementos trazas encontrados en <i>Monostroma hariotti</i> y su amplia distribución en la Península Antártica, este organismo puede ser considerado como un adecuado biomonitor para futuros estudios																																																								
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Cd</th> <th>As</th> <th>C</th> <th>Cr</th> <th>Cu</th> <th>Fe</th> <th>Mn</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><0,1-</td> <td>5,0-</td> <td>2,4-</td> <td>1,6-</td> <td><0,2-</td> <td>23,6-</td> <td>0,3-</td> </tr> <tr> <td>10,4</td> <td>112</td> <td>357</td> <td>12,1</td> <td>15,2</td> <td>3095</td> <td>6,5</td> </tr> </tbody> </table>		Cd	As	C	Cr	Cu	Fe	Mn	<0,1-	5,0-	2,4-	1,6-	<0,2-	23,6-	0,3-	10,4	112	357	12,1	15,2	3095	6,5																																			
			Cd		As	C	Cr	Cu	Fe	Mn																																																		
			<0,1-		5,0-	2,4-	1,6-	<0,2-	23,6-	0,3-																																																		
			10,4		112	357	12,1	15,2	3095	6,5																																																		
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Mo</th> <th>Ni</th> <th>Pb</th> <th>Se</th> <th>Sr</th> <th>V</th> <th>Zn</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><0,6-</td> <td>1,8-</td> <td><0,6-</td> <td><0,6-</td> <td>6,1-</td> <td>0,1-</td> <td><0,2-</td> </tr> <tr> <td>1,02</td> <td>8,8</td> <td>7,6</td> <td>6,5</td> <td>500</td> <td>38,4</td> <td>15,0</td> </tr> </tbody> </table>		Mo	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn	<0,6-	1,8-	<0,6-	<0,6-	6,1-	0,1-	<0,2-	1,02	8,8	7,6	6,5	500	38,4	15,0																																			
			Mo		Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn																																																		
			<0,6-		1,8-	<0,6-	<0,6-	6,1-	0,1-	<0,2-																																																		
			1,02		8,8	7,6	6,5	500	38,4	15,0																																																		
			Gutiérrez et al. (2003) ^[22]		<i>Mytilus californianus</i>	Costa de Baja California, México.	Valores de concentraciones de metales pesados, en $\mu\text{g g}^{-1}$:	El análisis de agrupamiento entre metales señaló que el Hg se agrupa con la Ag y el Pb en febrero y con la Ag en julio, lo que indicó que sus distribuciones son similares y que tienen un posible origen común. El Fe se asocia con el Al en febrero y con el Al y Mn en julio. Tomando en cuenta sólo metales antropogénicos (Hg, Ag y Pb), el análisis de agrupamiento entre localidades sugiere que se tiene una zona impactada antropogénicamente (zona norte), otra zona de transición (zona centro) y una zona sin impacto (zona sur).																																																				
			<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Hg</th> <th>Co</th> <th>Ni</th> <th>Fe</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Punta Bandera</td> <td>0,168-0,331</td> <td>-</td> <td>2,07</td> <td>515-504</td> </tr> <tr> <td>Punta China</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>1142</td> </tr> <tr> <td>San Quintín</td> <td>0,094</td> <td>2,26</td> <td>1,83</td> <td>1,83</td> </tr> <tr> <td>Piedra Blanca</td> <td>-</td> <td>2,98</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>		Hg	Co	Ni		Fe	Punta Bandera	0,168-0,331	-	2,07	515-504	Punta China	-	-	-	1142	San Quintín	0,094	2,26	1,83	1,83	Piedra Blanca	-	2,98	-	-																															
	Hg	Co	Ni	Fe																																																								
Punta Bandera	0,168-0,331	-	2,07	515-504																																																								
Punta China	-	-	-	1142																																																								
San Quintín	0,094	2,26	1,83	1,83																																																								
Piedra Blanca	-	2,98	-	-																																																								
Medina et al. (2004) ^[6]	<i>Holothuria floridan</i> <i>Isostichopus bacionotus</i> <i>Astichopus multifidus</i> y sedimentos	Zonas de la costa de Yucatán: San Felipe, Progreso y Sisal. México.	Las concentraciones en mg kg^{-1} de peso seco fueron los siguientes:	No existe una relación entre la concentración de los metales en sedimentos y las especies de pepino de mar. Los resultados sirven como referencia para inferir sobre la distribución de los metales pesados en las costas de Yucatán, debido a perturbaciones naturales ocurridas durante el desarrollo de la investigación.																																																								
			<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Cd</th> <th>Cr</th> <th>Cu</th> <th>Pb</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><i>A. multifidus</i></td> <td>0,416</td> <td>0,170</td> <td>0,226</td> <td>0,146</td> </tr> <tr> <td><i>I. bacionotus</i></td> <td>0,795</td> <td>0,326</td> <td>1,010</td> <td>4,311</td> </tr> <tr> <td><i>H. floridana</i></td> <td>2,731</td> <td>0,988</td> <td>1,047</td> <td>2,047</td> </tr> <tr> <td>Sedimentos</td> <td>2,224</td> <td>4,548</td> <td>1,844</td> <td>19,373</td> </tr> </tbody> </table>			Cd	Cr	Cu	Pb	<i>A. multifidus</i>	0,416	0,170	0,226	0,146	<i>I. bacionotus</i>	0,795	0,326	1,010	4,311	<i>H. floridana</i>	2,731	0,988	1,047	2,047	Sedimentos	2,224	4,548	1,844	19,373																															
					Cd	Cr	Cu	Pb																																																				
			<i>A. multifidus</i>		0,416	0,170	0,226	0,146																																																				
			<i>I. bacionotus</i>		0,795	0,326	1,010	4,311																																																				
<i>H. floridana</i>	2,731	0,988	1,047	2,047																																																								
Sedimentos	2,224	4,548	1,844	19,373																																																								
Vodopívez et al. (2004) ^[21]	<i>Ascoseira mirabilis</i> <i>Palmaria decipiens</i> <i>Desmarestia antarctica</i> <i>Iridaea cordata</i> <i>Phaeurus antarcticus</i> <i>Myriogramme mangini</i>	Caleta Potter, isla 25 de Mayo, Antártica.	Concentraciones de metales, expresados en $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco.	De las especies examinadas, <i>Phaeurus antarcticus</i> fue la que presentó mayores posibilidades de empleo como biomonitor: mostró los mayores niveles de metales, es abundante y de simple identificación y muestreo. Sin embargo posee algunas desventajas, pues su distribución se circunscribe a la península Antártica y presenta un patrón complejo de crecimiento que dificulta la identificación de tejidos jóvenes o viejos.																																																								
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Especie</th> <th>Cd</th> <th>Cr</th> <th>Cu</th> <th>Fe</th> <th>Pb</th> <th>V</th> <th>Zn</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><i>Asc. mir.</i></td> <td>1,70</td> <td>3,8</td> <td>9,1</td> <td>81</td> <td><0,6</td> <td>1,1</td> <td>13,3</td> </tr> <tr> <td><i>Pal. dec.</i></td> <td>0,20</td> <td>2,2</td> <td>6,0</td> <td>255</td> <td><0,6</td> <td>6,3</td> <td>8,0</td> </tr> <tr> <td><i>Des. ant.</i></td> <td><0,10</td> <td>2,8</td> <td><0,20</td> <td>32</td> <td><0,6</td> <td>0,10</td> <td>6,3</td> </tr> <tr> <td><i>Iri. cor.</i></td> <td>0,65</td> <td>4,3</td> <td><0,20</td> <td>48</td> <td>1,6</td> <td>2,1</td> <td><0,1</td> </tr> <tr> <td><i>Pha. ant.</i></td> <td>0,75</td> <td>12,1</td> <td>4,1</td> <td>1630</td> <td>8,7</td> <td>18,0</td> <td>5,0</td> </tr> <tr> <td><i>Myr. man.</i></td> <td>2,40</td> <td>1,6</td> <td>10,0</td> <td>75</td> <td>4,3</td> <td>0,5</td> <td><0,1</td> </tr> </tbody> </table>		Especie	Cd	Cr	Cu	Fe	Pb	V	Zn	<i>Asc. mir.</i>	1,70	3,8	9,1	81	<0,6	1,1	13,3	<i>Pal. dec.</i>	0,20	2,2	6,0	255	<0,6	6,3	8,0	<i>Des. ant.</i>	<0,10	2,8	<0,20	32	<0,6	0,10	6,3	<i>Iri. cor.</i>	0,65	4,3	<0,20	48	1,6	2,1	<0,1	<i>Pha. ant.</i>	0,75	12,1	4,1	1630	8,7	18,0	5,0	<i>Myr. man.</i>	2,40	1,6	10,0	75	4,3	0,5	<0,1
			Especie		Cd	Cr	Cu	Fe	Pb	V	Zn																																																	
			<i>Asc. mir.</i>		1,70	3,8	9,1	81	<0,6	1,1	13,3																																																	
			<i>Pal. dec.</i>		0,20	2,2	6,0	255	<0,6	6,3	8,0																																																	
			<i>Des. ant.</i>		<0,10	2,8	<0,20	32	<0,6	0,10	6,3																																																	
			<i>Iri. cor.</i>		0,65	4,3	<0,20	48	1,6	2,1	<0,1																																																	
<i>Pha. ant.</i>	0,75	12,1	4,1	1630	8,7	18,0	5,0																																																					
<i>Myr. man.</i>	2,40	1,6	10,0	75	4,3	0,5	<0,1																																																					

Tabla 7. Estudios de metales pesados en organismos marinos (continuación).

Referencia	Especie	Localidad	Resultados	Observaciones								
Vodopívez et al. (2004) ^[23]	<i>Myriogramme sp.</i> <i>Palmaria decipiens</i> <i>Iridaea cordata</i> <i>Ascoseira mirabilis</i> <i>Desmarestia antarctica</i> <i>Phaeurus antarcticus</i>	Estación Jubany, Isla 25 de Mayo, Islas Shetland del Sur, Antártica.	Valores medios y la desviación estándar de As total y As inorgánico en las cuatro especies de macroalgas analizadas, expresados en $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco.	Se muestra una clara tendencia en referencia a que los niveles de As total en las algas pardas (feofitas) es mayor que en las rojas (rodófitas). La alta capacidad de las macroalgas antárticas para incorporar As y trasformarlo en compuestos orgánicos requiere de futuras investigaciones, ya sea por su rol crítico en la cadena alimenticia de los ecosistemas costeros antárticos o por su posible empleo como recurso alimenticio.								
					División	As Total	As inorgánico					
			<i>Myriogramme sp.</i>		Rodofita	5,8 ± 3,0	0,120 ± 0,001					
			<i>Palmaria decipiens</i>		Rodofita	10,3 ± 2,5	0,41 ± 0,01					
			<i>Iridaea cordata</i>		Rodofita	25,7 ± 4,9	0,56 ± 0,01					
			<i>Ascoseira mirabilis</i>		Feofita	54,9 ± 6,8	0,29 ± 0,01					
			<i>Desmarestia antarctica</i>		Feofita	65,3 ± 6,9	0,49 ± 0,01					
		<i>Phaeurus antarcticus</i>	Feofita	92,5 ± 12,5	0,85 ± 0,01							
Turkmen et al. (2005) ^[24]	<i>Chama pacifica</i> y <i>Ostrea stentina</i>	Bahía de Ískenderun	Concentraciones de metales pesados en las especies examinadas ($\mu\text{g g}^{-1}$):	Las concentraciones de metales variaron entre lugares y especies. Deben tomarse medidas reguladoras para prevenir la amenaza de contaminación por metales pesados en la Bahía de Ískenderum.								
					Cd	Fe	Pb	Zn	Cu			
			<i>C. pacifica</i>		7,53	82,02	62,34	419,8	46,93			
			<i>O. stentina</i>		4,27	270,6	6,21	1002	64,70			
					Mn	Ni	Cr	Co	Al			
	<i>C. pacifica</i>	5,79	22,87	3,36	33,80	130,9						
	<i>O. stentina</i>	25,37	6,92	9,17	8,67	174,3						
Hamed et al. (2005) ^[25]	Agua, sedimentos y tejidos blandos de <i>Patella caerulea</i> y <i>Barbado barbatus</i>	Golfo de Suez, Mar Rojo.	Niveles de metales, en $\mu\text{g g}^{-1}$, en los tejidos blandos de <i>Patella caerulea</i> recogidos en el Golfo de Suez en 4 de 7 estaciones:	Las concentraciones más elevadas de metales se presentaron en el puerto Adabiya, al norte del Golfo, mientras que las más bajas se obtuvieron en Gabal El-Zeit y Hurghada. Las actividades en tierra y los barcos en espera de atracar son las principales fuentes de contaminación por metales en la parte norte del Golfo.								
					Cu	Zn	Pb	Cd	Cr	Ni	Fe	Mn
			I		12,33	183,19	78,25	2,28	8,76	9,87	3,01	89,21
			II		3,24	91,15	7,48	0,81	4,56	8,04	1,56	46,53
			III		6,54	97,28	10,83	1,76	3,02	5,42	2,25	49,31
IV	6,78	106,27	16,56	1,12	4,08	9,18	2,52	56,22				
Vázquez – Saucedo et al. (2006) ^[26]	Agua, sedimentos y ostiones (<i>C. virginica</i>).	Laguna costera de San Andrés, Tamaulipas, México.	Rango de concentraciones de metales ($\mu\text{g g}^{-1}$) en ostión:	El río Tigre puede ser la entrada de contaminación de estos metales hacia la laguna. El Cd en agua y ostión, así como el Pb en agua, presentaron valores superiores a los señalados por las normas.								
					Cu	Mn	Fe	Ni	Cd	Pb	Zn	
			4,0-4,3	2,2-2,4	4,2-6,0	2,6-3,2	2,3-2,4	0,7-0,8	3,0-3,6			
Cebrian et al. (2007) ^[27]	<i>Crambe crambe</i> <i>Chondrosia reniformis</i> <i>Phorbos tenacior</i> <i>Dysidea avara</i>	Mar Mediterráneo	Concentraciones de Cu y Pb en sedimentos y tejidos de esponjas, en $\mu\text{g g}^{-1}$:	Entre todas las especies estudiadas, <i>C. crambe</i> ofreció ventajas en el contexto del control biológico, ya que fue la única especie capaz de bioacumulación de Pb y Cu en función de la biodisponibilidad del metal en los alrededores. Los resultados también sugieren que el modo de incorporación varía en función de los metales traza considerados.								
					Lloret-Castell	La Pilona	St. Feliu harbor					
			<i>Chondrosia reniformis</i>		Cu	11,3±0,8	8,2±0,8	11,0±0,8				
					Pb	2,1±0,7	1,5±0,4	2,1±1,3				
			<i>Crambe crambe</i>		Cu	9,5±0,6	9,1±2,1	42,2±14,2				
					Pb	0,4±0,2	0,3±0,2	1,8±1,3				
			<i>Phorbos tenacior</i>		Cu	34±10	42,9±11,3	91,0±21,3				
					Pb	0,60±0,04	0,5±0,2	0,8±0,7				
<i>Dysidea avara</i>	Cu	47,4±10,3	82,0±32,3	299,3±82,1								
	Pb	0,8±0,2	0,7±0,1	0,4±0,2								

Tabla 7. Estudios de metales pesados en organismos marinos (continuación).

Referencia	Especie	Localidad	Resultados	Observaciones																																																																
Yap et al. (2008) ^[28]	<i>Nerita lineata</i>	Malasia Peninsular.	Promedio de concentraciones de metales pesados en <i>Nerita lineata</i> de 15 sitios de la zona intermareas al oeste de la Malasia Peninsular, en $\mu\text{g g}^{-1}$:	En particular, las muestras recogidas de KSAyam acumularon concentraciones elevadas de Pb en comparación con otros sitios. Esto pudo indicar una alta biodisponibilidad y contaminación de Pb de la zona de estudio. El caracol <i>N. lineata</i> se sugiere como un biomonitor potencial de la biodisponibilidad y la contaminación de metales pesados en general, y en particular de Pb para la zona de intermareas tropical de Malasia peninsular.																																																																
			<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Opérculo</th> <th>Concha</th> <th>Tejido blando</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cd</td> <td>2,99</td> <td>3,15</td> <td>1,03</td> </tr> <tr> <td>Cu</td> <td>6,38</td> <td>5,59</td> <td>16,09</td> </tr> <tr> <td>Fe</td> <td>35,05</td> <td>49,78</td> <td>566,62</td> </tr> <tr> <td>Ni</td> <td>23,34</td> <td>24,18</td> <td>5,85</td> </tr> <tr> <td>Pb</td> <td>48,22</td> <td>48,87</td> <td>92,73</td> </tr> <tr> <td>Zn</td> <td>16,59</td> <td>7,86</td> <td>92,75</td> </tr> </tbody> </table>		Opérculo	Concha	Tejido blando	Cd	2,99	3,15	1,03	Cu	6,38	5,59	16,09	Fe	35,05	49,78	566,62	Ni	23,34	24,18	5,85	Pb	48,22	48,87	92,73	Zn	16,59	7,86	92,75																																					
	Opérculo	Concha	Tejido blando																																																																	
Cd	2,99	3,15	1,03																																																																	
Cu	6,38	5,59	16,09																																																																	
Fe	35,05	49,78	566,62																																																																	
Ni	23,34	24,18	5,85																																																																	
Pb	48,22	48,87	92,73																																																																	
Zn	16,59	7,86	92,75																																																																	
Wallestein et al. (2008) ^[29]	<i>Corallina elongata</i> <i>Gelidium microdon</i> <i>Osmundea truncata</i> <i>Porphyra sp</i> <i>Cystoseira humilis</i> <i>Fucus spiralis</i>	São Miguel (Azores), lugares de muestreo: Santo Antonio, Ferraria, Feteiras, Ponta Delgada, Lagoa.	Concentraciones ($\mu\text{g g}^{-1}$) de metales encontradas, en algunas de las especies, en la localidad de Ferraria:	Comparando los resultados, entre zonas no urbanas con los afectados por el desarrollo urbano o por actividad de aguas hidrotermales, encontraron que los niveles de metales en macroalgas variaron en función de varios factores ambientales. Por lo que se debe tener precaución al comparar los niveles de metales entre distintas zonas con diferentes características. Además, afirmaron que las algas que concentraron mayor cantidad de metales fueron las que se encontraban en las partes más profundas, factor que podría favorecer el intercambio de los elementos con el agua de mar circundante.																																																																
			<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th><i>Corallina elongata</i></th> <th><i>Gelidium microdon</i></th> <th><i>Fucus spiralis</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ca</td> <td>251500±5500</td> <td>1385±95</td> <td>11100±200</td> </tr> <tr> <td>Cd</td> <td>0,10±0,01</td> <td>0,32±0,02</td> <td>1,01±0,25</td> </tr> <tr> <td>Co</td> <td>0,18±0,04</td> <td>0,79±0,04</td> <td>1,14±0,054</td> </tr> <tr> <td>Cs</td> <td>0,01±0,00</td> <td>0,03±0,00</td> <td>0,12±0,01</td> </tr> <tr> <td>Cu</td> <td>0,71±0,14</td> <td>4,18±0,20</td> <td>1,11±0,18</td> </tr> <tr> <td>Fe</td> <td>263,5±13,5</td> <td>1060,5±159,5</td> <td>68,35±2,75</td> </tr> <tr> <td>Hg</td> <td><0,005</td> <td>0,01±0,00</td> <td>0,01±0,00</td> </tr> <tr> <td>K</td> <td>3660±330</td> <td>16850±1950</td> <td>30800±300</td> </tr> <tr> <td>Mg</td> <td>22200±200</td> <td>2215±25</td> <td>7385±275</td> </tr> <tr> <td>Mn</td> <td>26,3±4,2</td> <td>29,1±1,4</td> <td>98,05±2,95</td> </tr> <tr> <td>Ni</td> <td>0,45±0,05</td> <td>15,05±1,85</td> <td>6,65±0,65</td> </tr> <tr> <td>Pb</td> <td>0,29±0,03</td> <td>0,83±0,20</td> <td>0,16±0,04</td> </tr> <tr> <td>Rb</td> <td>0,41±0,04</td> <td>7,83±1,07</td> <td>0,06±0,01</td> </tr> <tr> <td>Se</td> <td><0,20</td> <td>0,30</td> <td><0,20</td> </tr> <tr> <td>Zn</td> <td>34,8±28,2</td> <td>39,35±8,25</td> <td>740±350</td> </tr> </tbody> </table>		<i>Corallina elongata</i>	<i>Gelidium microdon</i>	<i>Fucus spiralis</i>	Ca	251500±5500	1385±95	11100±200	Cd	0,10±0,01	0,32±0,02	1,01±0,25	Co	0,18±0,04	0,79±0,04	1,14±0,054	Cs	0,01±0,00	0,03±0,00	0,12±0,01	Cu	0,71±0,14	4,18±0,20	1,11±0,18	Fe	263,5±13,5	1060,5±159,5	68,35±2,75	Hg	<0,005	0,01±0,00	0,01±0,00	K	3660±330	16850±1950	30800±300	Mg	22200±200	2215±25	7385±275	Mn	26,3±4,2	29,1±1,4	98,05±2,95	Ni	0,45±0,05	15,05±1,85	6,65±0,65	Pb	0,29±0,03	0,83±0,20	0,16±0,04	Rb	0,41±0,04	7,83±1,07	0,06±0,01	Se	<0,20	0,30	<0,20	Zn	34,8±28,2	39,35±8,25	740±350	
	<i>Corallina elongata</i>	<i>Gelidium microdon</i>	<i>Fucus spiralis</i>																																																																	
Ca	251500±5500	1385±95	11100±200																																																																	
Cd	0,10±0,01	0,32±0,02	1,01±0,25																																																																	
Co	0,18±0,04	0,79±0,04	1,14±0,054																																																																	
Cs	0,01±0,00	0,03±0,00	0,12±0,01																																																																	
Cu	0,71±0,14	4,18±0,20	1,11±0,18																																																																	
Fe	263,5±13,5	1060,5±159,5	68,35±2,75																																																																	
Hg	<0,005	0,01±0,00	0,01±0,00																																																																	
K	3660±330	16850±1950	30800±300																																																																	
Mg	22200±200	2215±25	7385±275																																																																	
Mn	26,3±4,2	29,1±1,4	98,05±2,95																																																																	
Ni	0,45±0,05	15,05±1,85	6,65±0,65																																																																	
Pb	0,29±0,03	0,83±0,20	0,16±0,04																																																																	
Rb	0,41±0,04	7,83±1,07	0,06±0,01																																																																	
Se	<0,20	0,30	<0,20																																																																	
Zn	34,8±28,2	39,35±8,25	740±350																																																																	
Yap et al. (2010) ^[30]	<i>Faunus ater</i>	Pantai Sri Tujoh, Pantai Bisikan Bayu, Kg. Telaga Nenas y Kesang Laut, Malasia.	Valores de metales pesados en muestras de hígado de <i>Faunus ater</i> : ($\mu\text{g g}^{-1}$)	El <i>F. ater</i> puede ser utilizado como biomonitor potencial de contaminación por metales pesados en la Península de Malasia, como alterantiva del biomonitor <i>P. viridis</i> .																																																																
			<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Cd</td> <td>20,5±0,4</td> </tr> <tr> <td>Cu</td> <td>26,50±2,58</td> </tr> <tr> <td>Ni</td> <td>2,77±0,74</td> </tr> </tbody> </table>	Cd	20,5±0,4	Cu	26,50±2,58	Ni	2,77±0,74																																																											
Cd	20,5±0,4																																																																			
Cu	26,50±2,58																																																																			
Ni	2,77±0,74																																																																			
Kamaruzzaman et al. (2011) ^[31]	<i>Perna viridis</i>	Pekan, Pahang, Malasia	Concentraciones de metales pesados en $\mu\text{g g}^{-1}$ en tejido de <i>P. viridis</i> :	Las concentraciones de metales pesados fueron menores que las halladas en otras áreas costeras cercanas, a excepción del Fe y Cu. El tejido de <i>Perna viridis</i> puede ser empleado como biomonitor debido a su capacidad natural de regular y acumular concentraciones elevadas de varios metales.																																																																
			<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Fe</td> <td>576,45±87,78</td> </tr> <tr> <td>Zn</td> <td>45,54±8,75</td> </tr> <tr> <td>Cu</td> <td>19,05±4,12</td> </tr> <tr> <td>Co</td> <td>17,85±2,28</td> </tr> <tr> <td>Pb</td> <td>0,47±0,14</td> </tr> <tr> <td>Cd</td> <td>0,30±0,06</td> </tr> </tbody> </table>	Fe	576,45±87,78	Zn	45,54±8,75	Cu	19,05±4,12	Co	17,85±2,28	Pb	0,47±0,14	Cd	0,30±0,06																																																					
Fe	576,45±87,78																																																																			
Zn	45,54±8,75																																																																			
Cu	19,05±4,12																																																																			
Co	17,85±2,28																																																																			
Pb	0,47±0,14																																																																			
Cd	0,30±0,06																																																																			

Wallenstein et al. (2008) ^[29] realizaron estudios para determinar los niveles de referencia de una serie de elementos en las algas inter-mareales, que se producen abundantemente en cuerpos rocosos en los alrededores de la isla de São Miguel (Azores). Asimismo, compararon los resultados obtenidos en zonas no urbanas con las afectadas por el desarrollo urbano o por actividad de aguas hidrotermales, encontrándose que los niveles de metales en macroalgas varían en función de diversos factores ambientales. Además, hallaron que las algas que concentraron mayor cantidad de metales fueron las que se localizaban en los lugares más profundos, lo que podría favorecer el intercambio de los elementos con el agua de mar circundante.

2.4. Estudios de contaminación por metales pesados en especies de algas *Ulva lactuca* Linnaeus y *Padina gymnospora* (Kützting) Sonder

Las especies de algas, *U. lactuca* y *P. gymnospora* han sido estudiadas como potenciales bioindicadoras de contaminación por metales pesados y también han sido empleadas como biomonitoras. En la Tabla 8 se muestran algunos estudios de biomonitoreo de metales pesados empleando las especies *U. lactuca* y *P. gymnospora* como bioindicadores. Entre estos trabajos se resaltan los siguientes:

Nannavechia (2002) ^[32] realizó un estudio in vitro de contaminación por metales pesados en la especie *P. gymnospora*, debido a su alta capacidad para la retención. En esta investigación se obtuvo que la función de la pared celular de *P. gymnospora* depende de la abundancia de polisacáridos polianiónicos y de la concentración de iones metálicos en el medio ambiente. Adicionalmente, se determinó que: a) La acumulación del Cd se observó en paredes celulares en una relación de tres órdenes superior a la acumulación en algas de áreas no contaminadas; b) La presencia de Zn provocó una acumulación mayor de Cd en las paredes celulares de la zona

Tabla 8. Estudios de metales pesados en algas, *U. lactuca* y *P. gymnospora*.

Referencia	Especie	Localidad	Resultados	Observaciones						
Al-Homaidan (2006) ^[33]	<i>P. gymnospora</i> <i>C. myrica</i> <i>H. triquetra</i> <i>S. angustifolium</i>	Al-Khafji y Al-Dammam, en la costa saudita del Golfo Pérsico.	Concentraciones de metales pesados ($\mu\text{g g}^{-1}$ en peso seco) en las muestras de algas recolectadas de las áreas de Al-Khafji y Al-Dammam:	<i>P. gymnospora</i> resultó la mejor especie para ser empleada como biomonitor de contaminación por metales pesados. Se encontraron niveles elevados de Fe y Pb, lo que indicó un alto grado de contaminación en esta área. Las concentraciones de Cd, Cu y Zn fueron similares a los obtenidos en un área no contaminada. Los valores más altos de Zn se encontraron en <i>C. Myrica</i> . Esta especie podría ser utilizada como un indicador de contaminación de Zn.						
			Área		Especie	Cd	Cu	Fe	Pb	Zn
			Al-Khafji		<i>P. gymnospora</i>	1,95	11,23	710	16,00	38,76
					<i>C. myrica</i>	1,33	10,80	533	8,84	28,22
					<i>H. triquetra</i>	0,64	7,09	374	18,42	19,84
					<i>S. angustifolium</i>	1,20	4,90	161	16,76	15,70
			Al-Dammam		<i>P. gymnospora</i>	1,51	7,05	1.466	18,60	47,30
					<i>C. myrica</i>	0,62	6,65	1.002	14,00	75,25
					<i>H. triquetra</i>	0,65	3,95	430	11,90	47,90
					<i>S. angustifolium</i>	1,35	6,60	814	12,05	50,85
Amado-Filho et al. (2006) ^[34]	<i>P. gymnospora</i> , <i>Sargassum sp.</i> , <i>Halodule wrightii</i> , <i>Crassostrea rhizophorae</i>	Bahía de Todos os Santos (TSB, Estado de Bahía, Brasil).	Concentraciones de metales en especies bénticas de Botelho, en $\mu\text{g g}^{-1}$:	El Cd y Cu en las ostras y algas marinas, así como las concentraciones de Ni en las ostras, estaban en el rango de las zonas costeras contaminadas.						
					<i>Halodule wrightii</i>	<i>P. gymnospora</i>	<i>Sargassum sp.</i>	<i>Crassostrea rhizophorae</i>		
			Al		4236±153	4412±133	2688 ± 601	4,3 ± 2,9		
			Cd		1,56±0,18	1,03±0,18	1,29±0,28	8,29 ± 2,43		
			Cr		12,2 ± 4,9	5,5 ± 0,3	9,0 ± 0,5	2,5 ± 0,7		
			Cu		32,2 ± 2,5	32,4 ± 1,3	6,5 ± 0,9	276,1±129,7		
			Fe		5664±460	1967 ± 15	1234±236	330 ± 48		
			Mn		16,1 ± 3,0	630,4±43,1	93,7 ± 5,9	16,4 ± 1,6		
			Ni		8,2 ± 2,7	11,7 ± 0,7	9,1 ± 1,0	531,8 ±92,2		
			Pb		13,6 ± 2,0	9,0 ± 0,5	8,5 ± 1,5	6,6 ± 2,0		
Zn	23,0 ± 3,1	42,6 ± 7,4	13,5 ± 0,8	2099 ± 501						
Güven et al. (2007) ^[36]	<i>Chaetomorpha linum</i> <i>Ulva rígida</i> <i>U. lactuca</i> <i>Enteromorpha linza</i> <i>Cystoseira barbata</i> <i>Pterocladia capillacea</i> <i>Gelidium latifolium</i> <i>Corallina granifera</i> <i>Phyllophora nervosa</i> <i>Corallina officinalis</i> <i>Gracilaria verrucosa</i> .	Costa del Mar Negro de Turquía.	Concentración de metales ($\mu\text{g L}^{-1}$) en aguas marinas	Los metales con mayor acumulación en las especies de algas estudiadas fueron Cu y Mn en <i>C. officinalis</i> , Pb y Zn en <i>P. capillacea</i> , Cd en <i>G. latifolium</i> , Ni en <i>P. nervosa</i> , y Cr en <i>E. Linza</i> . En general, las concentraciones de Cd, Zn y Cr disminuyeron entre 2001 y 2003, mientras que, los niveles de Cu, Mn y Ni aumentaron en el mismo período. En cuanto a las áreas, las mayores cantidades de Cd, Ni, Pb, Zn y Cr se encontraron en Şile, y las de Cu y Mn en Yomra.						
					Cu	Cd	Mn	Pb	Zn	Cr
					1,74±0,1	0,31±0,08	1,6±0,4	<0,01	4,9±0,7	1,8±0,4
			Concentración de metales ($\mu\text{g g}^{-1}$) en algas marinas							
					Cu	Cd	Mn	Pb	Zn	Cr
					8,8±0,2	0,03±0,02	41,7±2	14±2	18±0,2	2,5±0,4
					6,9±0,1	0,13±0,06	57,2±3	<0,02	8,3±0,1	2,5±0,3

Tabla 8. Estudios de metales pesados en algas, *U. lactuca* y *P. gymnospora* (continuación).

Referencia	Especie	Localidad	Resultados	Observaciones																																															
Manivannan et al. (2008) [37]	<i>U. lactuca</i> , <i>Enteromorpha intestinalis</i> , <i>Turbinaria ornata</i> , <i>P. gymnospora</i> , <i>Hypnae valentiae</i> , <i>Gracilaria folifera</i> .	Regiones costeras de Mandapam y la costa sureste de la India	Concentración de metales ($\mu\text{g g}^{-1}$) en algas estudiadas:	La composición mineral varió con la especie. Los resultados del análisis de la composición mineral ha demostrado que es necesario un mayor estudio para evaluar el valor nutricional de las algas. <i>P. gymnospora</i> mostró el mayor contenido de composición de minerales, tales como Cu, Cr, Fe, Pb, S, Ca y K, en comparación con las otras algas marinas; y en <i>U. lactuca</i> se observó el valor máximo de Co.																																															
					Cd	Co	Cr	Cu	Fe																																										
			Máx		E. intestinalis 0,031±0,01	U. lactuca 0,054±0,006	P. gymnospora 1,38±0,17	P. gymnospora 0,85 ±0,039	P. gymnospora 38,0±3,67																																										
			Mín		U. lactuca 0,015±0,003	G. folifera 0,028±0,005	E. intestinalis 0,308± 0.031	G. folifera 0,421±0,02	H. valentiae 10,88±1,68																																										
					Mg	Mn	Ni	Pb																																											
			Máx		U. lactuca 174,5±13,15	H. valentiae 11,22±0,505	H. valentiae 0,439±0,067	P. gymnospora 0,732±0,089																																											
Mín	H. valentiae 39,89±4,56	T. ornata 0,378±0,042	T. ornata 0,063±0,022	T. ornata 0,159±0,036																																															
	Zn	Na	K	Ca																																															
Máx	H. valentiae 1,870±0,066	P. gymnospora 656,6 ± 25,1	P. gymnospora 260 ± 33,4	P. gymnospora 4140 ± 131,1																																															
Mín	G. folifera 0,824±0,056	H. valentiae 293,3±15,2	G. folifera 0,824±0,056	H. valentiae 163,3±23,2																																															
Eisler (2010) [38]	<i>U. lactuca</i> <i>Padina sp.</i> <i>Sargassum sp.</i>		Estudios realizados en la determinación de metales en algas, en mg Kg ⁻¹	Se realizó un compendio de la literatura a nivel mundial de las concentraciones obtenidas de metales traza y metaloides en biota marina. La variabilidad en el contenido elemental de plantas e invertebrados marinos se atribuye a tejido analizado, edad y género del organismo, la proximidad a las fuentes puntuales antropogénicas y naturales, a las variaciones en el pH del agua de mar, la temperatura y la salinidad, y las interacciones con otras sustancias químicas en el medio ambiente, productos químicos orgánicos introducidos sobre todo como resultado de las actividades humanas. La dieta, la composición del sedimento, las diferencias inherentes especies, y el metabolismo de diferentes formas químicas de los metales y metaloides también influyen en el contenido elemental.																																															
			<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Especie</th> <th>Localidad</th> <th>Año</th> <th>Resultados</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Pb</td> <td><i>U. lactuca</i></td> <td>Golfo de California, México</td> <td>2002</td> <td>Agosto 94,0 Febrero 259,0</td> </tr> <tr> <td><i>U. lactuca</i></td> <td>India</td> <td>2004 -2005</td> <td>11,6 (5,9 – 20,3)</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Cd</td> <td><i>U. lactuca</i></td> <td>Golfo de California, México</td> <td>2002</td> <td>Verano 1,3 – 1,5 Invierno 2,6</td> </tr> <tr> <td><i>Padina sp.</i></td> <td>Guam</td> <td>1998-1999</td> <td>0,07-0,26</td> </tr> <tr> <td>Ni</td> <td><i>Sargassum sp.</i></td> <td>Texas, plataforma continental externa</td> <td></td> <td>5,2</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Cr</td> <td><i>U. lactuca</i></td> <td>India</td> <td>2004 -2005</td> <td>22,7 (10,5 – 45,7)</td> </tr> <tr> <td><i>U. lactuca</i></td> <td>Guam</td> <td>1998-1999</td> <td>0,6-14,0</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Cu</td> <td rowspan="2"><i>U. lactuca</i></td> <td rowspan="2">Golfo de California, México</td> <td rowspan="2">2002</td> <td>Verano 23,0 Invierno 44,0</td> </tr> <tr> <td>Agosto 3652,0 Resto del año 500,0 – 1500,0</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Zn</td> <td rowspan="2"><i>U. lactuca</i></td> <td rowspan="2">Golfo de California, México</td> <td rowspan="2">2002</td> <td>Agosto 98,0 Abril 547,0</td> </tr> </tbody> </table>		Especie	Localidad	Año	Resultados	Pb	<i>U. lactuca</i>	Golfo de California, México	2002	Agosto 94,0 Febrero 259,0	<i>U. lactuca</i>	India	2004 -2005	11,6 (5,9 – 20,3)	Cd	<i>U. lactuca</i>	Golfo de California, México	2002	Verano 1,3 – 1,5 Invierno 2,6	<i>Padina sp.</i>	Guam	1998-1999	0,07-0,26	Ni	<i>Sargassum sp.</i>	Texas, plataforma continental externa		5,2	Cr	<i>U. lactuca</i>	India	2004 -2005	22,7 (10,5 – 45,7)	<i>U. lactuca</i>	Guam	1998-1999	0,6-14,0	Cu	<i>U. lactuca</i>	Golfo de California, México	2002	Verano 23,0 Invierno 44,0	Agosto 3652,0 Resto del año 500,0 – 1500,0	Zn	<i>U. lactuca</i>	Golfo de California, México	2002	Agosto 98,0 Abril 547,0
	Especie	Localidad	Año	Resultados																																															
Pb	<i>U. lactuca</i>	Golfo de California, México	2002	Agosto 94,0 Febrero 259,0																																															
	<i>U. lactuca</i>	India	2004 -2005	11,6 (5,9 – 20,3)																																															
Cd	<i>U. lactuca</i>	Golfo de California, México	2002	Verano 1,3 – 1,5 Invierno 2,6																																															
	<i>Padina sp.</i>	Guam	1998-1999	0,07-0,26																																															
Ni	<i>Sargassum sp.</i>	Texas, plataforma continental externa		5,2																																															
Cr	<i>U. lactuca</i>	India	2004 -2005	22,7 (10,5 – 45,7)																																															
	<i>U. lactuca</i>	Guam	1998-1999	0,6-14,0																																															
Cu	<i>U. lactuca</i>	Golfo de California, México	2002	Verano 23,0 Invierno 44,0																																															
				Agosto 3652,0 Resto del año 500,0 – 1500,0																																															
Zn	<i>U. lactuca</i>	Golfo de California, México	2002	Agosto 98,0 Abril 547,0																																															

media del talo. La concentración del Zn en las paredes fue dos órdenes superior a la acumulación del mismo en algas crecidas en medios no contaminados; c) Altas concentraciones de Cd y Zn combinados producen daños morfológicos y ultraestructurales, principalmente en las células de la región apical del talo, donde la cantidad de polisacáridos polianiónicos es menor.

Al-Homaidan (2006) ^[33] evaluó el contenido metálico de Cd, Cu, Fe, Pb y Zn en cuatro especies de algas pardas (*Phaeophyta*) recogidas en dos zonas de la costa saudita del Golfo Pérsico. Se determinaron niveles normales para Cd, Cu y Zn, y concentraciones elevadas de Fe y Pb, en las cuatro algas de ambos sitios. Los mayores niveles de Cd y Cu fueron encontrados en la zona de Al-Khafji, mientras que las concentraciones más elevadas de Fe y Zn se obtuvieron en el área de Al-Dammam. Los resultados prueban presencia de metales pesados, especialmente con Fe y Pb, en ambas áreas. Entre las algas estudiadas, los mayores niveles de Cd, Cu, Fe y Pb fueron detectados en *P. gymnospora*, por lo que esta especie podría ser usada para monitorear las aguas costeras en el Golfo Pérsico.

Amado-Filho et al. (2006) ^[34] analizaron las concentraciones de Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn en cuatro especies de organismos marinos bentónicos (*P. gymnospora*, *Sargassum sp.*, *Halodule wrightii* y *Crassostrea rhizophorae*) en tres sitios de la región de la Bahía de Todos os Santos (TSB, el Estado de Bahía, Brasil). Los datos obtenidos indicaron que el Cd y Cu en las ostras y algas marinas, así como las concentraciones de Ni en las ostras, estaban en el rango de las zonas costeras contaminadas. El Cd y el Cu se encontraron disponibles para los organismos a través de las partículas en suspensión, la fracción disuelta de columna de agua y el agua intersticial de sedimentos del fondo.

Mamboya et al. (2007) ^[35] llevaron a cabo estudios referentes a la absorción y la toxicidad de Cu y Zn en dos especies de macroalgas comunes, *P. gymnospora*

(*Phaeophyta*) y *Ulva reticulata* (*Chlorophyta*). En el estudio determinaron el contenido de metales, el crecimiento (DGR), los rendimientos cuánticos máximos (Fv / Fm) y los patrones de expresión de proteínas (en *Ulva*) como una respuesta a la exposición a Cu y Zn. Los niveles de metales acumulados en los tejidos de las algas presentaron una buena correlación con las concentraciones expuestas: a mayor tiempo de exposición, mayor fue la absorción. Asimismo, la especie *P. gymnospora* fue empleada como bioindicador para monitoreo de las variaciones a largo plazo (1994-2005) y estacionales durante el año de las concentraciones de metales pesados en el canal de Zanzíbar. Los resultados no revelaron tendencias claras, pero el análisis del conjunto de datos combinados identificaron rotundamente los sitios más contaminados. Se concluyó que las variaciones estacionales y de largo plazo, así como las condiciones ambientales deben ser tomados en consideración cuando se utilizan las macroalgas como bioindicadores.

Guven et al. (2007) ^[36] realizaron un estudio con el fin de establecer la concentración de Cu, Cd, Mn, Ni, Pb, Zn y Cr en muestras de macroalgas, entre ellas *U. lactuca*, recogidas en diferentes estaciones de la costa del Mar Negro de Turquía, entre los años 2001 y 2003. Los niveles de metales pesados en agua de mar también se midieron en 2003 para estimar el grado de acumulación del elemento por cada especie de alga. Los patrones de la relación de acumulación de metales pesados en orden decreciente fueron Mn>Cu>Zn>Cr>Cd. Las concentraciones de Cu, Cd, Mn, Zn y Cr fueron más altas que el intervalo encontrado en aguas costeras no contaminadas en otras partes del mundo. En este estudio, las concentraciones de Cu, Mn, Zn y Cr fueron menores que las encontradas en la determinación de los mismos metales en el norte del Adriático y el noroeste del Mar Negro. La concentración de Cd fue mayor en la costa turca del Mar Negro. La relación de los factores de concentración puede ser útil para determinar los niveles de metales pesados en muestras de agua de mar.

Manivannan et al. (2008) ^[37] investigaron un grupo de algas de las clases *Chlorophyceae* (*U. lactuca*, *Enteromorpha intestinalis*) *Phaeophyceae* (*Turbinaria ornata*, *P. gymnospora*) y *Rhodophyceae* (*Hypnae valentiae*, *Gracilaria folifera*) recolectadas de las regiones costeras de Mandapam y la costa sureste de la India para analizar su composición mineral. En este estudio, *P. gymnospora* mostró el mayor contenido de composición de minerales, tales como Cu, Cr, Fe, Pb, S, Ca y K, en comparación con las otras algas marinas; y en *U. lactuca* se observó el valor máximo de Co.

Eisler (2010) ^[38] realizó un resumen de la literatura internacional disponible en concentraciones de metales trazas y metaloides en los tejidos de las poblaciones de campo representativas de algas y macrofitas marinas, estuarinas y oceánicas, bacterias y protozoos, esponjas, celentéreos, moluscos, artrópodos, anélidos, quetognatos, equinodermos, y tunicados, y su importancia para la salud y el organismo a sus consumidores. Todo esto con el objetivo de sintetizar la información seleccionada en factores biológicos, químicos y físicos conocidos para modificar la captación, retención y translocación de cada elemento de los grupos representativos de plantas e invertebrados marinos bajo condiciones de campo y de laboratorio.

2.5. Estudios de metales pesados en especies marinas de Venezuela

En Venezuela, a pesar de que existen leyes que regulan la concentración de elementos metálicos en los cuerpos de agua ^[4] y en los organismos acuáticos, el aumento de las concentraciones ambientales de metales pesados producto de la actividad antropogénica se ha convertido en un problema ^[39]. Esta situación se hace compleja dada la naturaleza de los metales como componentes del suelo y su carácter esencial para que los organismos realicen sus funciones vitales, por lo que éstos han desarrollado mecanismos bioquímicos que permiten su captura, manejo y almacenamiento ^[39].

La contaminación de cuerpos de agua del país por metales pesados, tales como el Cd, Hg y Pb, está repercutiendo de forma negativa en las especies que habitan en ellos, presentando, en algunos casos, concentraciones de estos metales por encima de los valores recomendados por la OMS en alimentos utilizados para el consumo humano ^[40]. El monitoreo de las zonas impactadas, de las posibles zonas de influencia y de los organismos que allí habitan, así como también el cumplimiento de las normativas vigentes para el control ambiental son alternativas para ayudar a mejorar la calidad del ambiente y por consiguiente, la salud de las poblaciones humanas.

En Venezuela se han realizado trabajos en los cuales se ha estudiado el contenido de metales pesados en aguas y sedimentos marino costeros ^{[41][42][43]}, así como en organismos marinos ^{[44][45][46][47][48]}. Varios de estos trabajos aparecen en la revisión realizada por Salazar-Lugo ^[39]. En la Tabla 9 se citan algunos de estos estudios.

El antecedente directo del trabajo a realizar es el estudio llevado a cabo por Urdaneta M. (2010) ^[47], quien determinó el contenido de los metales Ca, Mg, Zn, Fe, Cu, Cr, Ni, Pb y Cd en diferentes muestras de especies de algas marinas, localizadas en zonas de la costa central y de la isla de Margarita, Venezuela, para determinar posibles especies bioindicadoras y localidades con exposición contrastada. En total se analizaron 26 muestras correspondientes a 9 especies de algas colectadas en 12 localidades. Los resultados mostraron concentraciones elevadas de Pb, Cu, Cr, Fe en la especie colectada en la localidad de la Marina Carrasco en Higuero, la cual se diferenció significativamente del resto de las localidades, seguida de Taguao donde se encontraron concentraciones elevadas y diferentes significativamente de Ni. Las localidades menos expuestas correspondieron a las playas de Cepe en el Edo Aragua, Playa Caribe en Chuspa y algunas playas del Edo Nueva Esparta como Punta Arenas y Manzanillo.

En el estudio de Urdaneta ^[47] se encontraron dos posibles diferentes orígenes de los elementos. Uno debido a los derrames de crudo que introducen los elementos Ni, y Cr que afectan principalmente la zona de Taguao, donde el crudo regularmente es descargado para su consumo en la planta eléctrica Ricardo Zuloaga. La herrumbre de los tanqueros que traen el crudo introduciría al Fe. La segunda fuente sería el empleo de gasolina y combustibles por las embarcaciones en zonas turísticas, lo cual domina la concentración de Pb en las algas en las zonas como la Marina Carrasco de Higuerote, el Muelle de Puerto Cabello y Chichiriviche de la Costa. Aunque no se encontraron diferencias entre las especies de algas, en cuanto a su capacidad para su empleo como especies biomonitoras, el amplio intervalo de concentraciones de los diferentes metales tóxicos encontrados en la *P. gymnospora* y la *U. lactuca*, junto a su abundancia y presencia en varias de las zonas muestreadas, podría ser elementos para seleccionarlas para próximos estudios.

El presente trabajo está dirigido a ampliar la información sobre el contenido de metales pesados en la costa venezolana, así como confirmar el tipo y origen de la contaminación por metales pesados, determinada de un estudio previo ^[47].

Tabla 9. Estudios de metales pesados en aguas saladas de Venezuela.

Referencia	Especie	Localidad	Resultados	Observaciones						
Acosta et al (2004) ^[44]	Almeja <i>Tivela mactroides</i>	Playa Güiria, Río Chico y Boca de Paparo.	Concentraciones en tejidos en $\mu\text{g g}^{-1}$:	Los valores elevados en Boca de Paparo y Río Chico fueron posiblemente de origen antrópico. Playa Güiria mostró valores ubicados entre los intervalos de carácter natural.						
					Boca de Paparo	Río Chico	Güiria			
			Cd		1,23-6,31	2,60-5,64	0,7-6,52			
			Fe		133-1417	371,6-1301,6	41,6-343,9			
			Mn		129,2-177,8	ND	ND			
			Zn		227-380	ND	ND			
			Cu		71,5-189,9	ND	ND			
			Cr		6,45-9,01	ND	ND			
Pb	ND	0,02-1,80	ND							
Astudillo et al (2005) ^[45]	Ostras (<i>Crassostrea rhizophorae</i> y <i>C. virginica</i>), mejillones (<i>Perna viridis</i>) y sedimentos.	Golfo de Paria	Concentraciones en $\mu\text{g g}^{-1}$:	El Hg en los sedimentos en todos los sitios y también el Cd, Cu, Ni, Pb y Zn de varios sitios excedieron los niveles permisibles de las normas canadienses y estadounidenses.						
			Cd		Zn	Cu	Cr	Ni	Hg	Pb
			0,01-1,44		48-158	5,1-21,9	10-40	4,7-24,1	0,36-1,60	0,7-37,3
Márquez et al (2008) ^[46]	<i>Mugil curema</i> , <i>Mugil gaimardianus</i> , <i>Mugil liza</i> , <i>Elops saurus</i> , <i>Cathorops spixii</i> , <i>Centropomus undecimalis</i> , <i>Penaeus schmitti</i> , sedimentos superficiales, agua y material en suspensión.	Laguna costera de Unare, estado Anzoátegui	En el sedimento, los valores medios de concentración en $\mu\text{g g}^{-1}$ fueron:	Se evidencia intervención antropogénica, con niveles de metales pesados superiores a los establecidos. La investigación confirman un progresivo deterioro ambiental de la laguna y de las especies de este ecosistema.						
			Mn		Zn	Ni	Cr	Cu	Pb	Cd
			516,37		127,49	52,41	51,69	41,13	29	1,51

Tabla 9. Estudios de metales pesados en aguas saladas de Venezuela (continuación).

Referencia	Especie	Localidad	Resultados	Observaciones																																																																														
Urdaneta (2010) ^[47]	<i>Sargassum cymosum</i> <i>Sargassum sp</i> <i>U. lactuca</i> <i>Chaetomorpha antennina</i> <i>Cladophora chaelomorpha</i> <i>Cladophora prolifera</i> <i>P. gymnospora</i> <i>Padina vickersiae</i> <i>Ulva reticulata</i>	Cepe, Estado Aragua;	Concentraciones promedio, expresadas en mg g ⁻¹ para Ca, Fe, Zn y Mg y en µg g ⁻¹ para el resto, de las zonas muestreadas:	El lugar con mayor exposición fue Marina Carrasco en Higuerote. Los lugares con menor exposición fueron Cepe Edo Aragua, Chuspa Playa Caribe y las localidades de Punta Arenas y Manzanillo ubicadas en el Edo Nueva Esparta. La forma dual de la correlación existente entre Ni y el Pb, indica que el Pb se introduce por dos fuentes distintas: a) emisiones de crudo en las aguas en zonas cercanas a la planta termoelectrica. y b) a los desechos de gasolina, por embarcaciones y medios de transportes acuáticos en zonas turísticas y de pesca. Entre las especies bioindicadoras se considera que <i>U. lactuca</i> y <i>P. gymnospora</i> pudiesen ser empleadas como especies biomonitoras en zonas de estudio.																																																																														
		Arrecife, Chuspa y Chichiriviche de la Costa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Localidades</th> <th>Pb</th> <th>Cd</th> <th>Ni</th> <th>Cr</th> <th>Cu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Cepe</td><td>0,8</td><td>0,6</td><td>1,8</td><td>1,1</td><td>5</td></tr> <tr><td>Muelle de Pto. Cabello</td><td>4,3</td><td>0,083</td><td>2,95</td><td>3</td><td>34</td></tr> <tr><td>Playa Caribe</td><td>2,1</td><td>0,5</td><td>2,7</td><td>2</td><td>2,8</td></tr> <tr><td>Playa El Indio</td><td>1,7</td><td>0,5</td><td>1,8</td><td>1,3</td><td>4,0</td></tr> <tr><td>Marina Carrasco</td><td>12,45</td><td>0,64</td><td>9,22</td><td>8,80</td><td>98,89</td></tr> <tr><td>La Caranta</td><td>2</td><td>0,6</td><td>2,6</td><td>5</td><td>5</td></tr> <tr><td>Manzanillo</td><td>0,59</td><td>0,93</td><td>2,36</td><td>0,74</td><td>6,23</td></tr> <tr><td>Margarita</td><td>1,58</td><td>1,24</td><td>3,88</td><td>12,08</td><td>5,94</td></tr> <tr><td>Punta Arena</td><td>1,33</td><td>0,83</td><td>2,41</td><td>3,10</td><td>5,65</td></tr> <tr><td>Tirano</td><td>0,61</td><td>0,82</td><td>3,11</td><td>0,58</td><td>15,97</td></tr> <tr><td>Chichiriviche de la Costa</td><td>5,10</td><td>0,55</td><td>5,55</td><td>7,20</td><td>7,97</td></tr> <tr><td>Taguao Arrecife</td><td>3</td><td>0,6</td><td>7</td><td>6</td><td>19</td></tr> </tbody> </table>		Localidades	Pb	Cd	Ni	Cr	Cu	Cepe	0,8	0,6	1,8	1,1	5	Muelle de Pto. Cabello	4,3	0,083	2,95	3	34	Playa Caribe	2,1	0,5	2,7	2	2,8	Playa El Indio	1,7	0,5	1,8	1,3	4,0	Marina Carrasco	12,45	0,64	9,22	8,80	98,89	La Caranta	2	0,6	2,6	5	5	Manzanillo	0,59	0,93	2,36	0,74	6,23	Margarita	1,58	1,24	3,88	12,08	5,94	Punta Arena	1,33	0,83	2,41	3,10	5,65	Tirano	0,61	0,82	3,11	0,58	15,97	Chichiriviche de la Costa	5,10	0,55	5,55	7,20	7,97	Taguao Arrecife	3	0,6	7	6	19
		Localidades	Pb		Cd	Ni	Cr	Cu																																																																										
		Cepe	0,8		0,6	1,8	1,1	5																																																																										
		Muelle de Pto. Cabello	4,3		0,083	2,95	3	34																																																																										
		Playa Caribe	2,1		0,5	2,7	2	2,8																																																																										
		Playa El Indio	1,7		0,5	1,8	1,3	4,0																																																																										
		Marina Carrasco	12,45		0,64	9,22	8,80	98,89																																																																										
		La Caranta	2		0,6	2,6	5	5																																																																										
		Manzanillo	0,59		0,93	2,36	0,74	6,23																																																																										
		Margarita	1,58		1,24	3,88	12,08	5,94																																																																										
		Punta Arena	1,33		0,83	2,41	3,10	5,65																																																																										
		Tirano	0,61		0,82	3,11	0,58	15,97																																																																										
		Chichiriviche de la Costa	5,10		0,55	5,55	7,20	7,97																																																																										
		Taguao Arrecife	3		0,6	7	6	19																																																																										
		Edo. Vargas, el Muelle de Pto. Cabello	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Localidades</th> <th>Hg</th> <th>Ca</th> <th>Fe</th> <th>Zn</th> <th>Mg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Cepe</td><td>0,08</td><td>7</td><td>0,4</td><td>0,06</td><td>2,2</td></tr> <tr><td>Muelle de Pto. Cabello</td><td>0,10</td><td>7</td><td>0,9</td><td>0,09</td><td>6</td></tr> <tr><td>Playa Caribe</td><td>0,09</td><td>8</td><td>0,3</td><td>0,08</td><td>3</td></tr> <tr><td>Playa El Indio</td><td>0,11</td><td>8</td><td>0,14</td><td>0,018</td><td>4</td></tr> <tr><td>Marina Carrasco</td><td>0,09</td><td>4,95</td><td>5,19</td><td>0,139</td><td>1,72</td></tr> <tr><td>La Caranta</td><td>0,49</td><td>5</td><td>1</td><td>0,06</td><td>1,3</td></tr> <tr><td>Manzanillo</td><td>0,05</td><td>6,84</td><td>0,07</td><td>0,056</td><td>2,46</td></tr> <tr><td>Margarita</td><td>0,06</td><td>6,87</td><td>0,25</td><td>0,043</td><td>6,10</td></tr> <tr><td>Punta Arena</td><td>0,13</td><td>10,44</td><td>0,12</td><td>0,096</td><td>5,56</td></tr> <tr><td>Tirano</td><td>0,26</td><td>4,38</td><td>0,04</td><td>0,065</td><td>3,28</td></tr> <tr><td>Chichiriviche de la Costa</td><td>0,08</td><td>13,03</td><td>1,06</td><td>0,022</td><td>3,30</td></tr> <tr><td>Taguao Arrecife</td><td>0,12</td><td>10</td><td>2</td><td>0,043</td><td>5</td></tr> </tbody> </table>		Localidades	Hg	Ca	Fe	Zn	Mg	Cepe	0,08	7	0,4	0,06	2,2	Muelle de Pto. Cabello	0,10	7	0,9	0,09	6	Playa Caribe	0,09	8	0,3	0,08	3	Playa El Indio	0,11	8	0,14	0,018	4	Marina Carrasco	0,09	4,95	5,19	0,139	1,72	La Caranta	0,49	5	1	0,06	1,3	Manzanillo	0,05	6,84	0,07	0,056	2,46	Margarita	0,06	6,87	0,25	0,043	6,10	Punta Arena	0,13	10,44	0,12	0,096	5,56	Tirano	0,26	4,38	0,04	0,065	3,28	Chichiriviche de la Costa	0,08	13,03	1,06	0,022	3,30	Taguao Arrecife	0,12	10	2	0,043	5
		Localidades	Hg		Ca	Fe	Zn	Mg																																																																										
		Cepe	0,08		7	0,4	0,06	2,2																																																																										
		Muelle de Pto. Cabello	0,10		7	0,9	0,09	6																																																																										
		Playa Caribe	0,09		8	0,3	0,08	3																																																																										
Playa El Indio	0,11	8	0,14	0,018	4																																																																													
Marina Carrasco	0,09	4,95	5,19	0,139	1,72																																																																													
La Caranta	0,49	5	1	0,06	1,3																																																																													
Manzanillo	0,05	6,84	0,07	0,056	2,46																																																																													
Margarita	0,06	6,87	0,25	0,043	6,10																																																																													
Punta Arena	0,13	10,44	0,12	0,096	5,56																																																																													
Tirano	0,26	4,38	0,04	0,065	3,28																																																																													
Chichiriviche de la Costa	0,08	13,03	1,06	0,022	3,30																																																																													
Taguao Arrecife	0,12	10	2	0,043	5																																																																													
Edo.																																																																																		
Carabobo y Margarita																																																																																		
Edo. Nueva Esparta																																																																																		
Lemus al. (2010) ^[48]	<i>Perna viridis</i>	Península de Araya, Edo. Sucre, Venezuela	Concentraciones promedio de metales, en µg g ⁻¹ :	El Zn, Cu, Cd, Cr, Pb y Ni, presentaron valores por debajo de los límites señalados por la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), FDA (Food and Drugs Administration) y BZL(Brazilian Federal Legislation).																																																																														
			<table border="1"> <tbody> <tr><td>Zn</td><td>28,54 ± 8,29</td></tr> <tr><td>Cu</td><td>2,64 ± 0,75</td></tr> <tr><td>Cd</td><td>1,20 ± 0,52</td></tr> <tr><td>Cr</td><td>0,87 ± 0,83</td></tr> <tr><td>Pb</td><td>0,41 ± 0,84</td></tr> <tr><td>Ni</td><td>3,53 ± 2,52</td></tr> </tbody> </table>		Zn	28,54 ± 8,29	Cu	2,64 ± 0,75	Cd	1,20 ± 0,52	Cr	0,87 ± 0,83	Pb	0,41 ± 0,84	Ni	3,53 ± 2,52																																																																		
Zn	28,54 ± 8,29																																																																																	
Cu	2,64 ± 0,75																																																																																	
Cd	1,20 ± 0,52																																																																																	
Cr	0,87 ± 0,83																																																																																	
Pb	0,41 ± 0,84																																																																																	
Ni	3,53 ± 2,52																																																																																	

III. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Evaluar el contenido metálico en las especies de algas marinas *Ulva lactuca* y *Padina gymnospora* provenientes de seis localidades de la costa central venezolana (Taguao, Cepe, Puerto Escondido, La Gonzalera, Piedra de la Virgen y Puerto Viejo).

3.2. Objetivos específicos

- Determinar la concentración total de Fe, Zn, Pb, Cd, Cu, Cr, Ni y Hg en las muestras de algas marinas.
- Comparar las concentraciones de los metales obtenidas en las muestras con valores señalados en la literatura para las mismas especies y los valores en normativas nacionales e internacionales.
- Evaluar el efecto de la especie y de la zona de recolección, sobre el contenido metálico de las especies de algas analizadas.

IV.PARTE EXPERIMENTAL

4.1. Equipos

Las muestras de algas se secaron al frío en un liofilizador Marca LABCONCO, modelo FREEZONE 6, con capacidad para liofilizar 16 muestras simultáneamente, operando a una temperatura de -50°C y a una presión de 0,293 mbar.

En la digestión de las muestras de algas se empleó un digestor de microondas marca CEM modelo MDS 2000, el cual cuenta con un controlador de presión y temperatura (máximo 200 psi y 200°C), con una potencia de 630 watts. Se emplearon recipientes para altas presiones (ACV-50).

La concentración de los metales se determinó empleando los siguientes equipos:

- Espectrofotómetro de absorción atómica con atomización electrotérmica (ET AAS), Marca Perkin Elmer, Modelo SIMAA 6000. El espectrofotómetro está equipado con un corrector de fondo basado en el efecto Zeeman longitudinal, emplea hornos calentados transversalmente y un detector CMOS, con capacidad de detectar hasta 6 elementos simultáneamente.
- Espectrofotómetro de Fluorescencia Atómica con vapor frío (CV AFS), Marca Analytikjena, Modelo Mercur. Este espectrómetro posee un automuestreador AS-52 y doble amalgama de oro, de empleo optativo. Longitud de onda de detección: 253,7 nm.
- Espectrofotómetro de absorción atómica con llamas (FAAS) marca Perkin Elmer, modelo A Analyst 200, que consta de un monocromador de doble haz, una red master

GBC Ebert-Fastie con longitud focal de 333mm, 1200 líneas/mm y un detector fotomultiplicador Hamamatsu R446 con respuesta espectral en el intervalo de 185 nm a 999 nm. La introducción de muestra se realizó mediante un nebulizador de lecho de impacto.

4.2. Reactivos

Se emplearon estándares unielementales de 1.000 mg L^{-1} , de Cu y Hg, Fe, marca Fluka Chemical, de Ni y Pb, Zn, marca Riedel de Haên y de Cd y Cr Marca Merck.

Los reactivos utilizados en el procedimiento de digestión total de las muestras fueron: peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 30%, ácido fluorhídrico (HF) al 48% p/p y ácido nítrico (HNO_3) al 65% p/p, de marcas Riedel de Haên, donde los dos últimos fueron tetradestilados en un destilador de teflón.

Los reactivos utilizados para el tratamiento de las muestras en la determinación de Hg total por CV-AFS fueron: clorhidrato de hidroxilamina ($\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$) al 98% p/p, marca Scharlau, bromato de potasio (KBrO_3), marca Dowell, ácido clorhídrico (HCl) al 35% p/p, Marca Riedel de Haên, purificado en un destilador de teflón, cloruro de estaño ($\text{SnCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Certificado T142-500, $\text{Hg} \leq 0.005 \text{ ppm}$) y bromuro de potasio (KBr) (Certificado P205-500, $\text{Hg} \leq 0.005 \text{ ppm}$) de Marcas Fisher Chemicals.

4.3. Metodología

4.3.1. Muestreo

Se recolectaron muestras de las algas *U. lactuca* y *P. gymnospora* en diferentes localidades: Isla de Aves, Dependencias Federales (DF), dos localidades del Estado Aragua, Cepe (EA-C) y Puerto Escondido (EA-PE), y cuatro del Estado Vargas, las cuales fueron Taguao (EV-T), Piedra de la Virgen (EV-PVI), La Gonzalera (EV-LG), y Puerto Viejo (EV-PTV), Venezuela. Estas especies y localidades de muestreo fueron escogidas por la disponibilidad de las mismas y, de acuerdo a los resultados obtenidos en un estudio previo^[47]. De manera adicional se colectaron algunas muestras de otras especies (*Ulva fasciata* Delile y *Sargassum* sp.). Las especies empleadas son mostradas en la Figura 1.

La recolección de las algas fue realizada entre los meses marzo-septiembre 2011 por el Dr. Gerard Haiek del Herbario V. M. Ovalles, perteneciente a la Facultad de Farmacia, Universidad Central de Venezuela. Las localidades de recolección de las muestras de algas son expuestas en la Figura 2. En la Tabla 10 se muestra la información en detalle del muestreo, donde se establecen los códigos de especie (Cod Esp), código de localidad (Cod Loc) y distancia, para las diferentes muestras.

Una vez realizada la colecta, las muestras fueron lavadas en abundante agua de mar, para retirar la arena y preservadas en hielo hasta la llegada al laboratorio. Parte del material se procesó como *exsiccata*, y la porción restante se utilizó para realizar los estudios morfoanatómicos y taxonómicos, para lo cual se preservó en agua de mar al 4% en formaldehído, y otra parte se lavó con agua destilada y desionizada antes de proceder a su liofilización, para su posterior análisis químico.



1.a)



1.b)



1.c)



1.d)

Figura 1. Especies analizadas: 1.a) *P. gymnospora*, 1.b) *U. lactuca*, 1.c) *U. fasciata*, 1.d) *Sargassum* sp.

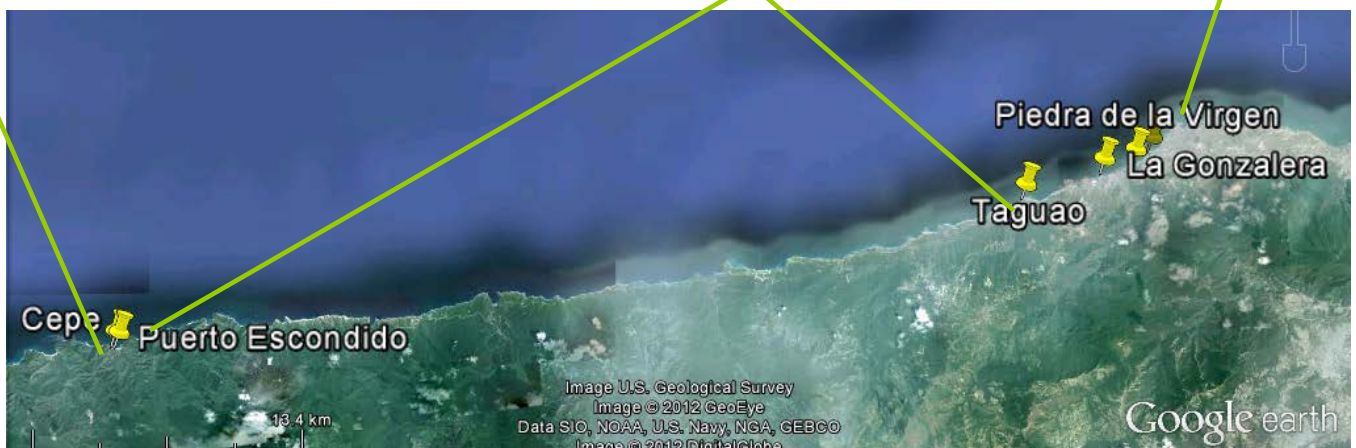


Figura 2. Zonas de recolección de muestras: Cepe y Puerto Escondido del Edo. Aragua y, Taguao, Piedra de la Virgen, La Gonzalera y Puerto Viejo del Edo. Vargas.

Tabla 10. Muestras recolectadas.

Muestra	Genero y Especie	Cod Esp	Localidad muestreo	Cod Loc	Distancia (m)	Nº de colector	Fecha de muestreo	Coordenadas
1	<i>Ulva lactuca</i>	1	EV- T	5	40130	S/N		10°34'48,65"N / 67°6'9.20" W
2	<i>Ulva lactuca</i>	1	EV- T	6	40160	S/N		10°34'47,30"N / 67°6'10,4" W
3	<i>Ulva lactuca</i>	1	EV- T	7	40180	S/N		10°34'45,76"N / 67°6'13" W
4	<i>Ulva lactuca</i>	1	EV- T	7	40180	S/N		10°34'45,76"N / 67°6'13" W
5	<i>Padina gymnospora</i>	2	EV- T	5	40130	S/N		10°34'48,65"N 67°6'9.20" W
6	<i>Padina gymnospora</i>	2	EV- T	6	40160	S/N		10°34'47,30"N / 67°6'10,4" W
7	<i>Padina gymnospora</i>	2	EV- T	7	40180	S/N		10°34'45,76"N / 67°6'13" W
*	<i>Ulva lactuca</i>	1	EV- T	5	40130	2011-105	19/08/2011	10°34'48,65"N / 67°6'9.20" W
*	<i>Ulva lactuca</i>	1	EV- T	6	40160	2011-106	19/08/2011	10°34'47,30"N / 67°6'10,4" W
*	<i>Ulva lactuca</i>	1	EV- T	7	40180	2011-107	19/08/2011	10°34'45,76"N / 67°6'13" W
*	<i>Ulva lactuca</i>	1	EV- T	7	40180	2011-108	19/08/2011	10°34'45,76"N / 67°6'13" W
*	<i>Ulva lactuca</i>	1	EV- T	5	40130	S/N	19/08/2011	10°34'48,65"N / 67°6'9.20" W
8	<i>Padina gymnospora</i>	2	EV- T	5	40130	2011-109	19/08/2011	10°34'48,65"N / 67°6'9.20" W
9	<i>Padina gymnospora</i>	2	EV- T	6	40160	2011-110	19/08/2011	10°34'47,30"N / 67°6'10,4" W
10	<i>Padina gymnospora</i>	2	EV- T	7	40180	2011-111	19/08/2011	10°34'45,76"N / 67°6'13" W
11	<i>Padina gymnospora</i>	2	EV- T	7	40180	S/N	19/08/2011	10°34'45,76"N / 67°6'13" W
12	<i>Padina gymnospora</i>	2	EV- T	5	40130	S/N	19/08/2011	10°34'48,65"N / 67°6'9.20" W
13	<i>Padina gymnospora</i>	2	EA-PE	1	0	2011-112	24/09/2011	10°31'22,77"N / 67°31'05,59"W
14	<i>Padina gymnospora</i>	2	EA-PE	1	0	2011-113	24/09/2011	10°31'22,77"N / 67°31'05,59"W
15	<i>Padina gymnospora</i>	2	EA-PE	2	40	2011-114	24/09/2011	10°31'20,98" N / 67°31' 04.08"W
16	<i>Padina gymnospora</i>	2	EA-PE	2	40	2011-115	24/09/2011	10°31'20,98" N / 67°31' 04.08"W
17	<i>Padina gymnospora</i>	2	EA-C	4	80	2011-116	24/09/2011	10°31'21,19"N / 67°30'59,97"W
18	<i>Padina gymnospora</i>	2	EA-C	4	80	2011-117	24/09/2011	10°31'21,19"N / 67°30'59,97"W
19	<i>Padina gymnospora</i>	2	EA-C	3	130	2011-118	24/09/2011	10°31'20,13"N / 67°30'29"W
20	<i>Padina gymnospora</i>	2	EA-C	3	130	2011-119	24/09/2011	10°31'20,13"N / 67°30'29"W
21	<i>Padina gymnospora</i>	2	EV-PVI	9	45280	2011-123	28/10/2011	10°35'40,65"N / 67°3'8.07"W
22	<i>Padina gymnospora</i>	2	EV-LG	8	44180	2011-124	28/10/2011	10°35'26,46"N / 67°3'67,46"W
23	<i>Padina gymnospora</i>	2	EV-LG	8	44180	2011-125	28/10/2011	10°35'26,46"N / 67°3'67,46"W
24	<i>Padina gymnospora</i>	2	EV-LG	8	44180	2011-126	28/10/2011	10°35'26,46"N / 67°3'67,46"W
25	<i>Ulva fasciata</i>	3	EV-PTV	10	46880	2011-120	28/10/2011	10°35'59,87"N / 67°2'41,62"W
26	<i>Ulva fasciata</i>	3	EV-PTV	10	46880	2011-121	28/10/2011	10°35'48,72"N / 67°2'48,72"W
27	<i>Ulva fasciata</i>	3	EV-PTV	10	46880	2011-122	28/10/2011	10°35'40,65"N / 67°3'8.07"W
28	<i>Sargassum sp.</i>	4	EA-C	4	80	2011-126-a	28/10/2011	10°31'21,19"N / 67°30'59,97"W
29	<i>Sargassum sp.</i>	4	EA-C	4	80	2011-127	28/10/2011	10°31'21,19"N / 67°30'59,97"W
30	<i>Sargassum sp.</i>	4	EA-C	3	130	2011-128	28/10/2011	10°31'20,13"N / 67°30'29"W
31	<i>Sargassum sp.</i>	4	EA-C	3	130	2011-129	28/10/2011	10°31'20,13"N / 67°30'29"W
32	<i>Padina gymnospora</i>	2	DF	0	0	S/N		15°40'18"N / 63°36'59"W

* Las muestras seleccionadas no fueron analizadas, debido a que llegaron al laboratorio con señales de lixiviación.

4.3.2. Tratamiento de las muestras

Para su análisis químico, las muestras de algas fueron liofilizadas y llevadas a solución mediante digestión ácida empleando un digestor de microondas. El procedimiento de digestión utilizado se describe en la Figura 3, y el programa del digestor de microondas se muestra en la Tabla 11.

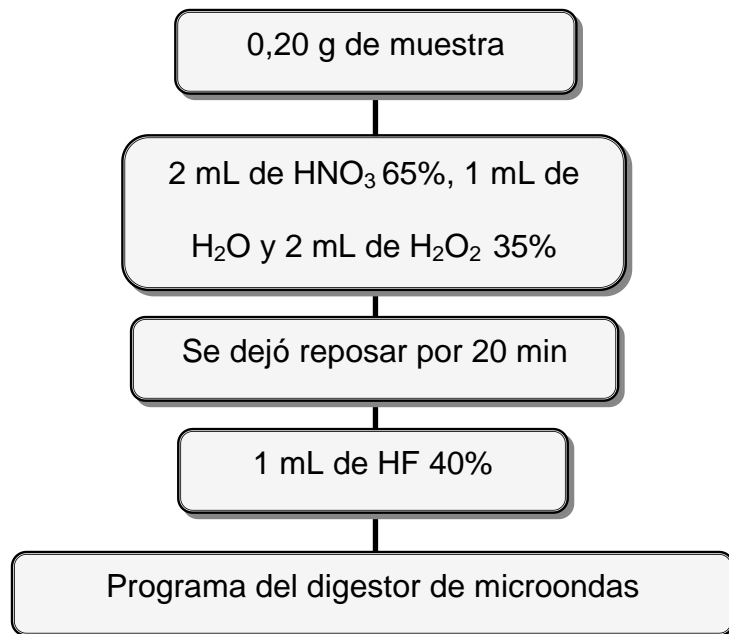


Figura 3. Esquema de digestión total de las muestras de algas.

Tabla 11. Programa de digestión de las algas en el digestor de Microondas ^[49]

ETAPA	1	2	3
POTENCIA (%)	68	68	68
PRESIÓN (PSI)	100	120	150
TIEMPO RAMPA (min)	15:00	15:00	15:00
TAP* (min)	15:00	15:00	15:00
FAN SPEED, %	100	100	100

* TAP: tiempo que permanece la muestra a la presión indicada.

4.3.3. Análisis químico

a. *Determinación total de Hg mediante CV-AFS.*

El análisis de Hg mediante CV-AFS contempló dos etapas: la etapa de oxidación de las especies de Hg a Hg^{2+} y la de generación del vapor frío de Hg^0 . La etapa de oxidación consistió en un tratamiento químico de la muestra antes de ser introducida en el equipo de CV-AFS. La oxidación se realizó mediante una solución de KBr y $KBrO_3$, la cual se preparó a partir de la mezcla de 0,278 g de $KBrO_3$ y 1,190 g de KBr en 50 mL de agua. El exceso de oxidante se eliminó con clorhidrato de hidroxilamina al 10 % m/v, el cual se preparó con 5 g de $NH_2OH.HCl$ en 50 mL de agua. El procedimiento se presenta en la Figura 4.

La etapa de la generación del vapor frío de Hg se realizó en el equipo de CV-AFS y consistió en la reducción de la especie de Hg^{2+} a Hg^0 , la muestra se mezcló con una solución de $SnCl_2 \cdot 2H_2O$ en HCl. Esta solución se preparó a partir de 6,53 g de $SnCl_2 \cdot 2H_2O$ y 50 mL de $HCl_{(c)}$ y aforados a 100 mL.

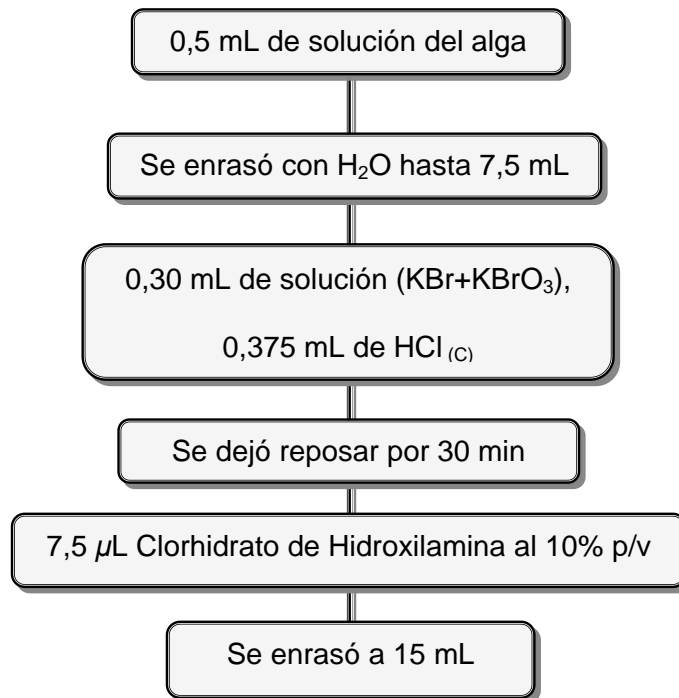


Figura 4. Esquema de la oxidación en la determinación de Hg por CV-AFS

b . Análisis simultáneo de Cd, Cu, Ni, Cr y Pb mediante ET AAS

El contenido metálico de Pb, Cd, Cu, Cr, y Ni en las muestras se determinó mediante el análisis simultáneo por ET AAS. Para ello se empleó la mezcla 5 µg Pd(NO₃)₂ + 3 µg Mg(NO₃)₂, denominada modificador universal, como modificador químico, un volumen de inyección de 20 µL y un programa de temperatura optimizado previamente ^[50], el cual se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Programa térmico para la determinación simultánea de Cd, Cu, Cr, Ni y Pb por ET AAS.

Etapa	Temperatura (°C)	Tiempo de rampa (s)	Tiempo de permanencia (s)	Flujo de Ar (mL min⁻¹)
Secado I	110	1	20	250
Secado II	130	15	30	250
Calcinado	600	10	20	250
Enfriamiento	30	1	2	250
Atomización	2300	0	6	*
Limpieza	2450	1	3	250

* Tiempo de lectura: Cd 2,0; Cu 5,5; Cr 3,5; Ni5,0; Pb 3,0 s

c . Análisis de Fe y Zn mediante FAAS

El contenido metálico de Fe y Zn se determinó mediante FAAS, usando la mezcla acetileno-aire. Los intervalos de concentración de los patrones utilizados para la determinación de los elementos se encuentran presentados en la Tabla 13, junto con la longitud de onda característica de cada elemento.

d. Determinación del contenido metálico en las muestras de algas

El análisis del contenido metálico se realizó por triplicado mediante curva de calibración externa empleando las metodologías optimizadas previamente ^[49].

La validación de las metodologías de análisis mediante CV-AFS y ET-AAS se realizó empleando una muestra certificada de tejido de ostras (Material certificado NIST -

1566b) y el porcentaje de recuperación instrumental (%R). Adicionalmente, se determinaron las figuras de mérito de los métodos: el coeficiente de variación (CV) y el límite de detección ($LOD=3s_B/m$) asociadas a la precisión y sensibilidad, respectivamente.

Tabla 13. Intervalo de concentración para la determinación mediante FAAS y CV-AFS.

Elemento	Intervalo de Concentración ($mg L^{-1}$)	Longitud de onda (nm)
Cd	0,25 - 2	228,8
Cr	0,75 - 5	324,8
Cu	6,25 - 40	357,9
Fe	2 - 10	252,3
*Hg	0,5 - 20	253,7
Ni	1,25 - 20	232,0
Pb	1,25 - 20	283,3
Zn	0,1 - 1,5	308,2

*La concentración de Hg está dada en ($\mu g L^{-1}$)

4.3.4. Estudio ambiental de las muestras

El resultado del contenido metálico determinado en las muestras analizadas fue comparado con las concentraciones obtenidas por otros autores y/o establecidas en normas nacionales e internacionales. Para establecer las localidades contrastantes (más y menos expuestas ambientalmente) y las posibles especies bioindicadoras se aplicó el análisis estadístico de ANOVA de una vía. Adicionalmente, se realizaron estudios empleando técnicas de Cluster Análisis, análisis de correlaciones múltiples empleando al coeficiente de Spearman como estadístico y Análisis de componentes

principales (PCA) como herramientas para establecer la distribución y posibles fuentes de la contaminación.

4.4. Lugar de trabajo

Los estudios morfológicos y taxonómicos fueron realizados por el Dr. Gerard Haiek del Herbario V. M. Ovalles, Facultad de Farmacia, Universidad Central de Venezuela. El tratamiento de las muestras y su análisis químico se realizó en los laboratorios del Centro de Química Analítica (CQA) de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Validación y Figuras de Mérito de las metodologías de análisis

En la Tabla 14 se muestran los resultados obtenidos en la validación de las metodologías, donde se observa que los valores obtenidos no presentan diferencias significativas con los reportados ($P \leq 0,05$).

En la Tabla 15 se muestran las figuras de mérito asociadas a la sensibilidad y la precisión de las metodologías empleadas: masas características (m_0) en el caso de ET AAS y límites de detección instrumental y metodológico (LOD).

Tabla 14. Concentraciones en la muestra certificada Oyster Tissue NIST - 1566b*.

Elemento	Obtenida (mg Kg ⁻¹)	Reportada (mg Kg ⁻¹)	n	t de student	%R _i
Cd	2,6 ± 0,1	2,48 ± 0,08	4	1,87	111
Cr	0,30 ± 0,02	NR	4	-	103
Cu	70 ± 4	71,6 ± 1,6	4	0,74	106
Fe	202 ± 8	205,8 ± 6,8	4	0,34	-
Hg	0,0360 ± 0,0006	0,0371 ± 0,0013	3	1,54	108
Ni	1,04 ± 0,08	1,04 ± 0,09	4	0,00	93
Pb	0,32 ± 0,01	0,308 ± 0,009	3	1,78	114
Zn	1405 ± 55	1424 ± 46	4	0,53	-

* t_c ($P \leq 0,05$): 2,45 para $n=4$ y 2,57 para $n=3$

Tabla 15. Límites de detección LOD y masas características m_o^* .

Elemento	m_o Obtenida (pg)	m_o Reportada (pg) ^[51]	LOD Obtenido ($\mu\text{g L}^{-1}$)	LOD Obtenido ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Cd	2,1	1,8	0,08	0,001
Cr	6,6	7	0,7	0,012
Cu	17,1	20	0,4	0,007
Fe	-	-	0,4**	0,007**
Hg	-	-	0,006	0,0001
Ni	22,6	20	2,0	0,033
Pb	43,4	60	2,5	0,042
Zn	-	-	0,1**	0,002**

* m_o : masa característica, masa de analito equivalente a una señal de absorbancia de 0,0044 ua.

LOD: Límite de detección ($3\text{sdv}/m$ donde m = pendiente de la curva de calibración),

** valores expresados en mg L^{-1} y en mg g^{-1} para el Fe y el Zn.

^[51] Masa característica para análisis multielemental mediante ET AAS

5.2 Población de algas analizadas

En la Tabla 16 se muestra un resumen de la procedencia y número de muestras de alga (un total de 32) analizadas por especie y localidad.

Tabla 16. Especie y localidad de las muestras de algas colectadas

Localidades	Número de muestras por especie			
	<i>P. gymnospora</i>	<i>Sargassum sp</i>	<i>U. fasciata</i>	<i>U. lactuca</i>
DF	1			
EA-PE	4			
EA-C	4	4		
EV-T	8			4
EV-LG	3			
EV-PVI	1			
EV-PTV			3	
Total	21	4	3	4

5.3 Contenido metálico de muestras de algas analizadas

En la Tabla 17 se presenta el intervalo de concentración y valores de las medianas obtenidos para los elementos determinados en toda la población de algas analizada. En el Apéndice 1 se muestran los resultados para cada muestra analizada.

Tabla 17. Concentraciones en la población de muestras analizadas*

Elemento	Intervalo	Mediana
Cd	0,11 - 3,7	0,647
Cr	0,03 - 265	0,758
Cu	1,40 - 15,5	2,911
Fe	0,04 - 0,84	0,401
Hg	0,05 - 0,24	0,117
Ni	0,57 - 31,3	1,980
Pb	0,10 - 6,3	0,563
Zn	0,004 - 0,043	0,017

* Concentraciones, expresadas en mg g⁻¹ para Fe y Zn y en µg g⁻¹ para el resto, (n= 32)

En la Figura 5 se presenta el diagrama de cajas y bigotes obtenido para todos los elementos analizados y, con la finalidad de lograr una mejor visualización, en la Figura 6 se muestra el diagrama de cajas y bigotes excluyendo el Cr .

Los elementos que presentaron las mayores concentraciones promedio fueron el Fe>Zn>Cu. De estos elementos, los que arrojaron los coeficientes de varianza más bajos fueron el Fe y el Zn, los cuales son considerados microelementos esenciales ^[38]. Cabe destacar que el Cr también presentó una concentración promedio elevada, debiéndose a algunos valores elevados (3 muestras que representan el 9% del total). El bajo valor del CV obtenido para el Hg se atribuiría a su homogeneidad en la costa muestreada.

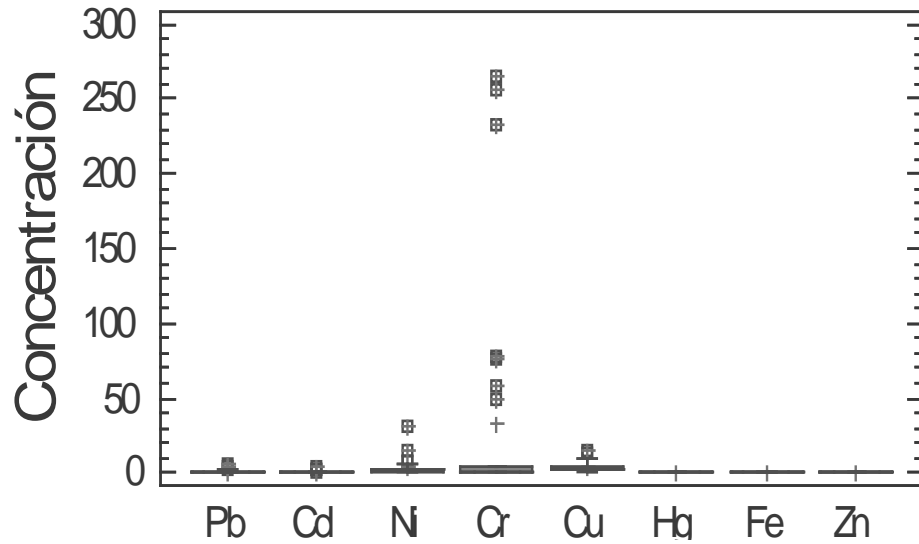


Figura 5. Diagrama de cajas y bigotes para las muestras analizadas.*
 * Concentraciones expresadas en mg g^{-1} para Fe y Zn y para el resto en $\mu\text{g g}^{-1}$, $n=32$

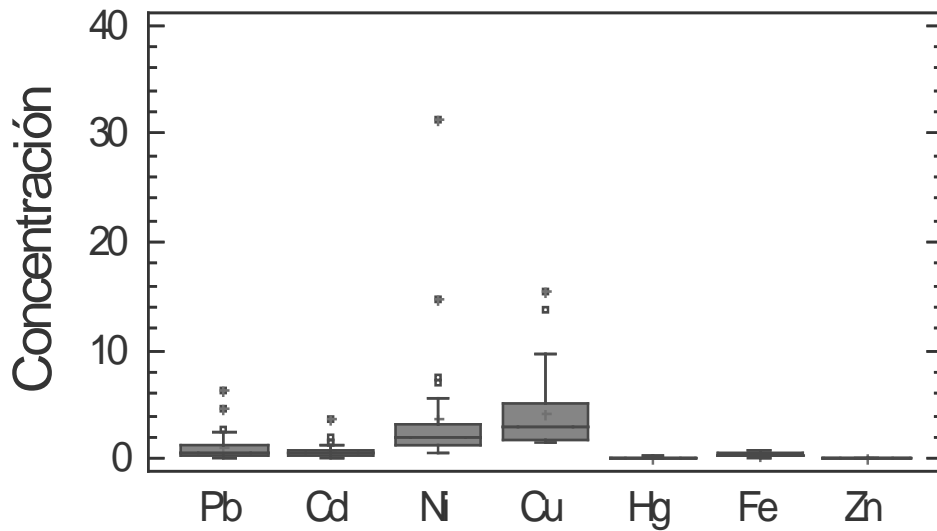


Figura 6. Diagrama de cajas y bigotes para las muestras analizadas excluyendo el Cr.*
 * Concentraciones expresadas en mg g^{-1} para Fe y Zn y para el resto en $\mu\text{g g}^{-1}$, $n=32$

El intervalo de concentración del Zn es comparable con el obtenido por Farías *et al.* ^[20] quien determinó el contenido metálico en microalgas de la Antártica, zona que aun se considera prístina. Las concentraciones obtenidas para los elementos Cd, Cu, Fe y Pb se encuentran también dentro de los intervalos correspondientes para el estudio de Farías ^[20] (Tabla 18).

Tabla 18. Intervalos de concentraciones en algas examinadas en la Antártica^[20]

Elemento	Intervalo ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Cd	<0,1 - 10,4
Cr	1,6 - 12,1
Cu	<0,2 - 15,2
Fe	23,6 - 3095
Ni	1,8 - 8,8
Pb	<0,6 - 7,6
Zn	<0,2 - 15,0

5.3.1 Contenido metálico por localidad de muestreo

En la Tabla 19 se presenta la concentración promedio obtenida para cada elemento en las algas de cada localidad muestreada. En la Figura 7 se presentan los diagramas de cajas y bigotes para los elementos en relación a las localidades muestreadas.

Las localidades donde las algas mostraron el menor contenido metálico fueron las de Isla de Aves, Dependencias Federales (DF), seguida por las de Cepe (EA-C) y Puerto Escondido (EA-PE), Edo. Aragua. La distancia entre la localidad de isla de Aves y la costa es de 580 Km (Península de Araya) y por este motivo, y dado que la localidad de Isla de Aves (DF) es un parque nacional con actividades humanas restringidas, podría

considerarse los valores obtenidos en ella como los de línea base para estos elementos en estas algas, o cercanos a ellos.

Por otra parte, en la localidad de Taguao, Edo. Vargas (EV-T) se obtuvo el mayor contenido de Cd y Cr, mientras que en la localidad de La Gonzalera, Edo. Vargas (EV-LG) se obtuvieron las mayores concentraciones de Cu, Ni y Pb. En la Figura 7 se presentan los diagramas de cajas y bigotes para los elementos en relación a las localidades.

Tabla 19. Concentración promedio por localidad*

Localidades	n	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Ni	Pb	Zn
DF	1	0,27	0,11	2,024	0,038	0,05	1,201	0,52	0,005
EA-PE	4	0,67±0,03	0,60±0,10	4,0±1,6	0,46±0,13	0,14±0,04	1,95±0,05	0,48 ± 0,05	0,013±0,004
EA-C	8	0,45±0,33	0,41±0,40	2,6±0,8	0,38±0,17	0,15±0,06	1,5±1,1	0,41 ± 0,23	0,021±0,009
EV-T	12	1,18±0,93	76±110	2,4±1,4	0,40±0,22	0,11±0,04	2,8±2,2	1,0±0,6	0,021±0,012
EV-LG	3	0,70±0,19	36±30	11,5±5,5	0,49±0,06	0,10±0,01	16,4±14,1	4,4±2,0	0,016±0,016
EV-PVI	1	0,42	4,28	6,7	0,760	0,200	5,40	2,80	0,031
EV-PTV	3	0,29±0,07	2,4±2,2	7,3±2,6	0,22±0,04	0,14±0,03	3,4±2,2	0,57±0,27	0,02±0,01

*Concentraciones Promedio ± sdv, expresadas en mg g⁻¹ para Fe y Zn y en µg g⁻¹ para el resto
n=número de muestras por localidad

De acuerdo a los valores de concentración obtenidos en el trabajo de Urdaneta et al ^[47], (Tabla 20), donde se determinó el contenido metálico en nueve (9) especies de algas de diferentes localidades de Venezuela se observa que, en la localidad de Cepe, Edo. Aragua (EA-C), las concentraciones obtenidas en el presente estudio para Cd, Fe, Ni, Pb y Zn (0,4; 0,4; 2; 0,4; 0,02 y 0,6; 0,4; 1,8; 0,8; 0,06 µg g⁻¹) se encuentran en el mismo orden que las obtenidas por Urdaneta ^[47]; mientras que en la localidad de Taguao, Edo. Vargas, se encontraron concentraciones comparables de Hg y Zn (0,11 y 0,02 µg g⁻¹ y 0,12 y 0,043 µg g⁻¹) en el presente estudio y el de Urdaneta ^[47], respectivamente.

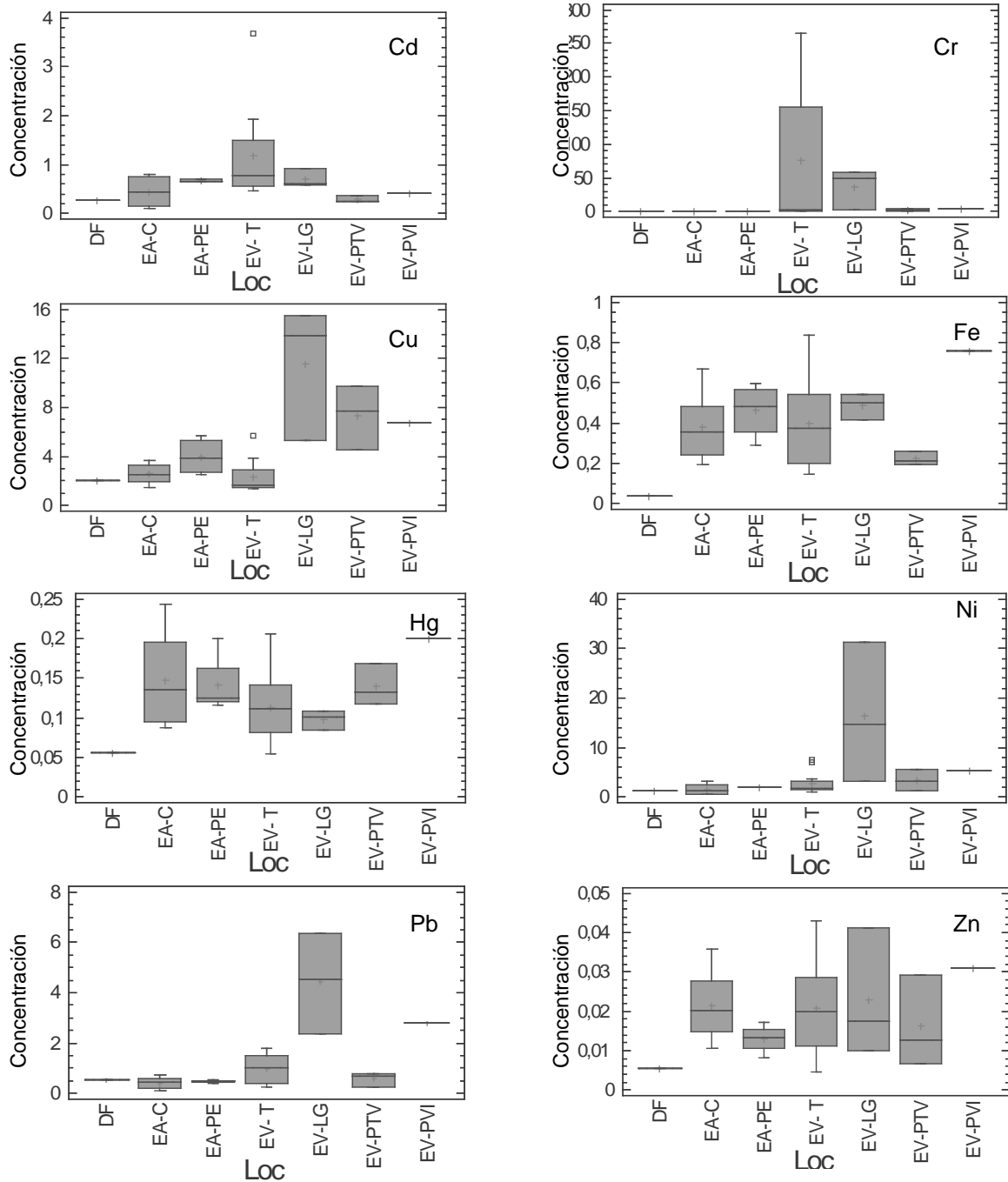


Figura 7. Diagrama de cajas y bigotes para los elementos entre localidades.
Concentraciones Promedio \pm sdv, expresadas en mg g^{-1} para Fe y Zn y en $\mu\text{g g}^{-1}$ para el resto

Tabla 20. Concentraciones en algas provenientes de diversas localidades de Venezuela ^[47] *.

Localidades	n	Pb	Cd	Ni	Cr	Cu	Hg	Ca	Fe	Zn	Mg
EA, Cepe	4	0,8 ± 0,5	0,6 ± 0,1	1,8 ± 0,4	1,1 ± 0,8	5 ± 2	0,08 ± 0,02	7 ± 3	0,4 ± 0,7	0,06 ± 0,07	2,2 ± 0,9
EC, Muelle de Pto. Cabello	2	4,3 ± 0,8	0,083 ± 0,002	2,95 ± 0,09	3 ± 1	34 ± 4	0,10 ± 0,02	7 ± 4	0,9 ± 0,8	0,09 ± 0,02	6 ± 1
EM, Chuspa Playa Caribe	4	2,1 ± 0,9	0,5 ± 0,2	2,7 ± 0,5	2 ± 1	2,8 ± 0,5	0,09 ± 0,04	8 ± 6	0,3 ± 0,3	0,08 ± 0,04	3 ± 1
EM, Chuspa Playa El Indio	3	1,7 ± 0,7	0,5 ± 0,4	1,8 ± 0,7	1,3 ± 0,9	4,0 ± 0,7	0,11 ± 0,08	8 ± 5	0,14 ± 0,15	0,018 ± 0,005	4 ± 3
EM, Higuero Marina Carrasco	1	12,45	0,64	9,22	8,80	98,89	0,09	4,95	5,19	0,139	1,72
ENE, La Caranta	2	2 ± 2	0,6 ± 0,1	2,6 ± 0,9	5 ± 4	5 ± 1	0,49 ± 0,53	5 ± 2	1 ± 2	0,06 ± 0,04	1,3 ± 0,2
ENE, Manzanillo	1	0,59	0,93	2,36	0,74	6,23	0,05	6,84	0,07	0,056	2,46
ENE, Margarita	1	1,58	1,24	3,88	12,08	5,94	0,06	6,87	0,25	0,043	6,10
ENE, Punta Arena	1	1,33	0,83	2,41	3,10	5,65	0,13	10,44	0,12	0,096	5,56
ENE, Tirano	1	0,61	0,82	3,11	0,58	15,97	0,26	4,38	0,04	0,065	3,28
EV, Chichiriviche de la Costa	1	5,10	0,55	5,55	7,20	7,97	0,08	13,03	1,06	0,022	3,30
EV, Taguao Arrecife	5	3 ± 2	0,6 ± 0,3	7 ± 5	6 ± 4	19 ± 16	0,12 ± 0,01	10 ± 4	2 ± 1	0,043 ± 0,036	5 ± 2

* Concentraciones Promedio ± sdv, expresadas en mg g⁻¹ para Ca, Fe, Zn y Mg y en µg g⁻¹ para el resto

5.3.2 Concentraciones por especie de alga

En la Tabla 21 se presentan las concentraciones promedio obtenidas para cada elemento en cada especie de alga analizada (Apéndice 2). En las Figuras 8 y 9 se muestran los diagramas de cajas y bigotes correspondientes.

Tabla 21. Concentraciones promedio por especie de alga*.

Especies	n	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Ni	Pb	Zn
<i>P. gymnospora</i>	21	1,0±0,7	49±89	4,0±3,9	0,48±0,16	0,14±0,05	4,9±6,9	1,5±1,5	0,018±0,009
<i>U. lactuca</i>	4	0,51±0,06	1,1±1,4	3,7±1,7	0,21±0,06	0,07±0,02	1,3±0,4	0,48±0,23	0,029±0,017
<i>U. fasciata</i>	3	0,29±0,07	2,4±2,2	7,3±2,6	0,22±0,04	0,14±0,02	3,4±2,2	0,57±0,30	0,016±0,011
<i>Sargassum sp</i>	4	0,14±0,02	0,07±0,06	2,1±0,6	0,24±0,06	0,094±0,007	0,60±0,04	0,21±0,10	0,019±0,011

Concentraciones Promedio ± sdv, expresadas en mg g⁻¹ para Fe y Zn y en µg g⁻¹ para el resto
n=número de muestras por especie

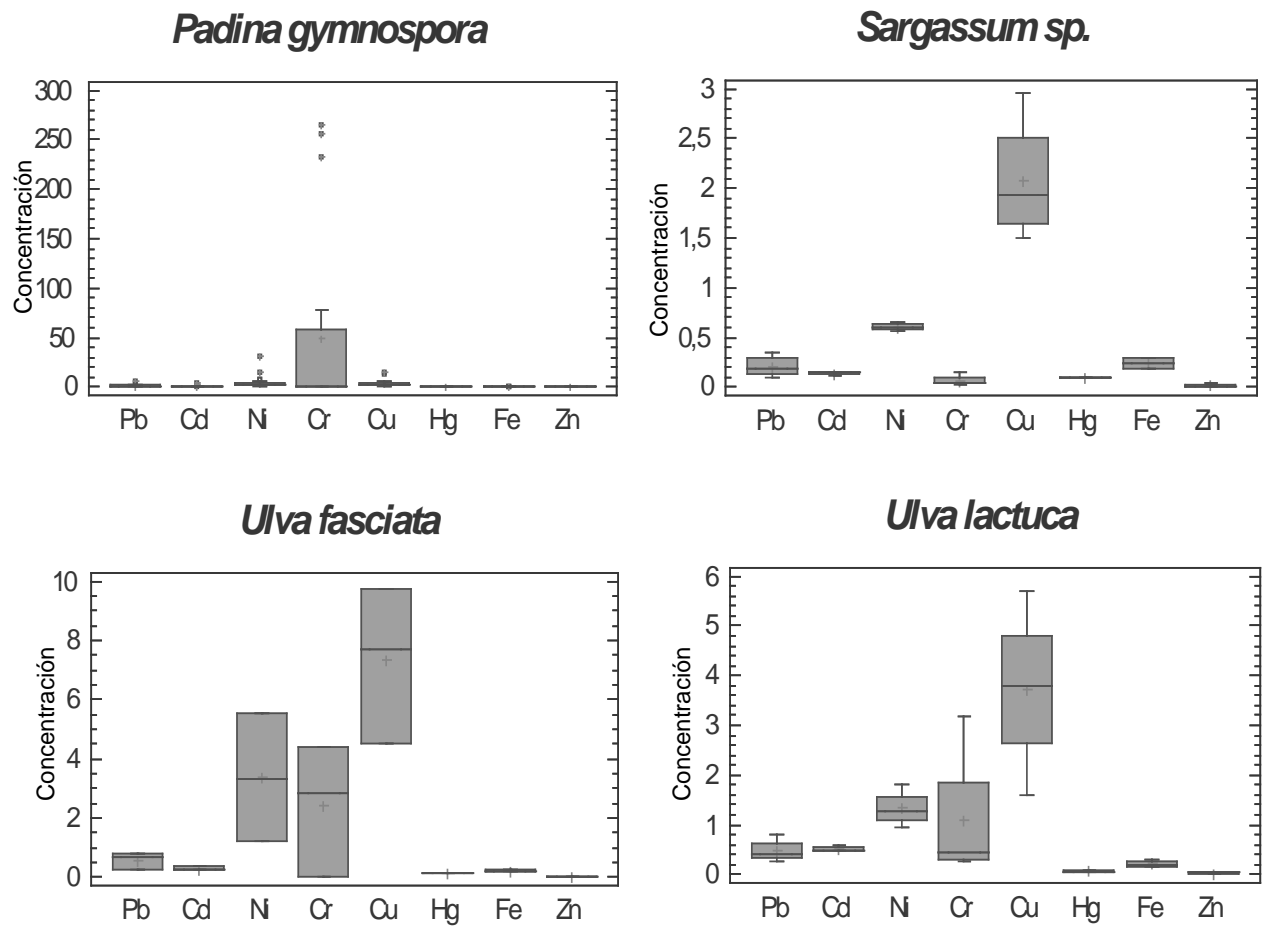


Figura 8. Diagrama de cajas y bigotes para cada especie de alga.*

* Concentraciones expresadas en mg g⁻¹ para Fe y Mg y para el resto en µg g⁻¹

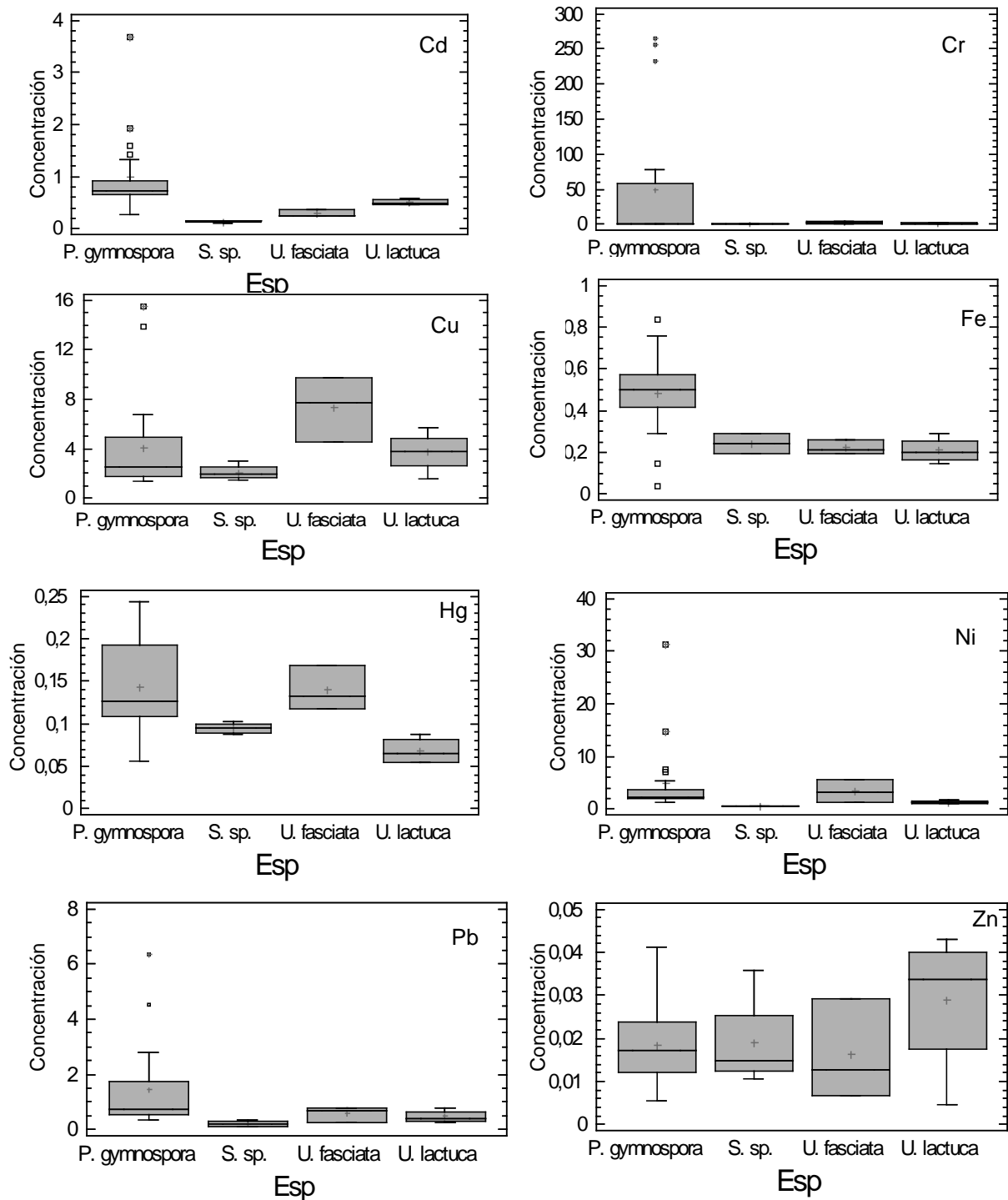


Figura 9. Diagrama de cajas y bigotes para los elementos en distintas especies
Concentraciones Promedio \pm sdv, expresadas en mg g^{-1} para Fe y Zn y en $\mu\text{g g}^{-1}$ para el resto

Las concentraciones promedio más elevadas para los elementos Cd, Cr, Fe, Hg, Ni y Pb se obtuvieron en muestras de la especie *P. gymnospora*. Las muestras de la especie *U. lactuca* presentaron mayores concentraciones promedio de Zn y, en las de la especie *U. fasciata* se encontró la mayor concentración promedio de Cu. La especie *Sargassum sp.* mostró las menores concentraciones de Cd, Cr, Cu, Ni y Pb.

Los menores CV se obtuvieron para los elementos Cr, Pb y Ni en la especie *P. gymnospora* y de Cr en *U. lactuca*.

De acuerdo a la revisión realizada, las concentraciones obtenidas en este estudio para la especies *U. lactuca* y *Sargassum sp.* son menores que las obtenidas en estudios internacionales ^[38] por un orden de magnitud (Tabla 22), mientras que para la especie *P. gymnospora* se encontraron valores mayores, por un orden de magnitud.

Tabla 22. Contenido metálico en las especies *U. lactuca*, *Padina sp.* y *Sargassum sp.* obtenidos en localidades internacionales. Recopilación de Eisler^[38].

	Especie	Localidad	Año	Resultados (en $\mu\text{g g}^{-1}$)
Pb	<i>U. lactuca</i>	Golfo de California, México	2002	Agosto 94,0; Febrero 259,0
		India	2004 -2005	11,6 (5,9 - 20,3)
Cd	<i>U. lactuca</i>	Golfo de California, México	2002	Verano 1,3 - 1,5; Invierno 2,6
		<i>Padina sp.</i>	Guam	1998-1999
Ni	<i>Sargassum sp.</i>	Texas, plataforma continental externa		5,2
Cr	<i>U. lactuca</i>	India	2004 -2005	22,7 (10,5 - 45,7)
		<i>Padina sp.</i>	Guam	1998-1999
Cu	<i>U. lactuca</i>	Golfo de California, México	2002	Verano 23,0; Invierno 44,0
				Firth of Tay, Escocia Minamata Bay, Japón Puget Sound, Washington
Fe	<i>U. lactuca</i>	Golfo de California, México	2002	Agosto 3652,0; Resto del año 500,0–1500,0
Zn	<i>U. lactuca</i>	Golfo de California, México	2002	Agosto 98,0; Abril 547,0

De acuerdo a los valores de concentración señalados para algas colectadas en costas de Venezuela por Urdaneta ^[47] (Tabla 23), las concentraciones de metales obtenidas en el presente estudio se encuentran en el mismo intervalo que los reportados para el Cd, Ni y Hg en la especie *P. gymnospora*, así como para el Cd, Hg, Fe y Zn en la especie *U. lactuca*. En la especie *Sargassum sp.* los valores son comparables para el Cu. Asimismo, se encontraron diferencias para los metales Cr y Cu en la especie *P. gymnospora*, y para los elementos Cr, Ni, Fe, Zn obtenidos en la especie *Sargassum sp.* Se observaron mayores concentraciones promedio para el Cr en la especie *P. gymnospora* y Fe en la especie *Sargassum sp.*

Tabla 23. Concentraciones promedio por especie de alga obtenidas en localidades venezolanas* ^[47].

Especies	n	Pb	Cd	Ni	Cr	Cu	Hg	Ca	Fe	Zn	Mg
<i>Chaetomorpha antennina</i>	4	2 ± 2	0,5 ± 0,4	3 ± 1	3 ± 3	16 ± 12	0,15 ± 0,09	7 ± 5	1,0 ± 1,1	0,05 ± 0,04	6 ± 2
<i>Cladophora chaelomorpha</i>	1	12,4	0,6	9,2	8,8	98,9	0,09	4,9	5,2	0,14	1,7
<i>Cladophora prolifera</i>	1	2,8	0,8	3,1	2,1	2,6	0,06	16,1	0,8	0,05	4,4
<i>Padina gymnospora</i>	5	3 ± 2	0,7 ± 0,1	6 ± 5	6 ± 5	15 ± 18	0,1 ± 0,02	11 ± 3	1,3 ± 1,4	0,05 ± 0,03	4 ± 2
<i>Padina vickersiae</i>	2	1,1 ± 0,7	0,8 ± 0,6	3 ± 1	6 ± 8	4 ± 3	0,07 ± 0,01	9 ± 2	0,2 ± 0,1	0,03 ± 0,01	4 ± 2
<i>Sargassum sp</i>	1	1,3	0,4	2,1	1,0	2,3	0,15	5,3	0,09	0,13	3,4
<i>Sargasum cymossum</i>	2	2 ± 2	0,64 ± 0,04	2,4 ± 1,3	1,3 ± 1,3	3,8 ± 0,1	0,5 ± 0,6	3,5 ± 0,2	1 ± 2	0,02 ± 0,006	1,0 ± 0,1
<i>Ulva lactuca</i>	9	2 ± 1	0,5 ± 0,3	3 ± 1	2,4 ± 2,1	10 ± 11	0,1 ± 0,05	8 ± 4	0,3 ± 0,3	0,06 ± 0,05	3 ± 2
<i>Ulva reticulata</i>	1	0,4	0,5	2,0	7,2	5,8	0,12	6,9	0,07	0,09	1,5

Concentraciones Promedio ± sdv, expresadas en mg g⁻¹ para Ca, Fe, Zn y Mg y en µg g⁻¹ para el resto
n=número de algas para cada especie

5.4. Estudios de agrupamiento

Se realizó un análisis preliminar de agrupamiento (Cluster Analysis), así como otros de correlaciones múltiples y de Análisis de componentes principales (PCA) para conocer como se relacionan las variables de la data en estudio.

5.4.1. Análisis realizado para la totalidad de la data

Análisis de agrupamiento

El análisis de cluster es un estudio preliminar de agrupamiento. Las variables consideradas fueron, además de las concentraciones de los elementos en las muestras, la especie del alga (Cod Esp), la Localidad de Muestreo (Cod Loc) y la distancia (Dist). El valor de distancia cero (0) se ubicó en las muestras procedentes de las localidades supuestamente más prístinas (Isla de Aves, Puerto Escondido, Edo. Aragua).

El dendrograma obtenido es mostrado en la Figura 10, donde se observa que la variable Cod Esp no se agrupa con ninguna de las otras variables, y que los metales Pb, Cu, Ni están relacionados entre sí y con la Localidad del muestreo (Cod Loc), lo cual indicaría que en alguna localidad, el origen de estos elementos es común. También se observa la asociación entre los elementos Cr y Cd y entre los elementos Zn y Fe.

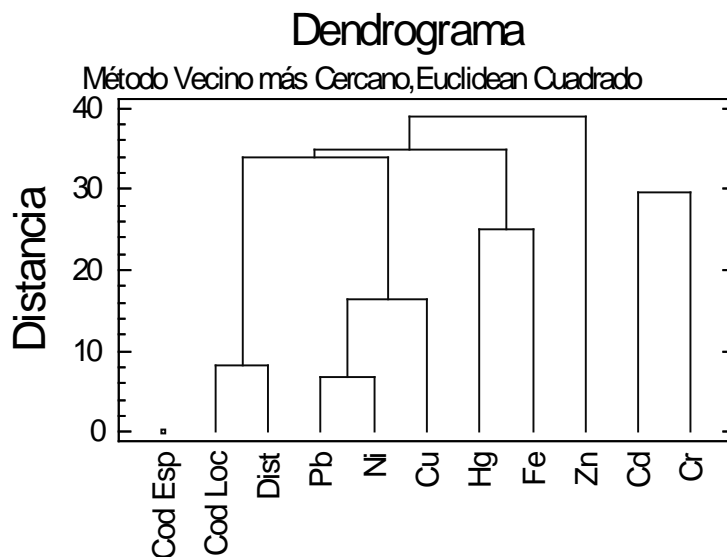


Figura 10. Dendrograma obtenido para las muestras de algas.

Estudio de Correlaciones Múltiples

El estudio de correlaciones múltiples realizado, empleando como estadístico el coeficiente de Spearman, mostró correlaciones significativas ($P=0,05$) entre distintas variables (Figura 11). En el apéndice 3 se encuentran los resultados de este estudio.

Se encontraron correlaciones positivas significativas: entre los elementos Cu y Zn; entre los elementos Ni, Cr, y Pb, y a su vez entre este grupo de elementos con los elementos Fe y Cd y con la variable Localidad (Cod Loc). Para el elemento Cd se encontró correlación con la variable Especie (Cod Esp). Asimismo, se encontraron correlaciones significativas entre los elementos Fe con Hg y Cd.

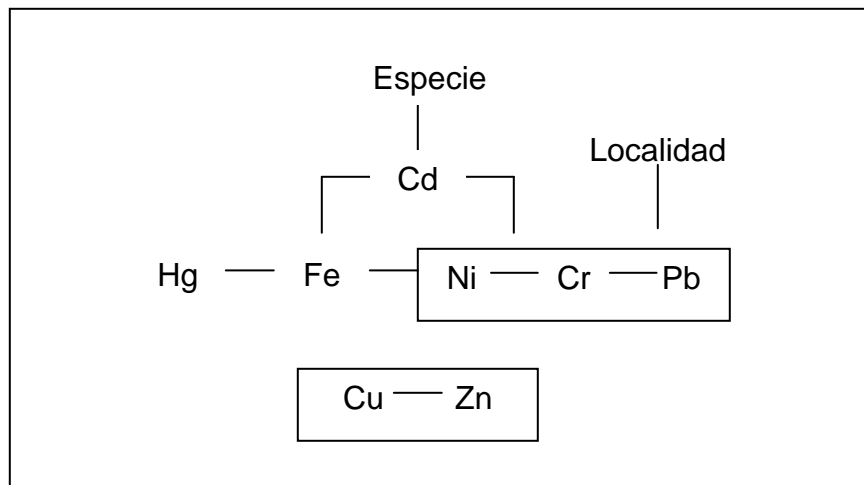


Figura 11. Correlaciones significativas obtenidas en la data

En la Figura 12 se presentan los gráficos correspondientes a las correlaciones interelementales determinadas en este estudio para el elemento Ni, en los cuales se incluyó los resultados obtenidos recientemente en las costas venezolanas (Edos. Aragua, Carabobo, Vargas, Miranda y Nueva Esparta) por Urdaneta^[47]. En estos

gráficos es fácil observar que el intervalo de concentraciones obtenidas en este estudio para los elementos Cd, Cr y Ni es mayor, y para el Cu es menor que el obtenido en el estudio de Urdaneta^[47].

Las algas analizadas en el presente estudio provienen de muestras colectadas en varios lugares de la costa del Edo. Aragua y Edo. Vargas. Las localidades muestreadas en el Edo. Aragua están asociadas a la actividad turística pero, por su lejanía y difícil acceso, se considera que se encuentran en condiciones bastantes prístinas. Las del Edo. Vargas corresponden a localidades asociadas a la influencia de la planta eléctrica de Tocoa y de centros de tráfico urbano.

Hay que destacar que, en base a los resultados obtenidos por Urdaneta, el muestreo del presente estudio en el Edo. Vargas se realizó de manera más intensiva, aumentando el número de localidades de muestreo desde el pueblo de Taguao y extendiéndolo hasta después de la planta eléctrica de Tocoa, hasta Puerto Viejo, La Gonzalera y Piedra La Virgen. Por su parte, las algas del Edo Vargas analizadas en el estudio de Urdaneta^[47] fueron colectadas solamente en las cercanías del pueblo de Taguao. Así, el efecto asociado al derrame de crudo y presencia de plantas eléctricas obtenido en este estudio es superior y explicaría los valores mayores de Ni y Cr obtenidos en comparación a los determinados por Urdaneta^[47].

En el trabajo de Urdaneta^[47] se observó la presencia de dos pendientes para la relación Ni vs Pb, donde la relación mayor Pb/Ni (mayor contenido de Pb) se observó en las localidades con exposición relacionada al empleo de gasolinas (zonas urbanas y turísticas), mientras que la menor relación Pb/Ni (mayor contenido de Ni) se observó en las zonas expuestas a presencia de crudo.

En la Figura 12, que presenta la data del presente estudio y la de Urdaneta ^[47], se observa que los datos obtenidos en este trabajo complementan la información obtenida

por Urdaneta ^[47] y que la relación entre la concentración de Ni y la del Pb, sigue presentando dos pendientes, por lo que la hipótesis planteada en el trabajo de Urdaneta respecto a la diferencia entre la relación Pb/Ni de acuerdo al tipo de exposición, pareciera comprobarse.

El presente estudio agrega una muestra con mayor contenido de Ni en la Población de La Gonzalera, cercana a la planta eléctrica, no muestreada en el estudio de Urdaneta^[47], y valores más elevados de Cr y Cd en las muestras de Taguao, que los obtenidos en el estudio de Urdaneta^[47]. Esta nueva información permite observar, adicionalmente, una doble pendiente para las relación entre el Ni y los elementos Cr y Cd (Figura 12). En los gráficos de la Figura 13, donde se muestran graficadas las concentraciones de los elementos Ni, Cd, Cu y Pb vs la concentración Cr, también se observa una doble pendiente para las relaciones M/Cr, donde M es otro elemento. Para los elementos Pb y Cu, las mayores relaciones M/Cr se observa en los datos de Urdaneta^[47] provenientes de muestras de Higuerote y del Muelle Pto. Cabello, zonas asociadas a exposición urbana y turística principalmente. Para los elementos Cd, y Ni, las mayores relaciones M/Cr se obtuvieron en las poblaciones de Taguao específicamente en las muestras analizadas en este estudio.

Estos resultados mostrarían que la actividad antrópica que origina las emisiones mayoritarias de Cr, Ni y Cd, aumentó de manera importante entre la fecha del muestreo de Urdaneta ^[47] (mayo 2009 - abril 2010) y la del presente estudio (marzo-agosto 2011). El aumento de la concentración es de, alrededor de tres veces para Ni y Cd y de un orden de magnitud para Cr. Las emisiones que originaron el incremento de estos elementos pudieran asociarse al aumento de las actividades en la zona de Taguao, desembarco y consumo de combustible, debido a introducción de las barcazas generadoras de energía que actualmente complementan la actividad de la planta eléctrica Josefa Joaquina Sánchez.

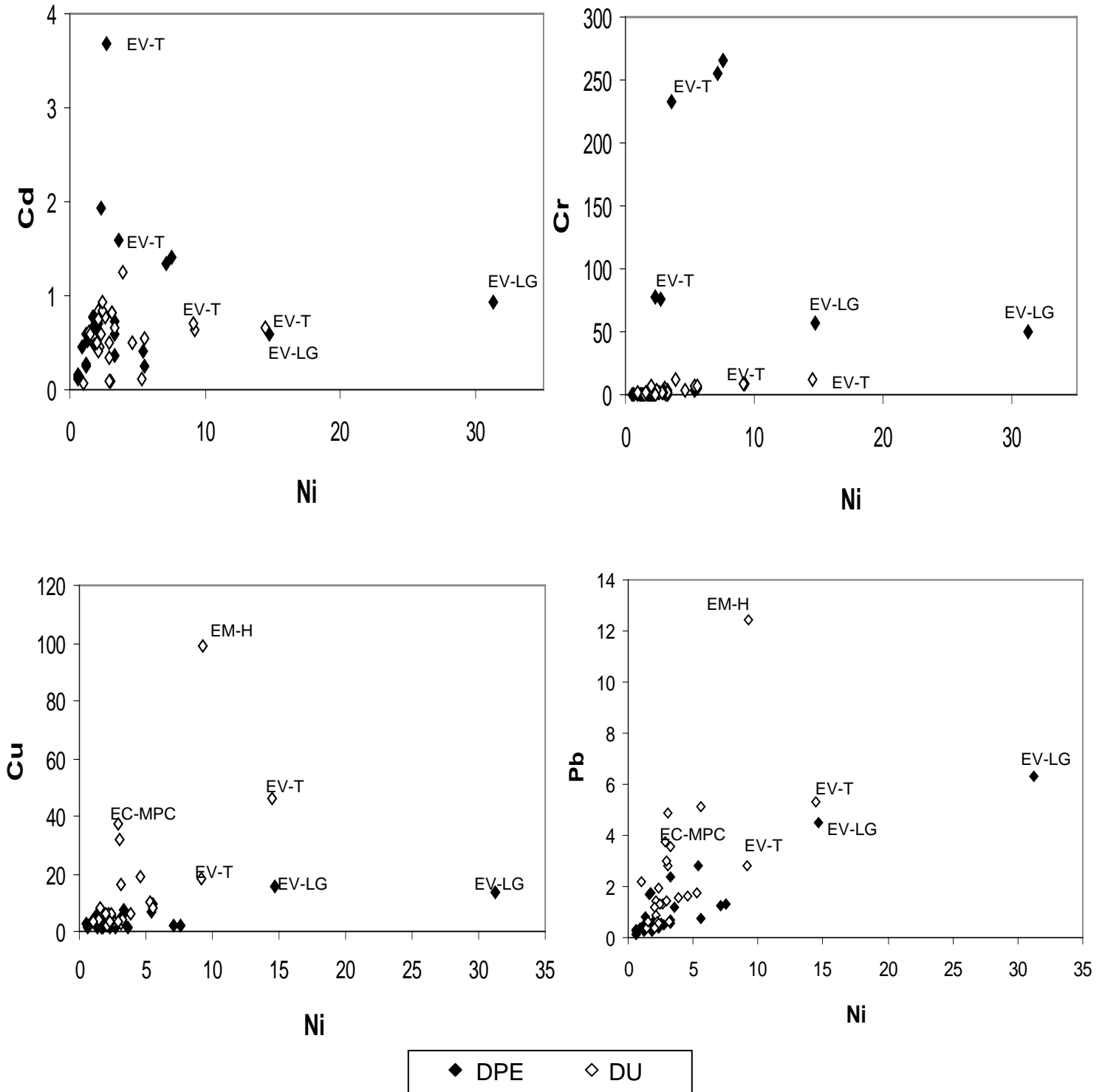


Figura 12. Correlaciones del Ni con otros elementos.

DPE: Datos del presente estudio; DU: Datos de Urdaneta ^[47]. Concentraciones en $\mu\text{g g}^{-1}$.

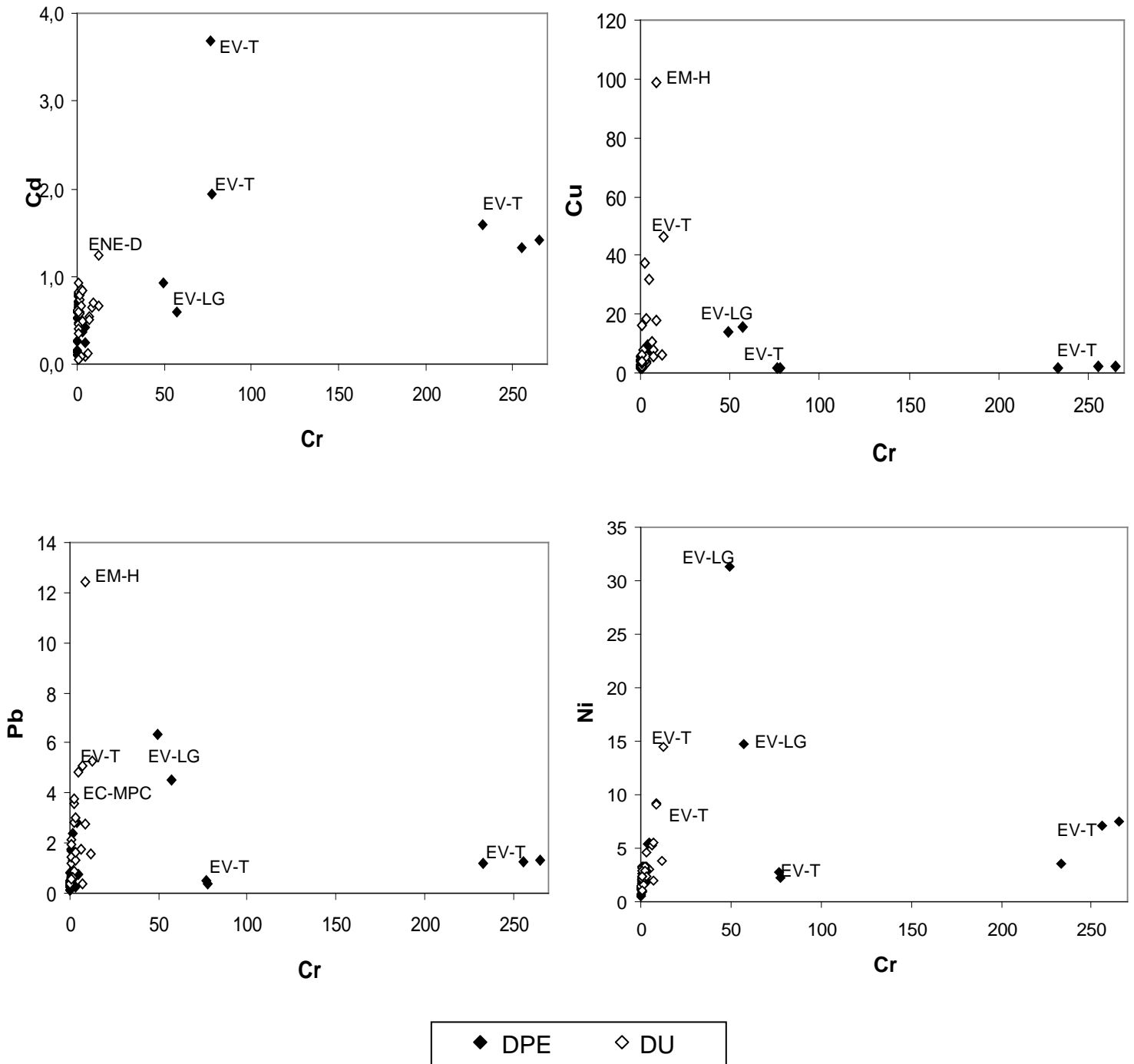


Figura 13. Correlaciones del Cr con otros elementos.

DPE: Datos del presente estudio; DU: Datos de Urdaneta ^[47]. Concentraciones en $\mu\text{g g}^{-1}$.

Otra correlación significativa determinada fue la del Fe y el Hg, la cual se muestra en la Figura 14. El Hg tiene su origen natural en la desgasificación de la corteza terrestre, las emisiones volcánicas y la evaporación de los océanos. También son fuente de contaminación actividades como la utilización de combustibles fósiles, la producción de acero, cemento y fosfatos y la fundición de minerales con sulfuro ^[54].

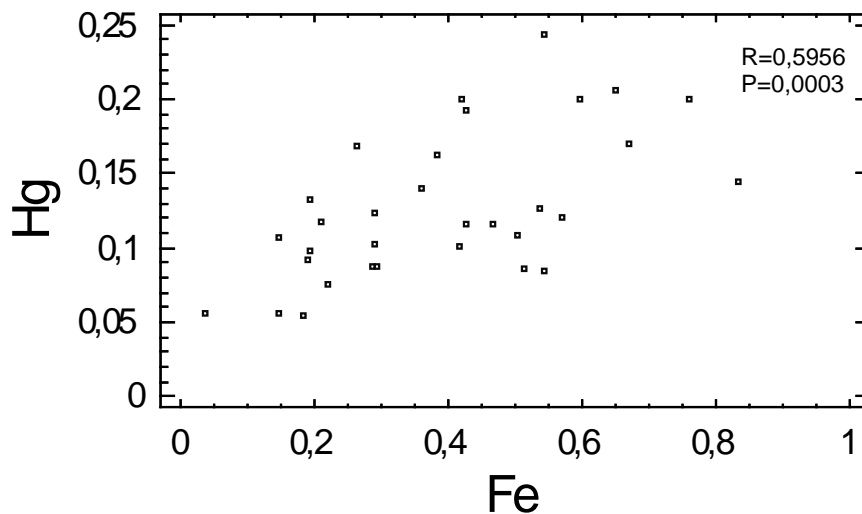


Figura 14. Correlaciones entre el Hg y el Fe.

Concentraciones expresadas en mg g⁻¹ para Fe y en μg g⁻¹ para el Hg.

La ausencia de relación entre el Hg con el Ni y Cr descartaría su introducción debida a derrames directos de crudos y combustibles fósiles en el agua de mar, y lo asociaría a emisiones de volátiles producidos por quema de combustibles fósiles o un origen antropogénico, como la producción de cemento. En la zona muestreada, específicamente cerca de Puerto Viejo y Piedra la Virgen, se encuentra una planta cementera, la cual pudiera ser el origen del elemento en las muestras.

En la Figura 15 se muestra la relación del Cu y Zn. Este último es considerado elemento esencial ^[38], mientras que los resultados de Cu pueden explicarse por la capacidad natural de ciertas especies para desarrollar sus mecanismos de adaptación contra la contaminación, lo que incluye la liberación extracelular de ciertos compuestos ^[20].

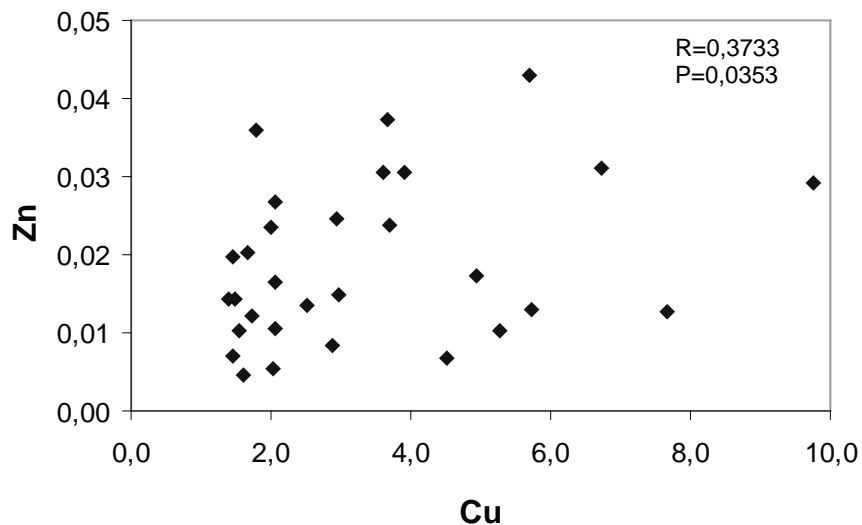


Figura 15. Correlaciones entre el Zn y el Cu.

Concentraciones expresadas en mg g⁻¹ para Zn y en µg g⁻¹ para el Cu.

Análisis de Componentes principales

Este análisis factorial encontró cuatro componentes principales que explican el 75,04 % de la varianza de la data. Los resultados de este análisis se encuentran en el Apéndice 4. En la Figura 16 se muestran los gráficos de los componentes principales obtenidos.

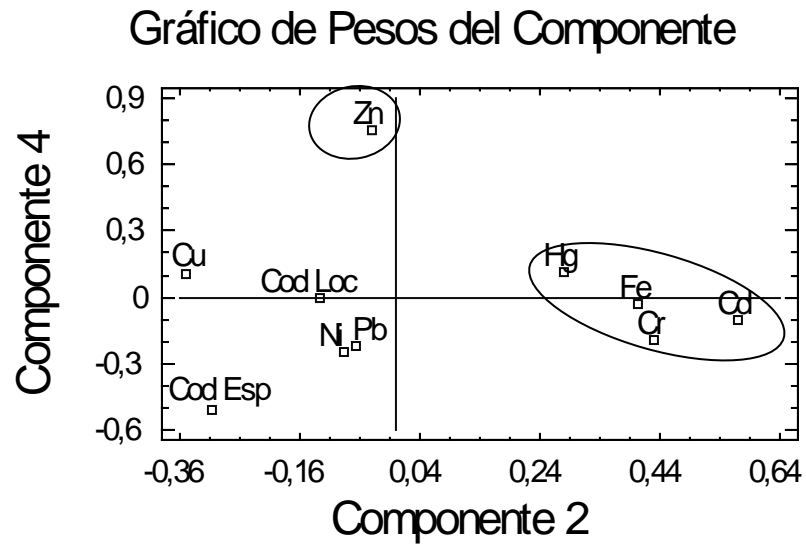
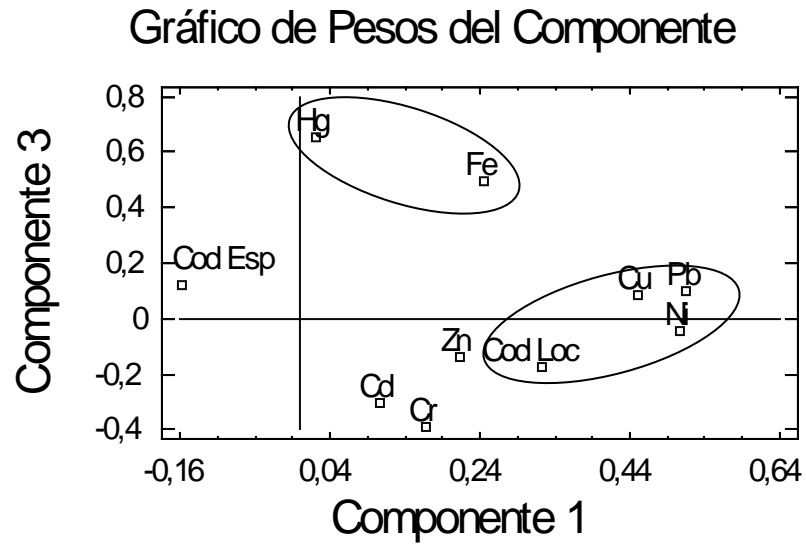


Figura 16. Gráfico de componentes principales (PCA) obtenidos en el presente estudio.

El PCA1 (31,29 %), que explica la variabilidad de los elementos Pb, Ni y Cu y su agrupamiento a la variable Localidad (Cod Loc), se asociarían al efecto de la emisiones relacionadas con la planta eléctrica de Taguao, posiblemente derrames de combustibles fósiles, así como por las escorrentías de los suelos que presentan todavía depósitos de Pb, debido al empleo de gasolinas con Pb en el pasado, así como aportes menores de Fe, Zn, Cr y Cd.

Las emisiones asociadas al PCA2 (18,01 %) son las que más contribuyen a la concentración de Cd y Cr, aunque también aportan cantidades de Fe y Hg, y podrían asociarse a la quema de combustibles fósiles como el diesel en la generación de electricidad, y otras emisiones antrópicas derivadas de las cementeras, esto por la presencia de Hg y Cd en las algas.

Sin embargo, la mayor concentración de Hg y de Fe estaría explicada por el PCA 3 (15,38 %) que podría asociarse, emisiones antrópicas derivadas de las cementeras y a la presencia de materiales ferrosos de desecho de las instalaciones eléctricas.

El Componente 4 (10,36 %) estaría asociado a la naturaleza del tipo de muestra analizada, donde el Zn es un elemento esencial.

5.4.2. Estudio del efecto de las variables Localidad y Especie

El estudio del efecto de la Localidad y de la Especie sobre la concentración de los elementos en las algas se realizó aplicando la prueba ANOVA de una vía ($P= 0,05$). Esta prueba requiere que la población de datos se distribuya normalmente y que las varianzas sean homogéneas. En el Apéndice 5 se muestran los valores de df , F y P correspondiente a la prueba ANOVA de una vía.

La prueba ANOVA de una vía mostró diferencias significativas en la concentración de los elementos Cd, Hg y Fe entre especies, observándose la mayor concentración de estos elementos en la especie *P. gymnospora*. Esto podría indicar que hay diferencias entre las especies en su poder de acumulación de los elementos. Sin embargo, debido a la diferencia importante en el número de muestras analizadas para cada especie (21 *P. gymnospora* y 4 *U. lactuca*) esta conclusión debería ser corroborada.

Para el Pb, Ni y Cu se encontraron diferencias significativas entre localidades, siendo La Gonzalera (EV-LG) la que presentó mayores concentraciones y para el Fe en la localidad de Piedra de la Virgen (EV-PVI), las localidades Isla de Aves (DF) y de Cepe (EA-C) y Puerto Escondido (EA-PE) resultaron ser las localidades con menores concentraciones. Esta información muestra a las localidades de Isla de Aves, Cepe y Puerto Escondido como zonas de baja exposición a la emisión de metales pesados presentando valores de concentración que pudieran considerarse como de referencia de valores base. Por otra parte, la exposición a actividades antrópicas determina la diferencias obtenidas en la concentración de metales en las algas. El origen de dichas emisiones se discute a continuación.

5.4.3. Posibles fuentes de entrada de metales pesados en las aguas marinas en distintas localidades de la costa central, Venezuela.

Para el Pb, Ni y Cu, cuyas concentraciones mayores se obtuvieron en La Gonzalera (EV-LG) se pudiera considerar su origen al derrame de crudo por los barcos que transportan los combustibles fósiles como combustibles para la Planta Termoeléctrica “Josefa Joaquina Sánchez”, conocida también como “Ricardo Zuloaga”, y dicha planta se encuentra al oeste de la localidad de La Gonzalera.

El Ni es omnipresente en la biosfera y se considera esencial para el crecimiento normal de muchas especies de microorganismos y plantas fotosintéticas. En general, las concentraciones de Ni en algas son elevadas ($20-150 \mu\text{g g}^{-1}$) en las cercanías de fundiciones de Ni y refinerías, plantas de baterías Ni-Cd, desechos de aguas residuales, plantas de galvanoplastia, cuencas de disposición de carbón y áreas densamente pobladas ^[38]. Algunos de los valores obtenidos de Ni en las muestras analizadas ($0,6-31 \mu\text{g g}^{-1}$) pueden considerarse elevados, pues caen en el intervalo de valores elevados mencionado anteriormente.

La literatura señala elevadas concentraciones de Cr ($110-240 \mu\text{g g}^{-1}$) registradas en otros estudios de algas marinas provenientes a lugares cercanos a plantas de galvanoplastia, curtiembres, las operaciones de perforación petrolera, emisarios de aguas residuales, torres de enfriamiento, la deriva vertederos y otras fuentes de Cr que contienen residuos que estaban siendo vertidas en el medio ambiente ^[38]. Algunos de los valores obtenidos de Cr en las muestras analizadas ($0,03-265 \mu\text{g g}^{-1}$) pueden considerarse como muy elevados, pues caen en el intervalo mencionado anteriormente.

La concentración de Cr obtenida en algas del presente estudio mostraron valores mayores que los obtenidos en el trabajo de Urdaneta ^[38]. Esto está asociado al hecho del aumento de las actividades de la planta eléctrica, las cuales fueron extendidas mediante la colocación de barcazas (instaladas en abril del 2011 y puestas en funcionamiento a partir de mayo del mismo año). Estas barcazas están situadas entre la Planta Termoeléctrica y La Gonzalera. De acuerdo a estudios realizados ^[53], la combustión de diesel genera niveles muy elevados de concentración de Cr.

El Pb no es esencial para los organismos fotosintéticos, y cantidades excesivas pueden causar la inhibición del crecimiento, así como una reducción en la mitosis, la fotosíntesis y la absorción de agua. A diferencia de los metales esenciales, tales como el Cu y el Zn, el Pb no esencial está excluido de tejidos foliares, independientemente de las

concentraciones ambientales. Hay muchos factores que pueden modificar las concentraciones de Pb en las algas recogidas, incluyendo la ubicación geográfica, la proximidad a fuentes de Pb antropogénicas, las concentraciones de Pb en el agua, la asociación con Sr y Ti, y la temporada de la recolección; dando lugar a concentraciones elevadas (20-260 $\mu\text{g g}^{-1}$) del mismo. Además, el pH bajo y alto nivel de fosfato del medio circundante puede inhibir la absorción de Pb en *U. lactuca* [38]. Los valores obtenidos de Pb en las muestras analizadas (0,1-6 $\mu\text{g g}^{-1}$) son bajos respecto a los intervalos considerados elevados.

Los niveles extremadamente elevados de Cd (22,0-220,0 $\mu\text{g g}^{-1}$) en las algas casi siempre se asocian directamente con la contaminación por Cd de las actividades humanas. El Cd se obtiene como subproducto de la minería y de la extracción de Zn y Pb, además se emplea en distintas actividades como la galvanoplastia, la estabilización del PVC, fabricación de pigmentos para esmaltes, fabricación de pilas de Ni-Cd o la obtención de diferentes aleaciones y también está presente en pequeñas cantidades en los fertilizantes fosfatados [54]. Los valores obtenidos de Cd en las muestras analizadas (0,1-3,6 $\mu\text{g g}^{-1}$) pueden considerarse bajos.

La principal fuente natural de Hg es la desgasificación de la corteza terrestre, incluyendo las emisiones volcánicas y la evaporación de los océanos. También son fuente de contaminación actividades como la extracción minera del Hg, la industria cloroalcalina, la industria de pinturas, la fabricación de equipos eléctricos e instrumentos de precisión, la utilización de combustibles fósiles, la producción de acero, cemento y fosfatos y la fundición de minerales con sulfuro [54]. Las concentraciones más altas de Hg obtenidas en estudios internacionales resultaron entre 2,5-51 $\mu\text{g g}^{-1}$, determinado en plantas marinas recogidas en lagunas de aguas negras, cerca de plantas cloroalcalinas y en proximidad a las zonas industrializadas [38]. Los valores obtenidos de Hg (0,05-0,24 $\mu\text{g g}^{-1}$) pueden considerarse bajos en relación a los señalados por la literatura. Los mayores valores obtenidos en la localidad de Piedra la Virgen asociaría el origen de

este elemento a las emisiones de la planta de Cemento (Vencemos) que se encuentra en las cercanías.

5.4.4. Análisis realizado para las especies *U. lactuca* y *P. gymnospora* para el conjunto de datos de Urdaneta^[47] y el presente.

Uno de los objetivos del trabajo de Urdaneta^[47] fue determinar la posibilidad de emplear alguna especie de alga como especie bioindicadora de metales pesados. Sus resultados no mostraron diferencias significativas entre las especies lo cual fue atribuido al número elevado de especies y al bajo número de muestras por especie recolectadas. Debido a la presencia mayoritaria de *U. lactuca* y *P. gymnospora* en las zonas muestreadas se propuso el empleo de estas especies como agentes biomonitores, lo cual se realizó en el presente estudio. Sin embargo, los resultados obtenidos en el presente estudio tampoco fueron del todo concluyentes, debido al pequeño número de muestras de *U. lactuca* colectadas (al momento de muestreo del año 2011 no se encontraron suficientes muestras de la especie *U. lactuca*, lo cual pudo deberse a los fenómenos naturales presentes entre el año 2010 y 2011, y a los cambios estacionales de dicha especie).

Por tanto, se decidió unir la data correspondiente a las muestras de *U. lactuca* y *P. gymnospora* de Urdaneta^[47] y del presente estudio para estudiar los efectos de la especie sobre el contenido de metales pesados. En total se contó con 39 muestras de algas, de las cuales 26 fueron de la especie *P. gymnospora* (21 de este estudio y 5 del estudio de Urdaneta^[47]), y 13 de la especie *U. lactuca* (4 de las mismas analizadas en el presente estudio y 9 de Urdaneta^[47]).

Los resultados de la prueba ANOVA de una vía ($P \leq 0,05$) aplicada (resultados en Apéndice 6) mostró diferencias significativas entre especies: para los elementos Cd y

Hg (valores de P: 0,035 y 0,003 respectivamente) los cuales se presentan en mayor concentración en la especie *P. gymnospora*, y para el elemento Zn (P=0,013) que resultó mayor en la especie *U. lactuca*. También se encontraron diferencias significativas para el 90% para los elementos Cr (P= 0, 097), Fe (P=0,069) los cuales se presentan en mayor concentración en la especie *P. gymnospora*.

Estos resultados mostrarían que la especie *P. gymnospora* (alga parda) supera a la *U. lactuca* (alga verde) en su capacidad de preconcentrar metales y por lo tanto pudiera ser mejor como agente biomonitor. La composición de las dos especies de algas (carboxilatos y sulfatos como grupos activos predominan en las algas pardas, mientras que las algas verdes contienen compuestos tipo amina, carboxilo, sulfato, hidróxido, etc.) podría tener un papel importante en el proceso de biosorción ^[19] y en su potencialidad para la bioacumulación de los metales pesados.

VI. CONCLUSIONES

Se encontraron los mayores valores de concentración de Cu, Ni y Pb en La Gonzalera y de Cd y Cr en la localidad de Taguao, ambas del Edo. Vargas. Estas localidades se diferenciaron significativamente del resto.

El origen de los elementos Ni y Cr se debería principalmente a las emisiones de crudo al agua de mar, debido al aumento de las actividades en la Planta Termoeléctrica Josefa Joaquina Sánchez, con la introducción de barcazas generadoras de energía, las cuales son alimentadas con diesel. Estas emisiones igualmente aportarían concentraciones significativas de Pb y Cu, aunque el principal aporte de Pb estaría asociado al empleo de gasolina y combustibles por las embarcaciones.

Las concentraciones de Cr, Cd y Ni fueron superiores que las determinadas por Urdaneta^[47] en muestras de las mismas costas costas. Las concentraciones de Ni y Cr obtenido en las algas analizadas se encuentran en los intervalos de concentraciones elevadas, según estudios internacionales.

En la localidad de Piedra de la Virgen Edo. Vargas, las concentraciones de Fe en las algas se ve aumentada por la precipitación de compuestos de Fe asociados a la herrumbre de las embarcaciones y a la actividad de una fábrica de cemento cercana a dicha localidad.

Las localidades menos expuestas correspondieron a Isla de Aves, Dependencias Federales y a Cepe y Puerto Escondido del Edo. Aragua.

La especie *P. gymnospora* presentó mayores concentraciones de los elementos, por lo que se puede considerar que esta especie resultó ser la mejor biomonitora.

VII. RECOMENDACIONES

Incluir en el estudio la determinación de la concentración de V sería importante, a fin de establecer una relación con el Ni y el Cr.

El muestreo debe realizarse en un tiempo limitado para evitar los efectos de la estacionalidad de las corrientes de aguas y movimientos del suelo, que tiene como consecuencia que no se encuentre diversidad de muestras.

Además, es fundamental analizar también la concentración de los metales en los sedimentos de manera de determinar el Factor de Bioacumulación.

VIII. REFERENCIAS

- [1] **Peña E., Palacios M., Ospina N.** (2005). Algas como indicadoras de contaminación. Primera Edición, Editorial Universidad del Valle. Colombia-Cali. 17,18, 51-59, 164 p.
- [2] **Honggang ZHANG, Baoshan CUI, Rong XIAO, Hui ZHAO** (2010). Heavy metals in water, soils and plants in riparian wetlands in the Pearl River Estuary, South China. International Society for Environmental Information Sciences 2010 Annual Conference (ISEIS). *Procedia Environmental Sciences* 2: 1344–1354.
- [3] **Buo-Olayan A., Subrahmanyam M. N.** (1996). Heavy metals in Marine Algae of the Kuwait Coast. *Bulletin Environmental Contamination & Toxicology* 5 (5): 816-823.
- [4] **Decreto 883** (1995). Gaceta Oficial Extraordinaria, 5.021. <http://es.scribd.com/doc/34620858/Dec-883-Normas-Para-La-Clasificacion-y-EI-Control-de-La-Calidad-Del-Los-Cuerpos-de-Agua-y-Vertidos-o-Efluentes-Liquidos>, consultado enero 2011.
- [5] **United States Environmental Protection Agency (EPA).** (2006). National Recommended Water Quality Criteria. <http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/current/index.cfm>, consultado febrero 2011.
- [6] **Medina R., Zetina C., Comas M., Pat R.** (2004). Concentración de Cd, Cr, Cu y Pb en sedimentos y en tres especies de pepino de mar (clase *holothuroidea*) de las costas del Estado de Yucatán, México. *Ingeniería* 8-2: 7-19.
- [7] **Puig, A.** Bioindicadores (= indicadores biológicos). <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/Bioindic.htm>, consultado mayo 2011.
- [8] **Rosenberg, D.M.** (1998). A National Aquatic Ecosystem Health Program for Canada: We should go against the flow. *Bull. Entomol. Soc. Can.*, 30(4):144-152.

- [9] **Gerhardt, A.** (1999). *Biomonitoring of Polluted Water - Reviews on Actual Topics*. Trans Tech Publications - Scitech Publications. Uetikon-Zuerich, Suiza. *Environmental Research Forum* 9: 1-13.
- [10] **Oertel N., Salánki, J.** (2003). *Biomonitoring and Bioindicators in Aquatic Ecosystems*. In: Ambasht RS, Ambasht NK (Eds.) *Modern trends in applied aquatic ecology*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, pp. 219-246.
- [11] **Markert, B., Wappelhorst, O., Weckert, V., Herpin, U., Siewers, U. and Friese, K.** (1999). The use of bioindicators for monitoring the heavy-metal status of the environment. *Journal of Radioanalytical Nuclear Chemistry*, 240(2): 425-429.
- [12] **Li Li, Binghui Zheng, Lusan Liu** (2010). *Biomonitoring and Bioindicators Used for River Ecosystems: Definitions, Approaches and Trends*. International Society for Environmental Information Sciences 2010 Annual Conference (ISEIS). *Procedia Environmental Sciences* 2: 1510–1524.
- [13] **Markert B., Oehlmann J., Roth M.** (1997). General aspects of heavy metal monitoring by plants and animals. In: Subramanian G, Iyengar V, editors. *Environmental biomonitoring - exposure assessment and specimen banking*. ACS Symposium Series, Vol. 654. Washington DC: American Chemical Society.
- [14] **Markert B., Breure T., Zechmeister H.** (2003). *Bioindicators and biomonitors - principles, concepts and applications*. Amsterdam: Elsevier, Oxford. ISBN: 0-08-044177-7. 1040 p.
- [15] **De La Lanza G., Hernández S. y Carbajal J.** (2002). *Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores)*, Primera edición, editorial Plaza y Valdés, México, D.F., México. 633 p.
- [16] **Calva L., Torres R.** (2008). Macroalgas y pasto marino, útiles bioindicadores de contaminación por hidrocarburos fósiles en sistemas acuáticos. *ContactoS* 68, 38–46.
- [17] **Leal M., Vasconcelos M., Sousa I., Cabral J.** (1997). Biomonitoring with benthic macroalgae and direct assay of heavy metals in seawater of the Oporto coast (northwest Portugal). *Marine Pollution Bulletin* 34(12):1006- 1015.

- [18] **Sayhan Topcuoğlu, Önder Kılıç, Murat Belivermiş, Halim Aytekin Ergül y Gülşah Kalaycı** (2010). Use of marine algae as biological indicator of heavy metal pollution in Turkish marine environment. *J.Black Sea/Mediterranean Environment*. 16(1):43-52.
- [19] **Romera E., González F., Ballester A., Blázquez M.L., Muñoz J.A.** (2007). Comparative study of biosorption of heavy metals using different types of algae. Dpto. Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica, Facultad de C. Químicas, Universidad Complutense, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid, España. *Bioresource Technology* 98: 3344–3353.
- [20] **Farías S., Pérez S., Vodopivec C. y Smichowski P.** (2002). Levels of essential and potentially toxic trace metals in Antarctic macro algae, *Spectrochimica Acta Part B* 57, 2133–2140.
- [21] **Vodopivec C., Farías S., Smichowski P.** (2004). Niveles de metales pesados en seis especies de algas marinas de la península Antártica, *Actas del V° Simposio Argentino y I° Latinoamericano sobre Investigaciones Antárticas*, Resumen Expandido N° 203BG, 4pp.
- [22] **Gutiérrez A., López D., Viamontes J, Jiménez J., Pérez I.** (2003). Variabilidad Geográfica de Hg, Co, Fe y Ni en Mejillones *Mytilus californianus* de la costa de Baja California, México. Resúmenes Ampliados, X Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar. San José, Costa Rica.
- [23] **Vodopivec C., Farías S., Smichowski P., Vélez D., Montoro R., Curtosi A.** (2004). Arsénico total e inorgánico en macroalgas antárticas. *Actas del V° Simposio Argentino y I° Latinoamericano sobre Investigaciones Antárticas*, Resumen Expandido N° 205BG.
- [24] **Türkmen A., Türkmen M., Tepe Y.** (2005). Biomonitoring of Heavy Metals from İskenderun Bay Using Two Bivalve Species *Chama pacifica* Broderip, 1834 and *Ostrea stentina* Payraudeau, 1826. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 5: 107-111.

- [25] **Hamed M., Emara A.** (2005). Marine molluscs as biomonitors for heavy metal levels in the Gulf of Suez, Red Sea. National Institute of Oceanography and Fisheries, Suez and Aqaba Gulfs Branch, Egypt. *Journal of Marine Systems* 60: 220–234.
- [26] **Vázquez-Sauceda M., Aguirre-Guzmán G., Sánchez-Martínez J., Pérez-Castañeda R., Rábago J.** (2006). Contenido de metales pesados en agua, sedimentos y ostiones de la Laguna de San Andrés, en Tamaulipas, México. http://www.turevista.uat.edu.mx/N%C3%BAmero%204/Microsoft%20Word%20-%20ZZZ-RDU-4%20Art.%20METALES%20PESADOS%201_ULTIMO_.pdf, consultado mayo 2011.
- [27] **Cebrián E., Uriz M., Turón X.** (2007). Sponges as biomonitors of heavy metals I spatial and temporal surveys in Northwestern Mediterranean: multispecies comparison. *Environmental Toxicology and Chemistry* 26 (11): 2430-2439.
- [28] **Yap C., Hisyam M., Cheng W., Tan S.** (2008). Heavy metal concentrations in *Nerita lineata*: the potential as a biomonitor for heavy metal bioavailability and contamination in the tropical intertidal area. *JMBA2 - Biodiversity Records*. www.mba.ac.uk/jmba/pdf/6292.pdf, consultado junio 2011.
- [29] **Wallenstein F., Couto R., Amaral A., Wilkinson M., Neto A. y Rodrigues A.** (2009). Baseline metal concentrations in marine algae from São Miguel (Azores) under different ecological conditions – Urban proximity and shallow water hydrothermal activity. *Marine Pollution Bulletin*. 58: 424-455.
- [30] **Yap C., Hisyam M., Edward F., Cheng W., Tan S.** (2010). Concentrations of Heavy Metal in different Parts of the Gastropod, *Faunus ater* (Linnaeus), collected from Intertidal Areas of Peninsular Malaysia. Universiti Putra Malaysia Press. *Pertanika J. Trop. Agric. Sci.* 33 (1): 45 - 60.
- [31] **Kamaruzzaman B., Mohd M, Akbar J., Jalal K., Shahbudin S., Al-Barwani S., Goddard J.** (2011). Bioaccumulation of some metals by green mussel *Perna viridis* (Linnaeus 1758) from Pekan, Pahang, Malaysia. Academic Journals Inc. *International Journal of Biological Chemistry* 5 (1): 54-60.
- [32] **Nannavecchia P.** (2002). Función de la pared celular de *Padina gymnospora* en la acumulación de cadmio.

<http://www.ecogenesis.com.ar/index.php?sec=articulo.php&Codigo=74>, consultado mayo 2011.

[33] **Al-Homaidan A.** (2006). Brown Algae as Biomonitors of Heavy Metal Pollution Along the Saudi Coast of the Arabian Gulf. *Saudi Journal of Biological Sciences* 13 (2) 99-103.

[34] **Amado-Filho GM., Salgado LT., Rebelo MF., Rezende CE., Karez CS., Pfeiffer WC.** (2006). Heavy metals in benthic organisms from Todos os Santos Bay, Brazil. *Braz. J. Biol.*, 68(1): 95-100.

[35] **Mamboya F.** (2007). Heavy metal contamination and toxicity - Studies of Macroalgae from the Tanzanian Coast. Stockholm University. ISBN 91-7155-374-6 pp. 1-48.

[36] **Güven K., Topcuoğlu S., Balkis N., Ergül H., Aksu A.** (2007). Heavy metal concentrations in marine algae from the Turkish Coast of the Black Sea. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 38.

[37] **Manivannan K., Karthikai G., Thirumaran G., Anantharaman P.** (2008). Mineral Composition of Marine Macroalgae from Mandapam Coastal Regions; Southeast Coast of India. © IDOSI Publications, 2008. *American-Eurasian Journal of Botany*, 1 (2): 58-67.

[38] **Eisler, R.** (2010). *Compendium of Trace Metals and Marine Biota Volume 1: Plants and Invertebrates*. Primera Edición, Elsevier. Gran Bretaña. 610 p.

[39] **Salazar-Lugo R.** (2009). Estado de conocimiento de las concentraciones de cadmio, mercurio y plomo en organismos acuáticos de Venezuela. *REDVET. Revista electrónica de Veterinaria* 10 (11). ISSN: 1695-7504 2009.

[40] **Organización Mundial de la Salud** (1999). Comunicado. http://www.who.int/whr/1999/en/whr99_dgmessage_es.pdf, consultado abril 2011.

[41] **Acosta V., Lodeiros C., Senior W., Martínez, G.** (2002). Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela. *Asociación Interciencia*. Caracas, Venezuela. *Interciencia* 27 (012): 686-690.

- [42] **Márquez A., Senior W., Fermín I., Martínez G., Castañeda J., González A.** (2002). Metales pesados en sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente* 41 (1&2): 83-96.
- [43] **Fuentes M., de Astudillo L., Diaz A., Martínez G.** (2010). Distribución de metales pesados en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, Sucre, Venezuela. *Rev. Biol. Trop.* 58 (3): 129-140 (*Int. J. Trop. Biol.* ISSN-0034-7744).
- [44] **Acosta V., Lodeiros C.** (2004). Metales pesados en la almeja *Tivela mactroides* Born, 1778 (*Bivalvia: Veneridae*) en localidades costeras con diferentes grados de contaminación en Venezuela. *Ciencias Marinas* 30 (2): 323-333.
- [45] **Astudillo L., Chang Y., Bekele I.** (2005). Heavy metals in sediments, mussels and oysters from Trinidad and Venezuela. *Rev. Biol. Trop.* 53 (1): 41-53 (*Int. J. Trop. Biol.* ISSN-0034-7744).
- [46] **Márquez A., Senior W., Fermín I., Martínez G., Castañeda J., González A.** (2008). Cuantificación de las concentraciones de metales pesados en tejidos de peces y crustáceos de la Laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela. *Rev. Cient. (Venezuela)*, 18: 73-86.
- [47] **Urdaneta M.** (2010). Evaluación del contenido de metales en algas marinas venezolanas y su posible uso como bioindicador ambiental. *Trabajo especial de grado, Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela, Caracas-Venezuela.*
- [48] **Lemus M., Laurent C., Arlys A., Meris C., Aponte A., Chung K.** (2011). Variación estacional de metales pesados en *Perna viridis*, de la localidad de Guayacán, Península de Araya, Estado Sucre, Venezuela. *The Biologist (Lima)* 8: 126-138.
- [49] **Horno microondas marca CEM, modelo MDS 2000. Manual del equipo.** Procedimiento y programa de digestión propuesto para algas, BI-8.
- [50] **Arú R.** (2008). Estudio del contenido de metales pesados en aguas y peces del embalse Suata, Aragua. *Trabajo especial de grado, Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela, Caracas-Venezuela.*
- [51] **SIMAA 6000** detection Limits, BSW AA products departmente, AB95S81, Perkin Elmer.

[52] **Euskadi. El portal de las administraciones vascas.**
http://www.euskadi.net/contenidos/informacion/sanidad_alimentaria/es_1247/adjuntos/vigila9508.pdf

[53] **Arango J. E., Bustos M. C., Narváez E. J.** (2007). Estudio exploratorio de metales pesados en material particulado de emisiones de exhosto de motores a diesel. 8vo Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica. Cusco, Perú.

IX. APÉNDICES

Apéndice 1. Concentraciones promedios de los metales pesados determinados en las muestras de algas analizadas *.

# Muestra	Genero y Especie	Pb			Cd			Ni			Cr			Cu			Hg			Fe			Zn		
		Prom	Sdv	%CV	Prom	Sdv	%CV	Prom	Sdv	%CV	Prom	Sdv	%CV	Prom	Sdv	%CV	Prom	Sdv	%CV	Prom	Sdv	%CV	Prom	Sdv	%CV
1	<i>U. lactuca</i>	0,37	0,01	3,5	0,46	0,02	4,8	0,94	0,08	8,5	0,6	0,4	68,0	3,7	0,2	6,1	0,076	0,002	2,9	0,22	0,04	20,0	0,037	0,004	10,5
2	<i>U. lactuca</i>	0,5	0,1	23,2	0,59	0,01	1,9	1,23	0,03	2,1	0,3	0,1	42,3	5,7	0,3	4,6	0,09	0,01	14,3	0,29	0,08	26,3	0,043	0,002	3,9
3	<i>U. lactuca</i>	0,27	0,05	16,6	0,47	0,02	4,5	1,8	0,1	6,8	3,2	0,4	11,8	3,9	0,1	3,6	0,055	0,007	12,5	0,15	0,01	7,2	0,0304	0,0007	2,3
4	<i>U. lactuca</i>	0,8	0,2	24,8	0,52	0,02	4,4	1,32	0,07	5,1	0,3	0,1	47,2	1,6	0,3	20,7	0,055	0,007	12,7	0,18	0,02	9,4	0,0045	0,0002	4,1
5	<i>P. gymnospora</i>	1,78	0,07	3,7	0,78	0,01	1,4	1,8	0,1	5,5	0,52	0,09	17,4	1,7	0,3	17,7	0,21	0,01	4,9	0,65	0,06	8,9	0,012	0,001	10,0
6	<i>P. gymnospora</i>	1,75	0,05	2,9	0,66	0,06	8,5	1,7	0,1	8,4	0,78	0,09	11,6	1,54	0,07	4,2	0,14	0,04	29,3	0,84	0,05	6,1	0,0104	0,0005	4,6
7	<i>P. gymnospora</i>	1,70	0,01	0,6	0,76	0,04	5,3	1,7	0,2	12,1	0,8	0,2	23,0	1,47	0,02	1,1	0,162	0,009	5,5	0,38	0,01	3,1	0,007	0,002	24,4
8	<i>P. gymnospora</i>	0,35	0,01	2,8	1,94	0,05	2,5	2,30	0,07	3,0	78	4	5,6	1,40	0,04	2,9	0,11	0,01	9,9	0,15	0,01	9,4	0,0143	0,0007	4,7
9	<i>P. gymnospora</i>	1,3	0,5	34,0	1,41	0,01	0,6	7,55	0,05	0,6	265	12	4,4	2,07	0,03	1,7	0,12	0,02	16,2	0,47	0,05	10,9	0,02681	0,00002	0,1
10	<i>P. gymnospora</i>	1,27	0,08	6,2	1,3	0,1	7,2	7,1	0,6	8,5	256	6	2,5	1,99	0,01	0,6	0,12	0,01	11,2	0,57	0,09	15,2	0,024	0,002	9,1
11	<i>P. gymnospora</i>	0,51	0,03	4,9	3,7	0,2	5,2	2,76	0,03	1,2	77	7	8,8	1,7	0,1	7,6	0,087	0,003	3,5	0,51	0,02	4,6	0,02027	0,00005	0,2
12	<i>P. gymnospora</i>	1,2	0,2	18,0	1,6	0,1	7,2	3,61	0,06	1,6	233	96	41,0	1,5	0,2	11,5	0,14	0,05	37,14	0,36	0,01	3,6	0,020	0,003	13,9
13	<i>P. gymnospora</i>	0,475	0,007	1,4	0,71	0,01	1,9	1,886	0,007	0,4	0,6	0,1	21,8	4,92	0,03	0,7	0,13	0,03	26,7	0,536					0,017
14	<i>P. gymnospora</i>	0,41	0,02	5,1	0,685	0,000	0,0	1,96	0,01	0,7	0,74	0,03	3,8	5,72	0,04	0,6	0,20	0,03	15,2	0,595					0,013
15	<i>P. gymnospora</i>	0,511	0,007	1,4	0,645	0,000	0,0	2,001	0,007	0,4	0,59	0,04	7,2	2,885	0,007	0,2	0,116			0,426	0,2	47,7	0,008		
16	<i>P. gymnospora</i>	0,527	0,000	0,0	0,648	0,007	1,1	1,96	0,01	0,7	0,51	0,01	2,7	2,52	0,01	0,5	0,124			0,289	0,2	61,1	0,013		
17	<i>P. gymnospora</i>	0,57	0,01	2,6	0,807	0,007	0,9	2,57	0,00	0,0	1,04	0,09	8,4	3,69	0,04	1,2	0,200			0,421			0,02	0,01	48,1
18	<i>P. gymnospora</i>	0,56	0,02	3,8	0,724	0,000	0,0	3,27	0,02	0,6	0,461	0,007	1,5	3,62	0,01	0,4	0,192			0,425			0,031	0,001	4,8
19	<i>P. gymnospora</i>	0,59	0,00	0,0	0,779	0,007	0,9	2,16	0,02	0,9	0,842	0,000	0,0	2,94	0,02	0,7	0,244			0,543			0,025		
20	<i>P. gymnospora</i>	0,71	0,01	1,9	0,713	0,000	0,0	2,07	0,04	2,0	0,64	0,06	8,6	2,1	0,4	18,7	0,169			0,669			0,016		
21	<i>P. gymnospora</i>	2,8	0,3	11,2	0,4	0,1	26,2	5	2	28,8	4	2	52,4	7	2	23,9	0,200	0,031	15,3	0,8	0,1	17,5	0,031	0,001	4,0
22	<i>P. gymnospora</i>	2,4	0,6	23,4	0,60	0,01	1,6	3,27	0,06	1,8	1,6	0,5	29,6	5,3	0,1	2,6	0,101	0,011	11,2	0,42	0,08	18,9	0,010	0,001	14,1
23	<i>P. gymnospora</i>	6	2	39,0	0,9	0,4	40,5	31	2	5,7	49	2	4,1	13,8	0,7	5,3	0,085	0,014	16,3	0,54	0,01	1,9	0,0174	0,0001	0,8
24	<i>P. gymnospora</i>	4,5	0,2	4,0	0,60	0,02	3,3	14,7	0,2	1,0	57	1	2,1	15,5	0,2	1,4	0,108	0,008	7,5	0,50	0,01	2,4	0,041	0,003	6,2
25	<i>U. fasciata</i>	0,7	0,2	24,8	0,37	0,02	4,6	3,3	0,2	7,4	2,8	0,2	5,5	7,7	0,2	2,1	0,168	0,003	1,7	0,26	0,02	8,3	0,013	0,002	16,8
26	<i>U. fasciata</i>	0,78	0,02	2,0	0,25	0,01	4,5	5,6	0,4	7,7	4,4	0,3	7,8	9,7	0,3	3,6	0,118	0,029	24,6	0,21	0,02	10,0	0,029	0,002	5,6
27	<i>U. fasciata</i>	0,27	0,07	26,3	0,26	0,03	10,0	1,2	0,2	14,8	0,05	0,04	81,4	4,52	0,06	1,2	0,132	0,024	18,0	0,194	0,003	1,3	0,007	0,002	30,8
28	<i>Sargassum sp.</i>	0,233	0,005	2,2	0,111	0,000	0,0	0,57	0,01	1,8	0,044	0,003	7,9	2,96	0,02	0,5	0,097			0,193			0,01	0,01	71,9
29	<i>Sargassum sp.</i>	0,34	0,04	11,8	0,153	0,005	3,3	0,60	0,05	7,5	0,15	0,07	44,9	1,8	0,1	7,0	0,092			0,191			0,04	0,03	78,7
30	<i>Sargassum sp.</i>	0,10	0,02	15,7	0,147	0,005	3,6	0,58	0,00	0,0	0,05	0,03	60,2	2,066	0,000	0,0	0,103	0,004	3,8	0,3	0,1	42,1	0,010		
31	<i>Sargassum sp.</i>	0,151	0,005	3,4	0,147	0,000	0,0	0,655	0,000	0,0	0,03	0,02	70,7	1,50	0,03	2,0	0,088	0,025	29,1	0,3	0,1	43,1	0,014		
32	<i>P. gymnospora</i>	0,5	0,2	36,08	0,267	0,006	2,39	1,2	0,1	12,4	0,11	0,09	82,0	2,0	0,2	11,4	0,055	0,007	13,1	0,0383	0,0004	1,1	0,0054	0,0005	9,3

* Concentraciones expresadas en mg g⁻¹ para Fe y Zn y para el resto en µg g⁻¹, n = 2.

Apéndice 2. Concentraciones promedio por especie**Apéndice 2a.** Concentraciones obtenidas para la especie *P. gymnospora**.

Elemento	Intervalo	Promedio \pm sdv	CV (%)
Cd	0,27 - 3,70	1,0 \pm 0,7	75
Cr	0,11 - 265,05	49 \pm 89	181
Cu	1,40 - 15,47	4,0 \pm 3,8	95
Fe	0,04 - 0,84	0,48 \pm 0,16	38
Hg	0,055 - 0,244	0,14 \pm 0,05	34
Ni	1,20 - 31,26	4,9 \pm 6,7	139
Pb	0,35 - 6,34	1,5 \pm 1,5	103
Zn	0,005 - 0,041	0,018 \pm 0,009	49

* Concentraciones Promedio \pm sdv, expresadas en mg g⁻¹ para Fe y Zn y en μ g g⁻¹ para el resto, (n= 21)

Apéndice 2b. Concentraciones obtenidas para la especie *U. lactuca**.

Elemento	Intervalo	Promedio \pm sdv	CV (%)
Cd	0,46 - 0,588	0,51 \pm 0,06	11
Cr	0,26 - 3,17	1,1 \pm 1,4	130
Cu	1,61 - 5,71	3,7 \pm 2,8	45
Fe	0,14 - 0,29	0,21 \pm 0,06	29
Hg	0,055 - 0,087	0,07 \pm 0,02	23
Ni	0,94 - 1,82	1,3 \pm 0,4	28
Pb	0,27 - 0,80	0,48 \pm 0,23	49
Zn	0,0045 - 0,043	0,030 \pm 0,017	59

* Concentraciones Promedio \pm sdv, expresadas en mg g⁻¹ para Fe y Zn y en μ g g⁻¹ para el resto, (n= 4)

Apéndice 2c. Concentraciones obtenidas para la especie *U. fasciata**.

Elemento	Intervalo	Promedio \pm sdv	CV (%)
Cd	0,24 - 0,37	0,29 \pm 0,07	23
Cr	0,050 - 4,38	2,4 \pm 2,2	91
Cu	4,52 - 9,74	7,3 \pm 2,6	36
Fe	0,19 - 0,26	0,22 \pm 0,04	16
Hg	0,12 - 0,17	0,14 \pm 0,02	18
Ni	1,21 - 5,56	3,4 \pm 2,2	65
Pb	0,27 - 0,78	0,57 \pm 0,27	47
Zn	0,0066 - 0,0293	0,02 \pm 0,01	73

* Concentraciones Promedio \pm sdv, expresadas en mg g⁻¹ para Fe y Zn y en μ g g⁻¹ para el resto, (n= 3)

Apéndice 2d. Concentraciones obtenidas para la especie *Sargassum sp**.

Elemento	Intervalo	Promedio \pm sdv	CV (%)
Cd	0,11 - 0,15	0,14 \pm 0,02	14
Cr	0,029 - 0,15	0,069 \pm 0,057	83
Cu	1,50 - 2,96	2,1 \pm 0,6	30
Fe	0,19 - 0,29	0,24 \pm 0,06	23
Hg	0,088 - 0,10	0,094 \pm 0,007	7
Ni	0,57 - 0,66	0,60 \pm 0,04	6
Pb	0,10 - 0,34	0,21 \pm 0,10	51
Zn	0,010 - 0,036	0,019 \pm 0,011	61

* Concentraciones Promedio \pm sdv, expresadas en mg g⁻¹ para Fe y Zn y en μ g g⁻¹ para el resto, (n= 4)

Apéndice 3. Estudio de correlaciones múltiples*

	Cod Loc	Pb	Cd	Ni	Cr	Cu	Hg	Fe	Zn	Cod Esp
Cod Loc		0,4552 0,0113	-0,0171 0,9239	0,4360 0,0152	0,4683 0,0091	0,3138 0,0806	-0,0743 0,6791	-0,0229 0,8987	0,1445 0,4209	-0,0407 0,8207
Pb	0,4552 0,0113		0,4428 0,0137	0,6866 0,0001	0,5722 0,0014	0,1342 0,4551	0,3237 0,0715	0,5693 0,0015	0,0180 0,9203	-0,2780 0,1217
Cd	-0,0171 0,9239	0,4428 0,0137		0,5759 0,0013	0,6558 0,0003	-0,2801 0,1189	0,3200 0,0748	0,5106 0,0045	0,0887 0,6214	-0,4271 0,0174
Ni	0,4360 0,0152	0,6866 0,0001	0,5759 0,0013		0,8556 0,0000	0,3431 0,0561	0,3098 0,0846	0,4553 0,0112	0,3270 0,0687	-0,1539 0,3916
Cr	0,4683 0,0091	0,5722 0,0014	0,6558 0,0003	0,8556 0,0000		0,1111 0,5363	0,1763 0,3262	0,3563 0,0473	0,3251 0,0702	-0,2687 0,1347
Cu	0,3138 0,0806	0,1342 0,4551	-0,2801 0,1189	0,3431 0,0561	0,1111 0,5363		0,0755 0,6742	0,1276 0,4775	0,3603 0,0448	-0,0221 0,9019
Hg	-0,0743 0,6791	0,3237 0,0715	0,3200 0,0748	0,3098 0,0846	0,1763 0,3262	0,0755 0,6742		0,5949 0,0009	-0,0084 0,9626	0,1654 0,3572
Fe	-0,0229 0,8987	0,5693 0,0015	0,5106 0,0045	0,4553 0,0112	0,3563 0,0473	0,1276 0,4775	0,5949 0,0009		0,1257 0,4839	-0,1476 0,4113
Zn	0,1445 0,4209	0,0180 0,9203	0,0887 0,6214	0,3270 0,0687	0,3251 0,0702	0,3603 0,0448	-0,0084 0,9626	0,1257 0,4839		-0,1847 0,3038
Cod Esp	-0,0407 0,8207	-0,2780 0,1217	-0,4271 0,0174	-0,153 0,3916	-0,2687 0,1347	-0,0221 0,9019	0,1654 0,3572	-0,1476 0,4113	-0,1847 0,3038	

*Valores de R (coeficiente de Spearman) y P. N=32.

Apéndice 4. Análisis de Componentes Principales (PCA) para toda la data

Apéndice 4a. Análisis Factorial*.

Número de componentes	Autovalor	Porcentaje de Varianza	Porcentaje Acumulado
1	3,129	31,29	31,29
2	1,800	18,01	49,30
3	1,538	15,38	64,68
4	1,036	10,36	75,04
5	0,8666	8,67	83,71
6	0,7186	7,19	90,89
7	0,4117	4,12	95,01
8	0,3023	3,02	98,03
9	0,1360	1,36	99,39
10	0,0606	0,61	100,00

* Variables: Pb, Cd, Ni, Cr, Cu, Hg, Fe, Zn, Cod. Esp, Cod. Loc

Número de muestras: 32

Número de componentes principales: 4

Apéndice 4b. Matriz de Carga de Factor Antes de la Rotación.

Elementos	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
Cd	0,1056	0,5702	-0,3015	-0,1017
Cr	0,1673	0,4314	-0,3939	-0,1963
Cu	0,4508	-0,3510	0,0850	0,1086
Fe	0,2458	0,4046	0,4982	-0,0302
Hg	0,0226	0,2790	0,6507	0,1105
Ni	0,5073	-0,0866	-0,0483	-0,2482
Pb	0,5152	-0,0675	0,0981	-0,2183
Zn	0,2137	-0,0395	-0,1411	0,7498
Cod. Esp	-0,1574	-0,3069	0,1183	-0,5046
Cod. Loc	0,3218	-0,1274	-0,1709	-0,0052

Apéndice 4c. Tabla de cuentas por factor.

Fila	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
1	-0,3930	-0,5587	-1,250	2,242
2	0,2746	-0,5246	-1,052	2,672
3	-0,3202	-0,9055	-1,774	1,699
4	-0,9268	-0,4959	-1,361	-0,2500
5	-0,0678	1,175	1,952	-0,2619
6	0,1598	1,083	1,608	-0,5409
7	-0,3648	0,3192	0,6257	-0,6697
8	-0,9026	1,071	-1,711	-0,4359
9	1,141	2,136	-1,708	-0,3766
10	1,217	2,235	-1,334	-0,5449
11	0,3090	3,021	-2,002	-0,4210
12	0,2419	2,223	-1,401	-0,5617
13	-0,7068	0,3335	0,8124	0,2537
14	-0,5983	0,7890	2,003	0,1501
15	-1,162	0,1808	0,4141	-0,4429
16	-1,272	-0,0348	0,0976	-0,05372
17	-0,3841	0,5430	1,132	0,7898
18	-0,2101	0,4080	0,9849	1,228
19	-0,4393	1,150	2,086	0,9308
20	-0,5636	1,044	1,540	0,1369
21	2,237	0,2146	1,964	0,8851
22	0,6988	-0,6001	-0,00154	-0,6410
23	6,285	-1,398	-0,1130	-1,957
24	4,733	-1,494	-0,0793	0,8542
25	0,2592	-1,352	0,5074	-0,5191
26	0,9961	-2,148	-0,4201	0,5058
27	-0,7414	-1,413	-0,0892	-0,9247
28	-1,784	-1,685	-0,1203	-1,014
29	-1,472	-1,649	-0,5155	0,3742
30	-2,027	-1,264	0,2703	-1,334
31	-2,008	-1,318	-0,00476	-1,118
32	-2,209	-1,085	-1,061	-0,6546

Apéndice 5. Resultados prueba de ANOVA de una vía. Data del presente estudio*.

Elementos	Especie			Contrastes*	Localidad			Contrastes*
	df	F	P		df	F	P	
Cd								
Entre grupos	3	3,02	0,046	<i>P. gymnospora</i>	6	1,61	0,186	
Dentro de grupos	28			<i>S. sp.</i>	25			
Total	31				31			
Cr								
Entre grupos	3	0,8	0,415		6	1,24	0,321	
Dentro de grupos	28				25			
Total	31				31			
Cu								
Entre grupos	3	1,39	0,265		6	10,30	0,000	EV-LG
Dentro de grupos	28				25			EV-PTV
Total	31				31			DF, EV-T, EA (C y PE)
Fe								
Entre grupos	3	6,28	0,002	<i>P. gymnospora</i>	6	2,10	0,089	EV-PVI
Dentro de grupos	28			<i>S. sp., U. fasciata</i>	25			DF
Total	31			<i>U. lactuca</i>	31			
Hg								
Entre grupos	3	4,36	0,012	<i>P. gymnospora</i>	6	1,55	0,202	
Dentro de grupos	28			<i>U. lactuca</i>	25			
Total	31				31			
Ni								
Entre grupos	3	0,90	0,454		6	4,91	0,002	EV-LG
Dentro de grupos	28				25			EA (C y PE), DF, EV (PVI, PTV y T)
Total	31				31			
Pb								
Entre grupos	3	1,70	0,190		6	14,48	0,000	EV-LG , EV-PVI
Dentro de grupos	28				25			EA (C y PE), DF, EV (PTV y T)
Total	31				31			
Zn								
Entre grupos	3	1,18	0,334		6	0,87	0,532	
Dentro de grupos	28				25			
Total	31				31			

*Contrastes: grupos con diferencias significativas ordenados de mayor (**negrilla**) a menor concentración

Apéndice 6. Resultados prueba ANOVA de una vía. Datos del presente estudio y de Urdaneta^[47] *.

Elementos	Especie				Localidad			
	df	F	P	Contrastes*	df	F	P	Contrastes*
Cd								
Entre grupos	1	4,81	0,035	<i>P. gymnospora</i>	11	0,67	0,754	
Dentro de grupos	37			<i>U. lactuca</i>	27			
Total	38				38			
Cr								
Entre grupos	1	2,90	0,097	<i>P. gymnospora</i>	11	0,48	0,897	
Dentro de grupos	37			<i>U. lactuca</i>	27			
Total	38				38			
Cu								
Entre grupos	1	0,46	0,504		11	1,27	0,294	
Dentro de grupos	37				27			
Total	38				38			
Fe								
Entre grupos	1	3,51	0,069	<i>P. gymnospora</i>	11	0,39	0,949	
Dentro de grupos	37			<i>U. lactuca</i>	27			
Total	38				38			
Hg								
Entre grupos	1	9,97	0,003	<i>P. gymnospora</i>	11	1,63	0,145	
Dentro de grupos	37			<i>U. lactuca</i>	27			
Total	38				38			
Ni								
Entre grupos	1	2,29	0,139		11	2,12	0,054	EV-LG
Dentro de grupos	37				27			EA-C, EA-PE, DF
Total	38				38			
Pb								
Entre grupos	1	0,07	0,786		11	4,11	0,013	EV-CHC, EV-LG
Dentro de grupos	37				27			EA-C, EA-PE, DF
Total	38				38			
Zn								
Entre grupos	1	6,79	0,013	<i>U. lactuca</i>	11	1,33	0,260	
Dentro de grupos	37			<i>P. gymnospora</i>	27			
Total	38				38			

*Contrastes: grupos con diferencias significativas ordenados de mayor (**negrilla**) a menor concentración.
n= 39: *P. gymnospora*: 26 (21 del presente estudio y 5 de Urdaneta); *U. lactuca*: 13 (4 del presente estudio y 9 de Urdaneta)